



**T. C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI  
İSTATİSTİK BİLİM DALI**

**İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLU  
VE  
SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Z. Berna AYDIN**

**BURSA – 1996**





**T. C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI  
İSTATİSTİK BİLİM DALI**

**İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLU  
VE  
SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Z. Berna AYDIN**

**Danışman:  
Prof. Dr. Mustafa AYTAÇ**

**BURSA – 1996**

**T. C.**  
**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim/~~Ana Sanat Dalı~~, İstatistik Bilim Dalı'nda Z. Berna AYDIN'ın hazırladığı "İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Süreç Yeterlilik Analizi" konulu Yüksek Lisans ile ilgili tez savunma sınavı, 04/09/1996 günü 10:00-11:00 saatleri arasında yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin/çalışmasının başarılı/ olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.

Üye  
(Tez Danışmanı ve Sınav Komisyonu Başkanı)  
Prof.Dr. M.Mustafa Aytaç  
Uludağ Üniversitesi

Üye  
Prof.Dr.Necmi Gürsakal  
Uludağ Üniversitesi

Üye  
Yrd.Doç.Dr.Erkan Işığışok  
Uludağ Üniversitesi

04/09/ 1996



## Yemin Metni

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Süreç Yeterlilik Analizi” Başlıklı çalışmanın bilimsel araştırma, yazma ve etik kurallarına uygun olarak tarafımdan yazıldığına ve tezde yapılan bütün alıntıların kaynaklarının usulüne uygun olarak gösterildiğine, tezimde intihal ürünü cümle veya paragraflar bulunmadığına şerefim üzerine yemin ederim.

Tarih ve İmza

**Adı Soyadı: Z. Berna AYDIN**

**Anabilim Dalı: Ekonometri**

**Programı: İstatistik**

**Statüsü: Yüksek Lisans Tezi**

## ÖZET

Yazar Adı ve Soyadı : Z. Berna AYDIN  
Üniversite : Uludağ Üniversitesi  
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü  
Anabilim Dalı : Ekonometri  
Bilim Dalı : İstatistik  
Tezin Niteliği : Yüksek Lisans Tezi  
Sayfa Sayısı : XI + 107  
Mezuniyet Tarihi : .... / .... / 1996  
Tez Danışman(lar)ı : Prof. Dr. Mustafa AYTAÇ

### İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLU VE SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ

**Anahtar Sözcükler:**

## ABSTRACT

Name and Surname : Z. Berna AYDIN  
University : Uludağ Üniversitesi  
Institution : Sosyal Bilimler Enstitüsü  
Field : Ekonometri  
Branch : İstatistik  
Degree Awarded : Yüksek Lisans Tezi  
Page Number : XI + 107  
Degree Date : .... / .... / 1996  
Supervisor (s) : Prof. Dr. Mustafa AYTAÇ



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YEMİN METNİ .....	V
ÖZET.....	İV
ABSTRACT .....	V
İÇİNDEKİLER .....	VI
TABLolar .....	Vİİİ
ŞEKİLLER .....	İX
GİRİŞ .....	1
<b>1. BÖLÜM</b>	
<b>KALİTE KONTROLU İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....</b>	<b>2</b>
1.1. KALİTE KONTROL .....	2
1.1.1. Kalitenin Tanımı.....	2
1.1.2. Kalite Kontrolünün Tanımı .....	4
1.1.3. Kalite Kontrolün Tarihsel Evrimi.....	5
1.2. KALİTE KONTROLUN AMAÇLARI .....	7
1.3. KALİTE KONTROLUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	8
1.4. KALİTE KONTROL AŞAMALARI .....	9
1.5. KALİTE KONTROLUNDA STANDARTLAR, ÖZELLİKLER, TOLERANSLAR.....	11
1.5.1. Standartlar ve Standartların Denetimi.....	11
1.5.1.1. Standart Üretimin Faydaları.....	12
1.5.1.2. Türk Standartları Enstitüsü (TSE).....	12
1.5.1.3. TSE'nin Görevleri.....	13
1.5.2. Kalite Kontrolünün Özellikleri.....	14
1.5.3. Toleranslar .....	15
1.5.4. Tolerans Belirlemede Etkin Olan Faktörler.....	15
1.5.5. Dar veya Geniş Tolerans Verme Nedenleri.....	18
1.6. KALİTE KONTROLUNUN YÖNTEMİ .....	19
1.6.1. Girdilerin Kalite Kontrolü .....	21
1.6.1.1. % 100 Denetim.....	21
1.7. KALİTE KONTROLUNDA KULLANILAN YÖNTEMLER .....	22
1.8. KALİTE KONTROLUNDA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER ..	23
1.8.1. Kabul Örnekleme.....	23
1.8.2. Kontrol Grafikleri .....	26
1.8.3. Nicel Değerler İçin Kontrol Grafikleri .....	27
1.8.3.1. Standartlar Verildiğine Göre Kontrol Grafiklerinin Çizimi.....	27

1.8.3.2. Geçmiş Kayıtlara Göre Kontrol Grafiklerinin Çizimi .....	28
1.8.4. Nitel Değerler İçin Kontrol Grafiği .....	30
1.8.4.1. Kusurlu Oranı “P” Grafiği .....	30
1.8.4.1.1. Standartlar belli iken “p” grafiği.....	30
1.8.4.1.2. Standartlar belirsiz iken “p” grafiği.....	31
1.8.4.2. Kusur Sayısı, “C” Grafiği .....	31
1.8.5. $\bar{X}$ ve R Kontrol Grafiklerinin Analizi .....	32

## **2. BÖLÜM**

2.1. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ .....	37
2.1.1. Süreç Yeterlilik Analizinden Çıkan Verinin Belli Başlı Kullanım Alanları .	40
2.2. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİNDE KULLANILAN TEKNİKLER.....	41
2.2.1. Süreç Yeterlilik Analizinde Histogram Kullanımı .....	41
2.2.2. Süreç Yeterlilik Oranları .....	43
2.2.2.1. Ortalama Dışı Süreç İçin Süreç Yeterlilik Oranı .....	49
2.2.2.2. Süreç Yeterlilik Oranının Güven Aralığını Tahmin Etme .....	52
2.2.2.3. Süreç Yeterlilik Oranı İle İlgili Hipotezleri Test Etme.....	53
2.2.3. Süreç Yeterlilikte Olasılık Grafiklerinin Kullanımı .....	57
2.2.4. Süreç Yeterlilik Analizlerinde Kontrol Grafiklerinin Kullanımı .....	60
2.2.5. Süreç Yeterlilik Analizinde Deney Tasarımının Kullanımı .....	62
2.3. ÖLÇÜ FARKLARININ ANALİZİ.....	68
2.3.1. Ölçüm Hatasının Unsurları .....	70
2.4. FARKLI PARÇALARA SPESİFİKASYON LİMİTLERİNİ YERLEŞTİRME.....	72
2.4.1. Lineer Kombinasyonlar .....	72
2.4.2. Lineer Olmayan Kombinasyonlar .....	75
2.5. SÜRECİN DOĞAL TOLERANS LİMİTLERİNİ HESAPLAMA .....	76

## **3. BÖLÜM**

<b>UYGULAMA.....</b>	<b>78</b>
<b>UYGULAMA SONUÇLARI.....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>97</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>99</b>

## TABLolar

Sayfa

<b>Tablo 1.1.</b> Uyumun Kalitesi .....	5
<b>Tablo 1.2.</b> $\bar{X}$ ve R Grafikleri İçin $3\sigma$ Kontrol Limitlerini Saptayıcı Faktörler .....	29
<b>Tablo 1.3.</b> Taşıma Kapasiteleri.....	34
<b>Tablo 2.1.</b> Taşıma Kapasiteleri Ölçümlerinin Sınıf Aralıkları .....	43
<b>Tablo 2.2.</b> .....	45
<b>Tablo 2.3.</b> Tek ve Çift Taraflı PCR Değerleri .....	48
<b>Tablo 2.4.</b> Örneklem Hacimlerine Göre Kritik Değerlerin Saptanması .....	53
<b>Tablo 2.5.</b> $n = 20$ Gözleme Sahip $P_j$ Değerleri .....	58
<b>Tablo 2.6.</b> Beşerli Örneklemden Alınan Ölçümler .....	61
<b>Tablo 2.7.</b> Varyans Çözümleme Tablosu .....	65
<b>Tablo 2.8.</b> İki Etkili Varyans Çözümleme Tablosu .....	65
<b>Tablo 3.1.</b> Bazı İstatistiksel Değerler .....	81
<b>Tablo 3.2.</b> Normallik Testi .....	81
<b>Tablo 3.3.</b> Yeterlilik Oranları .....	82
<b>Tablo 3.4.</b> Normal Tolerans Limitleri ve Güven Aralığı.....	82
<b>Tablo 3.5.</b> Herhangi Bir Dağılım İçin Tolerans Limitleri ve Güven Aralığı.....	83
<b>Tablo 3.6.</b> Varyans Analizi.....	85

## ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 1.1. Bir üretim aracının yeterliliğini gösteren kontrol grafiği .....	15
Şekil 1.2. İşlem özellikleri eğrisi, üretici riski ( $\alpha$ ), tüketici riski ( $\beta$ ) .....	24
Şekil 1.3. Birbiri ardına örnekleme planı .....	25
Şekil 1.4. $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	35
Şekil 1.5. R Kontrol Grafiği .....	36
Şekil 2.1. $\mp 3\sigma$ 'lık yayılıma sahip süreç yeterliliği .....	38
Şekil 2.2. Taşıma kapasiteleri ölçümlerinin histogramı .....	42
Şekil 2.3. Yeterli bir süreç .....	43
Şekil 2.4. Yetersiz bir süreç.....	44
Şekil 2.5. PCR ve PCR <sub>k</sub> arasındaki bağlantılar .....	51
Şekil 2.6. PCR = 1 iken PCR <sub>k</sub> ve PCR <sub>km</sub> * arasındaki bağıntı .....	56
Şekil 2.7. Tablo 2.5'teki değerlerin olasılık grafiği.....	59
Şekil 2.8. ....	60
Şekil 2.9. $\bar{X}$ Grafiği.....	62
Şekil 2.10. R Grafiği.....	62
Şekil 2.11. Değişkenliğin kısımlara ayrılmış hali.....	64
Şekil 2.12. $\bar{X}$ ve R Grafiği .....	69
Şekil 2.13. Dört parçadan oluşan bir montaj .....	73
Şekil 3.1. Var 1 Değerlerinin Histogramı .....	79
Şekil 3.2. Var 1 Değerlerinin Olasılık Grafiği.....	80
Şekil 3.3. Ölçümlerin Box Whisker Grafiği .....	86
Şekil 3.4. Dört operatöre ait ortalama ölçümlerinin grafiği.....	87
Şekil 3.5. Dört operatöre ait ölçümlerin aralık grafiği.....	89
Şekil 3.6. Operatörlerin ölçümlerinin ortalamadan sapması.....	90
Şekil 3.7. X Kontrol Grafiği .....	91
Şekil 3.8. R Kontrol Grafiği .....	92
Şekil 3.9. S Kontrol Grafiği.....	93
Şekil 3.10. Çalışma Karakteristiği Eğrisi .....	94

# GİRİŞ

Günümüzde sanayi ve ticaretin hızla küreselleşmesi, alıcı talep davranışlarını da değiştirerek rekabeti ön plana çıkarmıştır. Tüketici için öncelikle malın hangi ülkede üretilmesinden ziyade hangi kalite seviyesinde üretildiği önem taşımaya başlamıştır.

Pazardaki değişmeler, üreticiyi belli standartlara belli kalite seviyelerini yakalamaya sevk etmektedir. Bu husus üretilen mal ve hizmetlerin kalite seviyelerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi açısından varlığı büyük önem taşıyan standartları ön plana çıkarmıştır.

Günümüzde iç ve dış ticaretle tam rekabet şartlarında ürün ve hizmet pazarlamak, pazar payını arttırmak, kalite çalışmalarına verilecek önemle mümkündür.

Ekonomik bir yarış içerisinde bulunan dünya ülkeleri arasında arzuladığımız yere gelebilmemiz için kalitenin şart olduğunu bir kez daha belirtmek gerekir<sup>1</sup>.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde kalite kontrolün tanımı, tarihçesi, yönetimi, istatistiksel yöntemler, ikinci bölümünde sürecin yeterliliği ve yeterlilik için ölçümler, güven aralığı, hipotez testi, deney tasarımı, konuları, üçüncü bölümde Oyak Renault'dan alınan ölçümlerin, süreç istatistiksel kontrolde olup olunmadığının uygulaması anlatılmıştır.

Çalışmamızın temel amacı istatistiksel kalite kontrol yöntemleri ve süreç yeterlilik analizi hakkında ayrıntılı açıklamalar getirerek, firmaların bundan nasıl yararlanacağını uygulamalı bir örnekle göstermektir.

---

<sup>1</sup> Türk Standartları Enstitüsü, *Tüketici Bülteni*, Ankara, Ekim 95, Yıl: 8, Sayı: 87, Süleyman Demirel'in mesajı.



# 1. BÖLÜM

## KALİTE KONTROLU İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

### 1.1. KALİTE KONTROL

#### 1.1.1. KALİTENİN TANIMI

Perakendeciden alışveriş yapan müşteri için kalite, alacağı ürünün bir özelliğidir. Yeteneği ve araç yoksunluğu nedeniyle müşteri kaliteyi ancak birkaç olayla ölçülebilir, markanın tanınmış olması, geçmiş deneyimleri ve ürünün genel görünümünden, ürünü satın aldıktan sonra, onun performansını rakip firmaların ürünleri ve kendi rek-

dirme alanı içinde oluşur. Bu nedenle bazen müşteri için kalite ve yüksek kalite aynı şeydir.

Ürünün kalitesi; ürün tasarımından üretim mühendisliğine, üretim işlemlerine, denetim ve test etmeye, satışa, fiziksel dağıtıma ve nihayet servis hizmetlerine değin tüm üretim sistemini kapsar. Ürün kalitesi yalnızca ürünün denetimi ve kontrolü değildir, sistemde çalışan tüm kişilerin sorumluluğu içine girer. Kalite bir ürünün yetkinlik düzeyi olarak tanımlanabilir. Kimilerine göre kalite kavramı, ürünün herhangi bir özelliğini temsil etmektedir. Örneğin, bir ipliğin kopma gücü, bilye taşının dış çapı, yazı işlerinin doğruluk derecesi vb.<sup>2</sup>

İlk aşamada kalite nedir sorusuna cevap olarak şunlar söylenebilir:

- Kalite bir süreçtir.
- Kalite müşterinin tatminidir.
- Kalite verimliliklidir.
- Kalite esnekliktir
- Kalite etkili olmaktır.
- Kalite bir yatırımdır.
- Kalite bir programa uymaktır.

---

<sup>2</sup> Hulusi Demir, *Üretim/İşlemler Yönetimi*, İstanbul: Beta Yayınevi, 1994, ss. 664-665.

- Kalite, kusursuzluk arayışına sistemli bir yaklaşımdır. Kalite kullanıma uygunluktur.

Ürün kalitesinden söz edilebilmesi için öncelikle iki temel faktörün gözönüne alınması gerekir. Bunlar; kullanım amacı ve fiyattır.

Kalitenin tanımını oluşturan bu iki temel faktörün kapsamında çeşitli alt faktörler şöyle sıralanabilir:

- 1- Belirli bir ürünün belirli bir tüketicinin istek ve gereksinimlerini karşılama derecesi
- 2- Bir ürünün genel olarak tüketicilerin potansiyel isteklerini karşılama derecesi.<sup>3</sup>
- 3- Belirli bir ürünün üretildiği zaman kendisi için tasarlanan kalite düzeyine uyma derecesi ki buna uygunluk kalitesi de denir.
- 4- Bir ürünün diğer firmalar tarafından üretilen eşdeğer ürünleri karşısında tüketicinin kendi deneyimlerine göre tercihine sahip olma derecesi.
- 5- Bir ürünün kalite özellikleri. Örneğin görünüşü, rengi, kokusu.
- 6- Ekonomik kullanma süresi, yani ömrü.
- 7- Önceden saptanan belirli bir süre arıza yapmadan çalışma olasılığı, yani güvenilirliği.
- 8- Hız, harcanan enerji ve iş miktarı gibi çalışma karakteristikleri.
- 9- Tasarım ve imalat maliyetleri.
- 10- Üretim yöntemleri.
- 11- Tamir ve bakım maliyetleri

gibi kriterlerin biri veya birkaçı ürünün kalite düzeyini belirleme amacı ile kullanılabilir. Bu açıklamalardan sonra ürün kalitesi için şöyle bir genel tanım yapılabilir.

Bir ürünün kalitesi tüketici taleplerini mümkün en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan mühendislik ve imalat karakteristiklerinin bileşiminden oluşur.

---

<sup>3</sup> J.M. Juran, *Quality Control Handbook*, New York, Mc. Graw-Hill, 1962, ss. 1-2.

Ürünün kalite düzeyinde üretilmesi için iki temel faktör ile bunlara bağlı seçilen alt faktörlerin eldeki veri ve olanaklar çerçevesi içinde kalınarak ekonomik biçimde dengelenmesi gerekir. Alt faktörlerin seçiminde işletme politikaları, ürün cinsi, imalat yöntemleri ve teknolojik olanaklar göz önüne alınır.<sup>4</sup>

### 1.1.2. KALİTE KONTROLÜNÜN TANIMI

Kontrol herhangi bir faaliyetin önceden saptanan kurallar çerçevesi içinde belirli amaçları gerçekleştirecek biçimde yürütülmesini sağlama fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Feigenbaum kontrolü; bir yönetsel faaliyet için yetki ve sorumluluğun birleştirildiği süreç olarak tanımlar. Bu birleşme yöneticinin gereksiz ayrıntılarla zaman kaybetmeden sonuçları incelemesini ve düzeltici kararları etkin biçimde almasını kolaylaştırır<sup>5</sup>.

Kalite kontrolü kullanma uygunluğu sağlayacak, yani girişimin kalite işlevini yürütecek eylemler topluluğunun tümü biçiminde de tanımlanabilir. Tasarım özellikleri ile tanımlanan kalite düzeyinde bir ürünün üretilmesi için üretim araç ve gereçlerin eşgüdümlemek amacı taşıyan bir kurmay işlevi olan kalite kontrolü, istatistiksel kalite kontrolü, tesadüfi örnekler aracılığı ile sürekli teste dayanarak denetleme yapan ve çıktılarının kalitesini tüm üretim işlemi boyunca sürdüren ve geliştiren ekonomik ve etkili bir sistemdir. Yani, kalite kontrolünde üretimi yapılan maddelerin örnekleme yöntemi ile sürekli teste tabi tutulması söz konusu olmaktadır. Kalite kontrolü her şeyden önce işlenmiş ürünün teknik-tasarım özellikleri ile ilgilidir. Burada birbirleriyle ilişkili iki işlev söz konusudur:

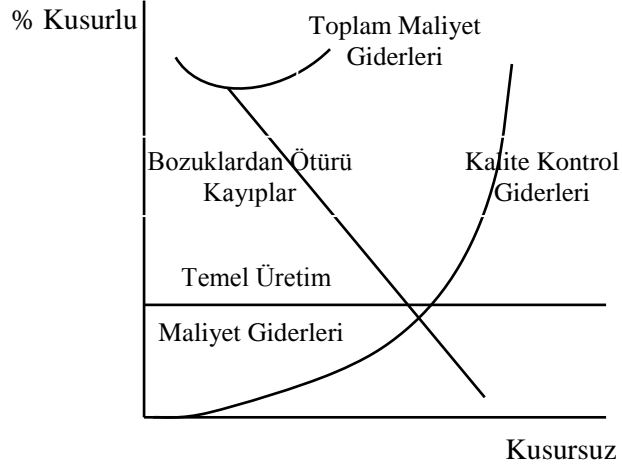
- 1- Özellikleri taşıyabilecek süreçlerin yeteneğini saptamak.
- 2- Süreçlerin özelliklere uyumunu kontrol etmek.

Genellikle, çok iyi sonuçlar veren pahalı süreçlere uygulanmakla yüksek uyum derecesi elde edilebilir. Kuşkusuz bu kalite kayıplarını azaltacaktır. Tablo 1.1 toplam maliyet giderleri eğrisinin en küçük olmasına karşılık uyumun kalitesinin en iyi olduğunu göstermektedir. Toplam maliyet giderleri, kalite kontrol giderleri ve kusurlu mallardan ötürü kayıpların toplamıdır.

<sup>4</sup> Bülent Kobu, *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları, 1989, ss. 13-14.

<sup>5</sup> Demir, a.g.e., s. 670.

**Tablo 1.1.** Uyumun Kalitesi



Üretimde kalite kontrolü kavramının, genel materyale uygulanan örnekleme yöntemi, laboratuvar testi, sağlam arızalı ayıklaması, montaj hattı sonunda yapılan hata belirleme vb. işlemler ile denetleme işleminin karıştırılmaması gerekir.

Kalite kontrolü, tüketicinin taleplerini en ekonomik düzeyde karşılamak için işletme örgütü içinde çeşitli birimlerin kalitesinin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabaların birleştirilip, eşgüdümlendiği bir sistemdir<sup>6</sup>.

Modern anlamda kalite kontrolü kaliteye ilişkin standartların belirlenmesi, denetleme-gözetleme işlemlerinin örgütlenmesi ve yöntemlerinin geliştirilmesi, kalitenin bozulmasına yol açan ve planlanan kaliteye ulaşılmasını engelleyen koşulların ortadan kaldırılması, kalite sorunlarına ilişkin olarak işletmenin tüm birimlerine danışmanlık hizmetlerinin sağlanması çalışmalarını da kapsamaktadır<sup>7</sup>.

### 1.1.3. KALİTE KONTROLÜN TARİHSEL EVRİMİ

Kalite sorunu tarih boyunca insanoğlunun zihnini uğraştırmış bir konudur. Kalite ile ilgili kayıtlar M.Ö. 2150 yıllarına kadar uzanır. Eski Mısırlılar anıt mezarların yapımında kullandıkları taşların uygun biçimde yontulmasına ve birleştirilmesine özen göstermişlerdir. Ünlü Hamurabi Kanunlarında “Eğer bir inşaat ustasının yaptığı bir bina

<sup>6</sup> A.U. Feigenbaum, *Total Quality Control*, New York, Mc Graw Hill, 1976, s. 14.

<sup>7</sup> İsmet Barutçugil, *Üretim Sisteminde Yönetim Teknikleri*, Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları, 1988, s. 275.

ölüme sebep olursa, usta kafası uçurularak cezalandırılır.” Bu belki de tüketicinin korunmasına yönelik ilk kanundur. Fenikeliler kalite kontrolünde oldukça etkili yaptırımlar uygulamaya koymuşlardı. Fenikeli bir denetçi kalite standartlarında aykırılık gördüğünde, imalatçının elini kesme yetkisine sahipti. Ortaçağ Avrupa’sında yetişen zanaatçılar, hem imalatçı hem de kalite denetçisi olarak iki işlevi birden yerine getirmişlerdir. Çağdaş anlamda kalite kontrol 19. yy’ın sonlarına kadar bir veya birkaç işçi tarafından gerçekleştirilen bir görev olmuştur. 20. yy’ın başlarında ortaya çıkan teknolojik gelişmeler sonucu üretim ölçeği büyümüş ve uzmanlaşma artmıştır. Bu gelişmeler “formen kalite kontrolü” aşamasının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Benzer işlerin kümelenmesi ile bu “görevleri” yerine getiren işçileri denetleyen “formen” kaliteden de sorumlu kimse olmuştur.

I. Dünya Savaşı’nın çıkardığı koşullar altında, kalite kontrol işlevinin bu alanda uzmanlaşmış kişiler tarafından yerine getirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu aşama “muayene” olarak nitelendirilmektedir<sup>8</sup>.

Sanayi devriminden sonra sistemlerin üretim miktarları birden çok büyük bir şekilde artması kaliteye negatif etki yapar. Kalitenin negatif etkisinden kurtulabilmek için, üretim ne kadar artarsa, kalitede kontrol işlemlerinin de o derece artırılması prensibi uygulamaya konulmuştur.

Kalite düşüşünü etkileyen ikinci faktör kıtlık veya monopoldür. Bir ülkede monopol sistem mevcutsa kaliteden söz etmek mümkün olmamaktadır. Sanayi devriminden sonra kaliteden sorumlu ekip sadece kalite bölümünde çalışan kişilerdir. Bu, tepe yönetimi kaliteden koparmaya başlatır. Çeşitlilik artışı da kaliteyi negatif olarak aşağı çeken unsuru teşkil eder. Bu nedenle ürün mühendisliği, güvenlik mühendisliği gibi uzmanlık alanları doğmuş ve kusurlu-kusursuz ürünleri ayırma işlemleri gerçekleşmiştir<sup>9</sup>.

İkinci Dünya Savaşı koşulları “istatistiksel kalite kontrol” aşamasını getirmiştir. Muayeneciler örnekleme planları ve kontrol grafikleri gibi araç ve tekniklerle donatılmışlardır. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişimiyle de toplam kalite kontrol anlayışı gerçekleşmiştir<sup>10</sup>. Kapalı ekonomi sistemini benimsemiş olan ülkelerde devlet

<sup>8</sup> Feigenbaum, a.g.e., s. 14.

<sup>9</sup> İstanbul Sanayi Odası, *ISO 9000 ve Kalite Sistemleri Seminerleri*, 1993, ss. 27-28.

<sup>10</sup> Feigenbaum, a.g.e., s. 14.

ulusal standartları, uluslararası standarttan daha üst bir düzeyde olacak şekilde hazırlamakta ve bunların uygulamasını zorunlu olarak yürürlüğe koymaktadır. Firmaların ve çalışan personelin eğitimi de devlet tarafından yapılmaktadır. Liberal ekonomi sistemini benimseyen ülkelerde standartlar özel kuruluşlarca hazırlanmakta ve yürürlüğe konmaktadır. Kapalı ekonomi sistemini benimsemiş ülkelerde ulusal olarak amaçlanmış olan kaliteyi gösteren ulusal standardın uygulanması üretici ve tüketicinin isteğine bırakılmalıdır. Bu ülkelerdeki rekabet yüksek olduğu için firma standartlarının düzeyinin daha üst düzeyde olması rekabet yönünden zorunlu hale gelir. Özel kuruluşlarda firma, idarecilerine kalite kontrolünün ekonomik yönleri vb. konuları, seminer konferans, eğitim kurslarıyla verir<sup>11</sup>.

Ishikawa, toplam kalite kontrolü anlayışını daha da geliştirerek Japon kalite hareketi ile bütünleştirmiş ve “firma çapında kalite yönetimi” yaklaşımını ortaya koymuştur<sup>12</sup>.

Deming’in felsefesinin (Planlama-uygulama-denetleme-harekete geçirme) temeli istatistiksel düşünceye dayanmaktadır. Belirsizlik ve değişkenliğin azaltılması suretiyle ürün ve hizmet kalitesinin iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Crosby ise istatistiksel araç ve teknikler yerine davranış biçimindeki değişmelerin önemini ileri sürmekte ve vurgulamaktadır<sup>13</sup>.

## 1.2. KALİTE KONTROLÜN AMAÇLARI

Kalite kontrolün temel amacı, tüketici talepleri en ekonomik düzeyde karşılayan ürünlerin imal edilmesidir. Etkin bir kalite kontrol için şu sonuçlar söz konusudur:

- 1- Kalitenin ve ürün tasarımının sürekli olarak geliştirilmesi,
- 2- İşletme maliyetlerinin ıskarta, işçilik ve malzeme kayıplarının azaltılması,
- 3- Üretim hattındaki problemin giderilmesi,
- 4- Tüketicinin yerli ürüne olan güveninin artırılması,
- 5- Ürünlere dış pazarda rekabet gücü kazandırılması,

<sup>11</sup> T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Standart Kalite Kontrolü, Ankara, Aralık 1976, ss. 47-49.

<sup>12</sup> Sıtkı Gözülü, *Toplam Kalite Yönetiminde Türkiye Perspektifi*, İstanbul, 1994, s. 48.

<sup>13</sup> Gözülü, a.g.e., s. 49.

- 6- Milli servetin gereksiz yere harcanmasının önlenmesi,
- 7- Kusurlu ve tasarım hatalı ürünlerin neden olacağı tehlikelerin azaltılması
- 8- Tamir bakım masraflarının azaltılması,
- 9- Tüketicilerin korunması ve ihtiyaçlarına cevap verilmesi,
- 10- İşçi işveren ilişkilerinde olumlu gelişmeler sağlanması,
- 11- Kârın ve verimliliğin artırılması,
- 12- Müşteri şikayetlerinin azaltılması<sup>14</sup>.

### **1.3. KALİTE KONTROLUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Kalite kontrolünü etkileyen faktörlerin başında üretim araçları ve yöntemleri gelir. Son yıllarda imalat teknolojisinde insan gücünün giderek daha az kullanılması yönünde kaydedilen hızlı gelişmelerin kalite kontrol faaliyetlerini de etkilemesi doğaldır. Otomasyon adı verilen ve hem insanın emek payını azaltan hem üretim hızını çok artıran sistemlerde kalite kontrol sorunlarının kendiliğinden çözümleneceğini ileri sürenler vardır. Bu görüşe göre, başlıca hata kaynağı olan insan aradan çekildikçe aksaklıklar azalacak, kontrol faaliyetlerinin pek çoğuna gerek kalmayacaktır. Bu bir dereceye kadar doğru olmakla beraber otomasyonda üretim hızının çok yüksek düzeyde bulunduğu unutulmamalıdır. İnsan emeğinin ağırlık taşıdığı bir işlemde % 5 hata bir miktar ürünün ıskartaya ayrılması sonucunu doğurur. Halbuki yüksek hızla çalışan ve aynı işi gören otomatik bir makinanın % 5 kusurlu parça vermesi halinde bile zararın çok daha büyük olacağı meydandadır.

Otomasyonun kalite kontrolüne etkileri üç madde ile özetlenebilir<sup>15</sup>:

1- Otomatik tezgahlarda kusurlu parçaların neden olduğu duraklamanın maliyeti yüksek olduğu için, parçalar çok daha dar toleranslarda imal edilmelidir.

2- Parça takma ve sökme gibi faaliyetler olmadığından ustalık isteyen işler otomasyonda gerekli olmayacak ve dolayısıyla tezgah operatörü, kontrol ve bakım faaliyetlerine daha fazla zaman ayıracaklardır.

---

<sup>14</sup> İbrahim Ertiryaki, *Kalite Kontrolü*, İstanbul: Y.T.Ü. Sakarya Müh. Fak. Matbaası, 1992, s. 6-7.

<sup>15</sup> Koku, a.g.e., s. 27-28.

3- Yapılan ölçme ve test sayısı azalacak ve elemanların çalışmaları, daha çok toplanan bilgileri yorumlama, raporlama ve sorunlara çözüm arama faaliyetleri üzerinde yoğunlaşacaktır.

Görüldüğü gibi otomasyon, imalat ve kalite kontrol elemanlarının daha üst düzeyde bilgilerle donatılmasını, seçim ve eğitimlerinde değişik kriterlerin uygulanmasını zorunlu kılar.

Genel olarak kalite kontrolünü etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- 1- Üretim sistemlerinin büyümesi, gelişmesi ve seri hale gelmesi,
- 2- Malzeme teknolojisindeki gelişmeler,
- 3- Fiziksel ve kimyasal nitelikleri çok duyarlı olarak ölçülebilir alet ve yöntemlerin geliştirilmesi,
- 4- Karmaşık yapılı ürünlerin üretimi,
- 5- İşletmeler arası ilişkiler ve rekabetin uluslararası nitelik kazanması,
- 6- Hayat standardının artması,
- 7- Tüketicilerin artması ve bilinçlenmesi,
- 8- Tüketiciyi koruyan yasa ve derneklerin ortaya çıkışı,
- 9- Üretilen malların çevre kirliliği, can ve mal güvenliği açısından büyük önem taşımaları<sup>16</sup>

#### **1.4. KALİTE KONTROL AŞAMALARI**

Bir endüstri işletmesinde kalite kontrolü her şeyden önce, kullandığı teknolojiye bağlı olarak sistemleşir. Kalite kontrolü geniş kapsamlı çalışmaları içerir. Kalite tasarımı, girdilerin kontrolü, ambalaj, pazarlama, bakım onarım çalışmaları... vs. tüm bu alanları çeşitli aşamalarda gerçekleştirir.

Bir üretim süreci içindeki toplam kalite kontrol dört ana aşamada gerçekleştirilir:

---

<sup>16</sup> Ertiryaki, a.g.e., s. 8.



**1. Tasarım Kontrolü:** Bu aşamada yer alan faaliyetler, tüketici ve pazar araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi, ürün fonksiyon analizi, kalite karakteristiklerinin sınıflandırılması, kalite düzeyinin ve standartlarının belirlenmesi süreç ve tezgah imkanları, performans testleri, tolerans analizi, güvenilirlik ve satış sonrası tamir bakım standartlarının geliştirilmesidir.

**2. Gelen Malzeme Kontrolü:** Ürünün üretiminde kullanılan hammadde; yarı mamul, parça ve yardımcı malzemelerin ambalaj veya doğrudan üretim hattına, istenen kalite özelliklerine sahip olarak girişinin sağlanmasıdır. Diğer fabrikalardan, yan sanayi kuruluşlarından veya doğrudan satıcı firmalardan malzeme giriş söz konusu olabileceği gibi, fabrikanın bir departmanından diğerine de malzeme gönderilebilir. Tedarik kaynakları arasında kontrol işlemleri açısından genelde bir fark yoktur. Bu aşamada; çeşitli tedarik kaynaklarının değerlendirilmesi, malzeme özelliklerinin hazırlanması kabul muayenesi ve test yöntemlerinin belirlenmesi ekonomik örnekleme yöntemlerinin seçimi gibi faaliyetler yer alır.

**3. Ürün Kontrolü:** Ürün veya onu oluşturan parçaların kalite özelliklerinin imalat sırasında (süreç kontrol) ve imalat bittikten sonra (son kontrol) kontrol edilmesi işlemidir. Ürün kontrolü; muayene noktalarını ve işlemlerini belirleyen planın hazırlanması, örneklem, kontrol grafiklerinin uygulaması, alet ve aparat kontrolü, ölçme aletlerinin kalibrasyonu gibi faaliyetlerden oluşur.

**4. Servis Kontrolü:** Ürün; müşteriye teslim edildikten sonra, yani satış sonrası ortaya çıkan hataların ve şikayetlerin incelenmesi ve gereken tamir bakım işlemlerinin yapılmasıdır.

Tüm bu faaliyetlerin sonucunda piyasaya arz edilen ürün hakkında tüketicilerin talep ve şikayetlerinin tespit edilerek tekrar tasarım yapılması, gelen malzeme, ürün ve servis kontrollerinin gözden geçirilmesi gerekebilir. Bu nedenle kalite kontrol, “Geri besleme fonksiyonu”nu etkili bir şekilde kullanan ve ihtiyaçlara göre devamlı değişiklik gösteren dinamik bir sistemdir<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Ertiryaki, a.g.e., s. 3-4.

## 1.5. KALİTE KONTROLUNDA STANDARTLAR, ÖZELLİKLER, TOLERANSLAR

Kalite kontrolünün gerçekleştirilmesi için üretim anında kaliteyi etkileyecek bazı araçlardan yararlanmak doğru olacaktır.

Bu araçlardan en önemlileri standartlar, özellikler (spesifikasyon) ve toleranslardır. Standart ürün tasarımı, üretimi ölçme vb. konularda önceden saptanmış olan kurallardır. Gelecekteki gereksinmelere yanıt verecek biçimde değişmelere ayak uydurabilecek sürekli bir süreç olarak düşünülmesi doğru olur.

Özellikler ise bir işin nasıl yapılacağını belirten belirli özellikleri yanılıya düşmeyecek biçimde açıklayan, yönerge ve kriterlerle tanımlanan bilgilerdir. Özellikler standartların uygulanmasında yardımcı olan araçlardır.

Toleranslar ise tasarlanan kriterler içinde çeşitli kriter ve yöntemlerle saptanan izin verilen sapma nicelikleridir ve üretim verimliliğinin artmasında, dolayısıyla üretim maliyetlerinin düşürülmesinde etkilidirler. Toleranslar, özelliklerin oluşturulmasına yararlar ve onların bir ögesidirler<sup>18</sup>.

### 1.5.1. STANDARTLAR VE STANDARTLARIN DENETİMİ

Üretim işlemlerini karşılamak, verimliliği arttırmak, üretim maliyetlerini düşürmek, makine ve araç yatırım maliyetlerini düşürmek, bakım onarım ve yedek parça harcamalarını düşürmek, müşteri gereksinimlerini en iyi biçimde karşılamak için belirlenen standartlar, ekonomik yaşamın kaçınılmaz araçlarıdır. Bu nedenle ham materyallerden, yarı işlenmiş ürüne, makine araç gereç, üretim işlemlerine değin bir dizi konunun standartlaştırılması gerekmektedir. Uluslararası Standartlar Örgütü, Avrupa Standartlaşma komitesi vb... kuruluşlar çeşitli standartlaştırma çalışmalarını etkilemektedir.

Standartların denetimi, denetim teknolojisi ile üretim sürecinin teknolojisinden elde edilen sonuçların istenilenlere uygun olup olmadığının incelenmesi biçiminde sürdürülür. Üretim yöneticisi, öncelikle özellikleri belirler. Örneğin, sertlik, renk son görünüm gibi özellikler çok geniş bir aralıkta değişim gösterebilir. Ancak bunlar

---

<sup>18</sup> Demir, a.g.e., ss. 681-685.

ölçülmek zorundadır. Bu özellikleri ölçecek araçlar gerekli bölümler için sağlanmalıdır<sup>19</sup>.

#### **1.5.1.1. Standart Üretimin Faydaları**

Standart üretimin üreticilere sağlamış olduğu faydaları gruplandırarak şöyle sıralanabilir:

1) Standartlar, malzeme, yöntem ve ürünün özellikleri yönünden kurallar getirdiğinden, işletme seviyesinde üretim planlaması yapılmasını kolaylaştırır.

2) Üretilecek ürün çeşidinin standart hale getirilmesi, kullanılacak hammadde ve malzeme seçimini kolaylaştırırken, kayıp ve artıkların asgari seviyeye inmesini sağlar.

3) Standartların belirlenmesi ile seri üretime geçilerek; büyük miktarda ve belli bir kalite seviyesinde üretimin gerçekleştirilmesi imkanı doğar.

4) Standartların tespit edilmesiyle, gerek hammadde, malzeme ve yedek parçaların, gerekse nihai ürünün stok seviyesinin azaltılması yanında; depolama ve nakliye masraflarında önemli ölçüde tasarruf sağlamak mümkün olur.

5) Standartların belirlenmesi ile üretim yöntemleri, teçhizat ve kullanılacak malzeme konusunda tedbirler alınarak, iş emniyeti ve güvenliğinin iyileştirilmesiyle iş kazalarının önlenmesi veya azaltılması mümkün olur.

Teknolojik gelişmeye uygunluk arz eden ve sanayileşmenin doğal bir sonucu olarak giderek yaygınlık kazanan standardizasyon, başta üreticiler olmak üzere ilgili kesimlere çok yönlü ve değişik oranlarda fayda sağlayan verim arttırıcı bir tekniktir<sup>20</sup>.

#### **1.5.1.2. Türk Standartları Enstitüsü (TSE)**

TSE'nin kurulması ile ilgili ilk adım İsveç'li standardizasyon uzmanı Olle Sturen'in getirilerek kendisine bir rapor hazırlattırılmasıdır. Bu rapor ışığında kuruluş görevi 1954 yılında Türkiye Ticaret Odaları, Sanayi Odaları ve Ticaret Borsaları Birliğine verilmiştir. Enstitü 1955'de ISO (Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı) ve 1956 yılında ise IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) üyesi olmuştur. 1960 yılında Odalar Birliği bünyesinden ayrılarak doğrudan Başbakanlığa bağlanmıştır.

<sup>19</sup> Demir, a.g.e., ss. 681-685.

<sup>20</sup> Ertiryaki, a.g.e., ss. 25-26.

Enstitü, tüzel kişiliği haiz, özel hukuk hükümlerine göre yönetilen bir kamu kuruluşu olup, kısa adı ve markası “TSE”dir. Bu marka çeşitli şekillerde gösterilir ve enstitünün izni olmadan hiçbir şekil ve şart altında kullanılamaz.

Bir standardın mecburi kılınabilmesi için “Türk Standardı” olması şarttır. Mecburi kılınan standartlar Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girer.

### **1.5.1.3. TSE’nin Görevleri**

TSE’nin görevlerini şöyle sıralayabiliriz:

- 1- Her türlü standardı hazırlamak ve hazırlatmak,
- 2- Enstitü bünyesinde veya haricinde hazırlanan standartları kontrol edip, uygun bulunduğu takdirde Türk Standartları olarak kabul etmek,
- 3- Kabul edilen standartları yayımlamak ve ihtiyari olarak uygulanmalarını teşvik etmek, mecburi yürürlüğe konmalarında yarar görülenleri, onay alınması için ilgili bakanlıklara sunmak,
- 4- Özel ve kamu sektörünün isteği üzerine standartları ve projelerini hazırlamak ve görüş bildirmek.
- 5- Standartlar konusunda her türlü bilimsel ve teknik inceleme ve araştırmalarda bulunmak, yabancı ülkelerdeki benzeri çalışmalarını izlemek, ISO ve diğer kuruluşlarla ilişki kurmak ve bunlarla işbirliği içerisinde bulunmak.
- 6- Üniversiteler ve diğer bilimsel, teknik kurum ve müesseselerle işbirliği sağlamak, standardizasyon konularında yayın yapmak, ulusal ve uluslararası standartlardan arşivler oluşturmak ve ilgililerin istifadesine sunmak.
- 7- Standartla ilgili araştırma amacıyla ve standartların uygulanmasında kontrol için laboratuvarlar kurmak ve talep üzerine gerekli çalışmalarını yapmak ve rapor vermek.
- 8- Ülkede standartları yerleştirmek ve geliştirmek için eleman yetiştirmek ve bu maksatla burs ve seminerler düzenlemek.
- 9- Standartlara uygun ve kaliteli üretimi teşvik edecek her türlü çalışmalarını yapmak.

10- Metroloji ve kalibrasyon ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmak ve gerekli laboratuvarları kurmak<sup>21</sup>.

### 1.5.2. KALİTE KONTROLUNUN ÖZELLİKLERİ

Bir ürünün özellikleri; ürünün üretilmesi için gerekli işlerin doğru, eksiksiz yapılabilmesi ve kolaylıkla anlaşılabilmesi açısından önem taşır. Böylece ürünlerin belirli kalite özelliklerini taşımalarına ve standartlara uygun olarak yapılabilmelerine yardımcı olur.

Üretilen ürünün özellikleri iyi bir şekilde belirlenmişse bölümler arası ilişkiler bilgi akışı, iletişim biçimi ve süresi düzenli yürütülebilecek bunlara bağlı olarak da sistemin işleyişi kolaylaşacaktır.

Üretimde özellikleri amaç ve içeriklerine göre dört grupta toplamak olasıdır.

- 1- Materyal ve ürün özellikleri,
- 2- Süreç özellikleri,
- 3- Test özellikleri,
- 4- Kullanım Özellikleri

Materyal ve ürün özellikleri; diğer ürün ve materyallerden ayırt edilebilmeleri için saptanır. Paketleme, etiketleme, seri numarası, güvenlik bilgilerini taşımalıdır.

Süreç özellikleri; ürünün en uygun koşullarda üretilebilmesi için çeşitli kişi ve bölümlerin yapması gereken işlerin belirlenmesini sağlar. Kullanılacak materyalin cinsi, niceliği, çalışma ve çevre koşulları, makine ve araç gereçlerin özellikleri, ölçme denetleme yöntemleri ile ilgili bilgiler söz konusudur.

Test özellikleri; belirli oran, yarı işlenmiş ürünün istenilen nitelikte olup olmadığını kanıtlamak için yapılacak test işlemlerini belirleyen talimatlardır. Testin sonucunun yazılımı, rapor formu vb. ilişkin bilgileri de içerir.

Kullanım özellikleri; ürünün çalıştırılması, bakımına ilişkin bilgi ve talimatları kapsar<sup>22</sup>.

<sup>21</sup> Ertiryaki, a.g.e., ss. 27-28-29.

<sup>22</sup> Demir, a.g.e., ss. 681-685.

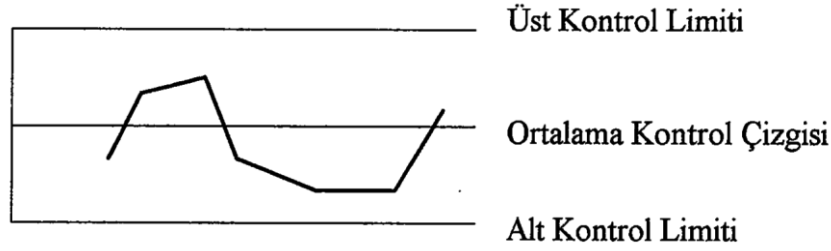
### 1.5.3. TOLERANSLAR

Toleranslar; tasarım, üretim ve kalite kontrol çalışmalarıyla yakından ilişkili olup, ürünün tasarlanması aşamasında belirlenir. Toleranslar yardımı ile ürünün boyutları, konumu, montaj çalışması ve işlevi gibi fiziksel öğelerinin belirlenmesinin yanısıra, bu bölgeleri ölçme araçlarının duyarlılığı sonucu, kalite özelliklerinin gerçekleştirme derecesinin saptanması kolaylaşır.

Toleranslar, üretim araçlarının neden olduğu değişmelerin saptanabilmesine ve yararlı araçların seçilebilmesine yardımcı olurlar.

Böylece tolerans limitleri içinde bu araçlarla süreç yeterliliğinin artırılması yaratılır. Bunun için toleranslar alt kontrol ve üst kontrol limitlerini saptar.

Dar tolerans limitleri yüksek maliyeti, geniş tolerans limitleri düşük maliyetin ifadesidir<sup>23</sup>.



Şekil 1.1. Bir üretim aracının yeterliliğini gösteren kontrol grafiği

### 1.5.4. TOLERANS BELİRLEMEDE ETKİN OLAN FAKTÖRLER

Bir imalat işletmesinde toleranslarla ilgilenen üç departman vardır. Bunlar tasarım, imalat ve kalite kontroldür. Toleranslar, ürünün tasarımı aşamasında belirlendiğinden yetki bu departmanda toplanır.

Bir toleransın eldeki temel amaca en uygun şekilde belirlenmesinde göz önüne alınması gereken pek çok faktör vardır. Bunlar beş grupta toplanır.

1- Fiziksel Faktörler

2- Ölçme Faktörleri

<sup>23</sup> Demir, a.g.e., s. 681-685.

- 3- Üretim Araçları
- 4- Ekonomik Faktörler
- 5- Beşeri Faktörler<sup>24</sup>

#### *1- Fiziksel Faktörler*

Toleranslar yardımıyla kontrol edilmesi istenen ürünün fiziksel yapısına ilişkin özelliklerdir. Bunlar; boyut, şekil, konum, montaj çalışma ve fonksiyon koşullarıdır.

Boyut toleransları diğerlerine kıyasla belirlenmesi ve kontrolü daha kolay olan karakteristiklerdir. Şekil ve konum toleransları birbiriyle çalışan yüzeylerde ve çok sayıda parçadan oluşan ürünlerde karmaşık teknolojik sorunların çözümünü gerektirir. Bu nedenle dizayn mühendisleri şekil ve konum toleranslarını mümkün olduğu kadar az kullanmayı tercih ederler<sup>25</sup>.

Montajda; ürünün çalışması ve fonksiyonları ile ilgili konularda ayrıntılı toleransların belirlenmesi güçtür.

Ürünün fiziksel karakteristiklerini belirleyen geometrik ölçülerin tıpatıp gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Teorik ölçüden az veya çok bir sapma olması kaçınılmaz bir sonuçtur. Tasarım ve imalatta önemli olan nokta bu sapmaların önceden belirlenen limitler içinde kalabilmesini sağlamaktır. Diğer taraftan hassas imalatta; malzeme yapısı, esneme, genleşme, tezgah titreşimi, parçanın işlendiği ortam sıcaklığı ve nem gibi etkenler de ölçü sapmalarına yol açabilir. Genellikle “kontrol edilemeyen değişkenler” olarak nitelendirilen bu etkenlerin doğuracağı olumsuz sonuçların deneysel yöntemlerle giderilmesine çalışılır.

#### *2- Ölçme Faktörleri*

Tasarım aşamasında belirlenen toleranslar ne kadar doğru ve hassas olursa olsun bunları gerçek ürün üzerinde ölçecek araç ve yöntemler kullanmadıkça bir anlam taşımaları mümkün değildir.

---

<sup>24</sup> Bülent Kobu, *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları, 1987, s. 180.

<sup>25</sup> E.G. Kirkpatrick, *Quality Control for Managers and Engineers*, New York, John Wiley, 1970, s. 71.

Bir fiziksel özelliğin kontrol edilmesinde kullanılan aletlerin cins ve kapasitelerinin belirlenmesi, tasarım aşamasında çözümü gereken bir sorundur. Bir ölçme aletinin hassasiyetinin, kullanılmasıyla ilgili tüm ürünlerin toleranslarından daha dar toleranslı olması gerekir. Örneğin,  $\pm 0.001$  mm toleranslı bir boyutun  $+ 0.01$  mm hassasiyetinde olan bir aletle kontrolü düşünülemez.

Bu nedenle kontrol elemanlarının; üretilen ürünlerin fiziksel özellikleri ve bunlarla ilgili özellikler ve toleranslar hakkında teknik bilgilerle donatılması, ilgili imalat dalında kullanılması gereken tüm ölçme aletlerinin yapısı kullanımı ve verdikleri sonuçların yorumlanması konularında yeterli eğitimden geçmesi çok önemlidir.

### 3- Üretim Araçları (Tezgah)

Kullanılan tezgahın neden olduğu değişimler ise, işe uygun tezgahı seçerek veya değişme nedenlerini kontrol altında tutarak azaltılabilir. Örneğin, çapının  $\pm 0.005$  mm toleransla işlenmesi istenen bir mil için  $\pm 0.010$  mm hassasiyetle çalışabilen bir torna tezgahı kullanılması düşünülemez. Önemli olan çok sayıda işlenen parçaların belirlenen tolerans limitleri içinde kalan miktarıdır.

Bir tezgahın belirli tolerans limitleri içinde işlem yapabilme olasılığına “süreç yeterliliği” denir. Süreç yeterliliği öncelikle kaynağı belirlenebilen malzeme, takım, kalıp vb. nedenlerle ilgili önlemler olarak arttırılabilir.

Süreç yeterliliği kontrol çalışmalarında; mevcut tezgahların özellikleri takım aşınmaları tezgah hareket hızları, kalıp, aparat ve aletler, malzeme ve ayarlarla ilgili bilgileri sistemli bir şekilde hazırlayarak ilgililerin yararına sunmak gerekir<sup>26</sup>.

### 4- Ekonomik Faktörler

Toleranslar bir ürünün kalite düzeyini belirleyen en önemli karakteristiklerdir. Özellikle makine ve ileri teknolojiye dayanan karmaşık ürünlerin üretiminde dar toleranslar yüksek kalite ve dolayısıyla yüksek maliyet anlamına gelir.

Toleransların dar olması, yani nominal ölçüden izin verilen sapma miktarının küçülmesi, işleme maliyetini büyük bir hızla arttırır<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Ertiryaki, a.g.e., s. 62-70.

<sup>27</sup> L.J. Bayer, “Tooling and Production”, *Industrial Quality Control*, Vol: 22, No: 5, August 1956, s. 73.



Toleransların işleme maliyetleri üzerindeki etkisi göz önüne alındığında ürün tasarımında toleranslar mümkün olduğu kadar geniş tutulmalıdır.

#### *5- Beşeri Faktörler*

Özellikle bilgi akışı ve işbirliğinin zorunlu olduğu hallerde farklı departmanlar arasında beşeri sorunlar çıkması kaçınılmaz ve bir ölçüye kadar doğal sayılır. Tolerans belirlenmesi tümüyle teknik bir konu olmakla beraber, sadece beşeri sorunlar yüzünden başarısızlığa uğranılması sık rastlanan bir olaydır. Örneğin, imalatın tasarım mühendisliğine duyduğu güvensizlik yüzünden verilen toleransları “nasıl olsa gereğinden dar tutulmuştur” düşüncesi ile genişletmekte sakınca görmemesi önemli bir beşeri sorundur.

#### 1.5.5. DAR VEYA GENİŞ TOLERANS VERME NEDENLERİ

İmalat sanayisinde tolerans belirleme temelde alternatif teknik çözümlerle maliyetler arasında uzlaştırıcı noktanın bulunmasından ibarettir. Dar toleransların işleme maliyetlerini hızla arttırmasına karşılık montaj kolaylığı, yüksek kalite ve performans düzeyi, yüksek ömür sağlama avantajları sağlar. Geniş toleranslarda üretim artışı, ıskarta oranının azaltılması, malzeme ve işçilik verimliliğinin arttırılması yönünde avantajlar sağladığı bilinmektedir.

Tasarım mühendisi fonksiyon, dayanıklılık, görünüş ve maliyet arasında uygun bir denge konumunu belirleme sorumluluğunu taşır.

Bunun için de; mevcut kalite düzeyinin maliyetini düşürme veya aynı maliyetle yüksek kalite düzeyi elde etme amaçlarını gerçekleştirmeye çalışır.

Tasarım mühendisini dar tolerans vermeye yönelten nedenleri şöyle sıralanabilir:

- 1) Ürünün fonksiyonu, güvenilirliği, dayanıklılığı, ömrü, performansı ve görünüşüyle ilgili özelliklere uygun tolerans ve malzeme karakteristiklerinin seçimi
- 2) Seri imalatın gerçekleştirilmesi
- 3) Kullanılan takım, tertibat ve kalıplardan en iyi şekilde yararlanmayı sağlayacak önlemlerin alınması

Geniş tolerans vermeye yönelten nedenler de şöyle sıralanabilir:

- 1) Üretim planlaması, kullanılan takım ve tezgahlar
- 2) İmalat yöntemleri
- 3) Takım ayar ve yenileme bakım koşulları
- 4) Ek imalat işlemleri
- 5) Ölçme aletleri ve yöntemleri
- 6) Iskarta limitleri ve oranları
- 7) Direkt ve indirekt işçilikler<sup>28</sup>.

## 1.6. KALİTE KONTROLUNUN YÖNTEMİ

Kalite kontrolünde yedi denetim aşaması vardır ve her biri özel bir amaç için tasarımılanır. Denetim aşamalarının kalite kontrolunun süreçsel doğası içinde farklı derecelerde belirlenmesi gerekir. Bu farklılık endüstri tipine bağlı olarak, fabrikanın büyüklüğüne ...vb. göre değişir. Kalite denetim aşamaları aşağıdaki biçimde sıralanabilir:

### 1- Girdi materyallerinin ve satın alma öğelerinin denetimi

Bu denetim iki biçimde gerçekleşir:

#### a) Satın alıcının fabrikasında denetim

aa) % 100 (Tam) denetim: Uzun ve pahalı bir yöntemdir.

ab) Kabul denetimi: Örnekleme yoluyla küçük maliyetleri garanti etmek için özelliklerden sapmaların belirlenmesi için tasarımılanır.

ac) Her iki yöntemin karışımı kullanılır.

#### b) Satıcının mülkünde denetim

### 2- Tesislerin denetimi:

Makinalar çalıştığı sürece, üretim tesislerinde kabul edilen performans standartlarının gerçekleştirilmesi için denetim yapılır.

---

<sup>28</sup> Kobu, a.g.e., s. 180.

### 3- Makinadan ilk çıkanın denetimi:

Belirli bir partinin üretimine başlandığında, her makinadan ilk üretilen parçanın denetimi yapılır. Parça istenilen özellikteyse üretime devam edilir.

### 4- Kendi kendine denetim:

Ürünü üreten operatörün kendi çalışmasının denetimini yapmasıdır.

### 5- İşlemden sonra kontrol elemanlarının denetimi:

Kendi kendine denetim, kontrol elemanlarının denetleme niceliğini azaltıp, elimine etmez. Eğer etkin bir denetim yapılabilirse bu süreçteki çalışmalarda birçok hata riski yok edilebilir.

### 6- Son denetim:

Son denetimin ana amacı yalnızca fabrikadan tüketiciye sunulmasına izin verilen kalite standartlarının, yeniden belirlenmiş olan tamamlanmış ürüne garanti vermesini sağlamak değildir. Önemli işlevi, ana sınırlar içinde kalite performansını değerlendirmesi için temel sağlamaktır. Bu değerlendirme, kritik bir çalışmayı gerektirecek ve süreçlerin karşılaştırılması, hat üzerindeki denetleme yordamlarının yeniden belirlenmesi, hatalı çalışma ve kayıp niceliklerinin hesaplanması ve maliyet çözümlemesine etki eden diğer çözümlenmeleri içerecektir.

### 7- Satıştan Sonra Kalite Değerlemesi:

Ürünün tüketiciyi tatmin edip etmediği önemli olacağından tüketiciden dönen ürün söz konusu mu? Müşterilerin kaçısı servis istedi? Tüketici raporlarından ürünün kalitesi hakkında nasıl anlam çıkarıldığı çalışmalarını kapsar.

Üretim aşamasında kalite kontrolü iki aşamada gerçekleşir:

1- Üretim sırasında yapılan kontrol

2- Üretim sonrasında yapılan kontrol

Üretim sonrası kontrolde hata, üretim işlevi sonunda ortaya çıkacağından, bir aksama sonucu kusurlu ürün üretilmiş olduğu saptandığında büyük ölçüde kusurlu ürünler ile karşılaşmış olur. Oysa üretim sırasındaki kontrol, hatayı anında ve

nedenleriyle birlikte ortaya çıkarabilir ve kusurlu ürün üretimi daha düşük düzeyde gerçekleşir<sup>29</sup>.

### 1.6.1. GİRDİLERİN KALİTE KONTROLU

Belirli kalite özellikleri olan ve onların yapısında taşıdığını gösteren belirli kontrol işlevinden geçmiş girdi materyallerinin kalite kontrol yönetimi için önemi büyüktür. Süreçte kullanılacak materyal gereksinimlerine göre ve pazar beklentilerini tatmin edecek çıktı sürecini garantileyen girdi standartları açık olarak belirlenmelidir.

Kusurlu girdiler genellikle yüksek maliyetlere neden olur. Örneğin, kalitesiz materyal kullanıldığında, bu materyal birçok maliyetler yaratır. Bunlar;

- 1- Kullanışsız kalemlerin maliyeti
- 2- Gerektiğinde parçasının bulunmama maliyeti
- 3- Müşterinin hoşnutsuz olma maliyeti

şeklinde sıralanabilir<sup>30</sup>.

Üretimin kalitesi ürün özelliklerinin karşılanma derecesi anlamındadır ve iki sorunu dikkate alır:

- 1- Tasarım özelliklerinin belirlenmesi
- 2- Onların tam olarak başarılması

Bu ise girdilerin kalite düzeyi ile yakından ilişkilidir. Girdilerin denetimi işlevi, yönetimin çeşitli maliyetleri dengelemesi amacının gerekliliği üzerine oluşur. Tasarım standartlarını tatmin edecek kadar az denetleme yapmak amaçtır ve sorun zıt maliyetlerin dengelenmesidir.

#### 1.6.1.1. % 100 Denetim

Materyal alınacağı ya da iş yükleneceği zaman, materyalin özellikle uygun olup olmadığını sınavacak bir kontrol yöntemine karar vermek gerekir.

<sup>29</sup> Demir Hulusi, Şevkinaz Gümüšoğlu, Üretim Yönetimi Sistem Analizi Açısından Planlama ve Kontrol, İzmir: Aydın Yayınevi, 1986, ss. 296-297-298-299.

<sup>30</sup> R. Thomas Hoffman, *Production Management and Manufacturing Systems*, California, Wads Worth Pub. Lishing. Co. Inc., 1967, s. 206.

Yüzde yüz denetim, tüm kalemlerin bir bölümünün denetlenmesinden daha yüksek maliyete sahiptir. Ancak tamamıyla kusursuz olmamakla beraber daha güvenilirdir.

Kontrol elemanları, tüm parçaları tek tek kontrol ederek % 100 kusursuz olanını seçerler. Ancak kalite kontrolcuların bile zaman zaman kusurlu parçayı geçirip, kusursuzu geri çevirerek yanılığa düştükleri olmaktadır. Bu yanılığın kontrol işleminin çok yinelemeli ve sıkıcı olduğu hallerde daha sık görülür. Dahası bütün birimler tek tek aktarılma, paketten çıkarılma, denetleme, yeniden paketleme gerektirdiğinden % 100 kontrol oldukça pahalı, sıkıcı ve zaman harcayıcı seri bir denetim gerektirir<sup>31</sup>.

## **1.7. KALİTE KONTROLUNDA KULLANILAN YÖNTEMLER**

Hammaddelerin, parçaların ara malların ve nihai ürünlerin kalite kontrolunda çok ve çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar basit olarak dört ana grupta toplanabilir:

1- Yalnızca, duyu organlarıyla yapılan kalite kontrolü: Genellikle bir ürünün tadı, rengi, kokusu, sesi ve sertliği gibi yönleri kontrol edildiğinde duyu organları yeterli olabilmektedir. Ancak bu, büyük ölçüde kişinin yetenek ve deneyimlerine bağlı bir yöntemdir. Dolayısıyla fazla güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmemelidir.

2- Çeşitli araç- gereçlerin yardımıyla yapılan ölçümlene ve değerlemeler. Bu yöntem, bir ürünün özellikle boyutları, ağırlığı, hacmi ve biçimi yönünden kontrol edildiğinde kullanılır. Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli aletler günümüzde oldukça fazladır.

3- Çeşitli fiziksel, kimyasal, mekanik ve benzeri özellikleri değerlendirmek için laboratuvarı deney yoluyla kontrol: Özellikle kimya, ilaç, metalürji, gıda, elektronik gibi endüstri dallarında ürünün yapı, bileşim, güç, dayanıklılık, iletkenlik, ısınma, ergime ve benzeri özellikleri ileri düzeyde geliştirilmiş, hassas aletler ve uzman işgörenler tarafından deneyler yoluyla belirlenir.

---

<sup>31</sup> Demir, a.g.e., s. 689-690.

4- Uygulama ve kullanma yoluyla kalite kontrol: Genellikle, nihai ürünler gerçek kullanım koşullarında denenerek önceden belirlenen özelliklere uyup uymadıkları kontrol edilir. Örneğin motor, makine, otomobil, gemi ve uçak gibi ürünler bu şekilde kontrol edilir ve daha sonra tüketiciye ve kullanıcıya verilir<sup>32</sup>.

## **1.8. KALİTE KONTROLUNDA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER**

Bazı üretim alanlarında üretilen tüm ürünlerin kalite kontrolüne tabi tutulması gerekmektedir. Ancak bu, zaman alıcı ve yüksek maliyet gerektiren ve akılcı olmayan bir yoldur. Ayrıca bazı kontrol yöntemleri, ürünün tahrip olmasına veya değerini büyük ölçüde yitirmesine neden olmaktadır. Tüm bunların ötesinde günümüzde üretim kapasitesinin büyümesi, hızlı ve yoğun üretim sisteminin gelişmesi “yüzde yüz kontrol” yerine ana kütle içinden bilimsel yöntemlerle belirlenecek büyüklükte bir “örnek kütle” alınması, bu örnek kütle kalite kontrole tabi tutulması ve sonuçta bulunan değerlerin gerekli hesaplamalar yapılarak ana kütle için ifade edilmesi olarak tanımlanan “İstatistiksel Kalite Kontrolü”nun uygulanması yaygınlaştırılmıştır.

### **1.8.1. KABUL ÖRNEKLEMESİ**

Kabul örnekleme, belirli bir miktar malzeme, montaja alınacak parça veya tamamlanmış ürün içerisinde kabul edilmeyecek kadar yüksek bir orandaki kısmın belirlenen kalite sınırları dışına taşması durumunda, bunların bir sonraki imalat aşamasına geçmesine veya kullanılmasına engel olmak amacıyla uygulanan bir tekniktir. Kuramsal olarak % 100 muayene uygulaması hiçbir kusurlu birimin bir sonraki aşamaya geçmesine olanak vermeyecektir. Ancak, uygulamada % 100 muayene dahi hiçbir kusurlu parçanın gözden kaçmadığını garanti etmez. Muayene süreçleri, insan, emek ve yeteneğini içerdiğinden hata olasılığını her zaman için taşımaktadır. Ayrıca % 100 kontrol bazı durumlarda olanaksız olmakta, parça ya da ürünün tahrip olmasına ve aşırı zaman kayıplarına yol açmaktadır.

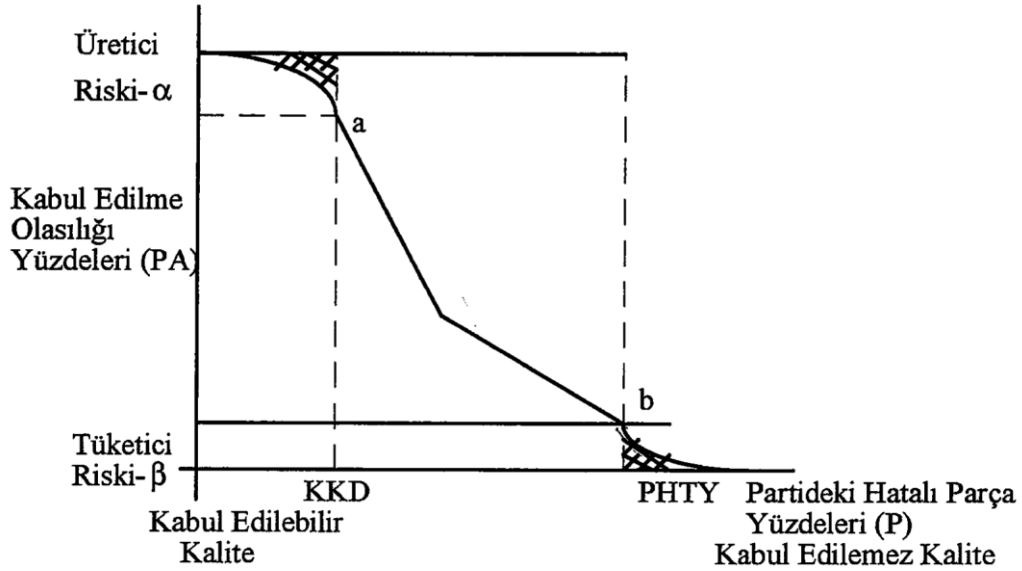
---

<sup>32</sup> Barutçugil, a.g.e., s. 285.

Örneğin incelenmesi sürecinde küçük bir örnek kütle ele alınır ve elde edilen sonuçlara göre partinin tümü kabul veya reddedilir. Örnekleme uygulaması şu çalışmaları kapsar:

1- Kabul edilebilir kalite düzeyinin tanımlanması: Bu kullanıcının istediği kalite düzeyidir ve bu kalitedeki parça ve ürünleri içeren partilerin muayeneyi geçme olasılığı çok yüksektir.

2- Kabul edilemez kalite düzeyinin tanımlanması: Bu ise kullanıcının parça veya ürün partisini tümüyle reddetmesini gerektirecek kusurlu yüzdesidir. Örnekleme uygulaması, bu tür partilerin muayene sürecinden geçerek kabul edilmesi olasılığını düşürecek şekilde tasarlanmalıdır.



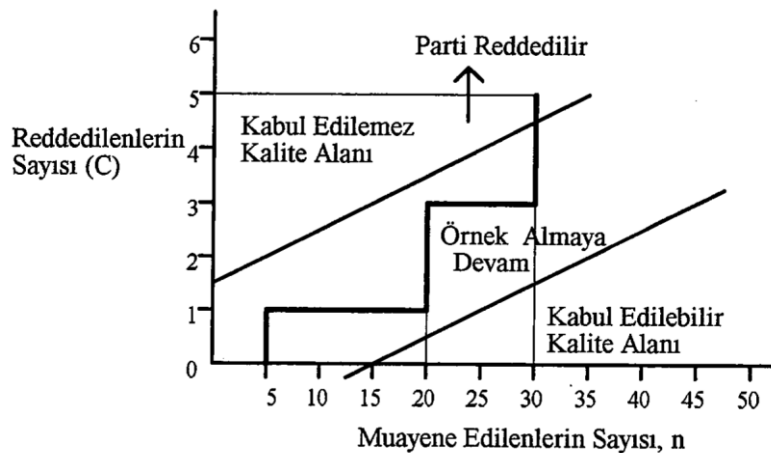
Şekil 1.2. İşlem özellikleri eğrisi, üretici riski ( $\alpha$ ), tüketici riski ( $\beta$ )

Hiçbir örnekleme planı, tam anlamıyla başarılı olmamaktadır. Her zaman için kabul edilebilir bir partinin reddedilmesi (üretici riski) ve kabul edilemez bir partinin ise kabul edilmesi (tüketici riski) olasılığı bulunmaktadır. Bir örnekleme planı, kabul edilebilir ve kabul edilemez kalite düzeylerinin tanımlarına ve üreticinin risklerinin olasılık yüzdelere dayalı olarak gerçekleştirilebilir. Bu, gerek duyulacak örnek kütlelerin büyüklüğünün ve belirli bir parti büyüklüğü için örnek kütlede kabul edilebilir kusur sayısının ne olması gerektiğini ortaya koyacaktır. Bu uygulama, grafik olarak

tipik bir işlem özellikleri (iö) eğrisinden yararlanılarak gösterilebilir. Kabulü yapılacak bir parti ürünün veya malzemenin içindeki kusurlu birimler yüzdesinin (p), çeşitli düzeyleri için kabul olasılıklarını ( $P_A$ ) gösteren işlem özellikleri eğrisi incelenerek üretici ve tüketici riskleri konusunda bilgi edinilebilir.

Şekil 1.2’de sözü edilen ve i.ö. eğrisinin çizimine olanak sağlayan; kabul edilebilir kalite düzeyi (KKD), partinin hata tolerans yüzdesi (PHTY), üreticinin riski ( $\alpha$ ), tüketicinin riski ( $\beta$ ), standart tablolar, şemalar ve formüller kullanılarak bulunur ve eğri çizilir. Buradan uygun örnek büyüklüğü ve kabul etme sayısı oldukça doğru bir şekilde elde edilebilir. Bu uygulama, tek kabul örnekleme planıdır ve temelde basit iyi/iyi değil sınıflamasına dayanır.

Çoklu kabul örnekleme ise iyi/iyi değil seçeneğinin yanısıra “olabilir” seçeneğini de sağlayan bir uygulamadır. Burada ilk örnekte bulunan kabul edilemez nitelikteki parça veya ürünlerin sayısı belirlenen düzeyin altında kalırsa söz konusu parti kabul edilir, eğer reddedilenlerin sayısı en üst sınırın da üzerinde ise bu parti reddedilir. Eğer reddedilenlerin sayısı iki sınır arasında bulunuyorsa ikinci bir örnek kütle alınır. Toplam örnek kütle büyüklüğü (1. ve 2. örnek kütleler) için alt ve üst sınırlar yeniden belirlenir ve yeniden bir karar alınır. Muayene görevlisi, alınan toplam örnek kütle için reddedilenlerin sayısı ya kabul edilebilir kalite düzeyine ya da kabul edilemez kalite düzeyinin üstüne çıkıncaya kadar örnek almaya devam edecektir. Birbiri ardına örnekleme planı aşağıda gösterilmektedir<sup>33</sup>.



Şekil 1.3. Birbiri ardına örnekleme planı

<sup>33</sup> Barutçugil, a.g.e., s. 285-287.



## 1.8.2. KONTROL GRAFİKLERİ

Kontrol şemalarının ilk kullanıcısı Dr. Walter A. Shewhart olmuştur. Hatta Shewhart grafikleri olarak da anılır. Kontrol grafikleri ile pek çok tanım vardır. Bunlardan birkaçı aşağıdaki gibidir. Duncan “Prensip olarak istatistik aletlerden yararlanarak tekrar eden işlemler üzerine çalışma ve bu işlemleri kontrol etme” diye tanımlamıştır<sup>34</sup>.

Simsons ise “kontrol işleminde kullanılan kontrol grafiği saati saatine, günü gününe işlem kontrol mühendisine ve işleme personeline kontrol işleminin bir resmini vermektedir” diye tanımlamıştır. Bu kartları kullanarak işlem sınırları teşkil edilmekte; periyodik örnekleme ve sonuçları işaretleme ile süreç kontrolü sürdürülmektedir<sup>35</sup>.

Ürünün özelliği saptandıktan sonra üretime geçilir. Ancak üretim işlemi bir yandan sürekli olarak ortak, öte yandan arasına ortaya çıkan özel nedenlerin etkisi altında bulunmaktadır.

Üretim sadece ortak nedenlerin etkisi altındayken bütün ürünler istenilen özelliğe uygun olarak elde edilir.

Kontrol grafikleri özel bir nedenin üretimi etkilemeye başladığını en kısa zamanda ve en az bir yanılma ile yöneticiye haber verir. Özel nedenlerin hemen bulunup ortadan kaldırılması üretimi yönetenin görevidir.

Kontrol grafiği aksaklığı en kısa zamanda haber veren çok etkili bir araçtır; ancak aksaklığın varlığını sadece bildirir ortadan kaldırmaz<sup>36</sup>.

Kalitede şans değişiminin dışındaki bazı sebeplerden ortaya çıkan değişimler bulunmaktadır. Bunlar özel nedenler olarak nitelendirilir. Kontrol limitleri dışına çıkan bir gözlemin bulunması özel faktörlerin araştırılmasını gerektirmektedir.

Özel faktörün süreçten elenmesi, ekonomiklik sağlamaktadır. Özel faktörün ortadan kaldırılması için düzeltici önlemlerin alınması gerekmektedir. Hatalı işlem veya yöntem uygulaması, büyük işçilik hataları ve malzeme yapısındaki büyük farklar; özel faktörler olarak nitelendirilir.

<sup>34</sup> A.J. Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, Homewood Illinois, Richard D. Irwin, Inc., 1973, s. 337.

<sup>35</sup> David Simsons, *Practical Quality Control*, Massachusetts, Wesley Publishing Company Inc., Reading, 1970, s. 131.

<sup>36</sup> İşçil Necati, “İstatistik Kalite Kontrolü Semineri”, Ankara, 1994, s. 80.

Kontrol grafiklerinin kullanımına:

1- Kontrol edilecek özelliklerin belirlenmesi

2- Arzulanan bir ortalama değerin saptanması ve bu değerin altında ve üstündeki sapmaların ne ölçüde kabul edilebilir olduğunun karşılaştırılması

3- İmalat sürecinin bu sınırlar arasında yürütülmesinin ekonomik açıdan gerçekleştirilebilir olduğunun görülmesinden başvurulur.

Arzulanan ortalama değer ve alt üst sınırlar belirlendikten sonra imalat sürecini istenen sınırlar içinde tutarak bir kontrol grafiği ve örnekleme planı tasarlanabilir.

Kontrol grafiklerini iki grup altında toplamak mümkündür:

1- Nicel değerler için kontrol grafikleri ( $\bar{X}$ , R)

2- Nitel değerler için kontrol grafikleri (P, C)<sup>37</sup>

### 1.8.3. NİCEL DEĞERLER İÇİN KONTROL GRAFİKLERİ

Boyut, ağırlık, hacim, aşınma miktarı, hız gibi ölçülebilir değişkenler veya bunların ortalama, dağılım aralığı ve standart sapmaları için kontrol grafikleri çizilebilir.

Değişkenin cinsi ne olursa olsun bir kontrol grafiğinin oluşturulmasında daima üç temel elemanın belirlenmesi gerekli ve yeterlidir. Bunlar, orta çizgi, alt kontrol limiti, üst kontrol limiti olup standartlar verildiğine göre veya geçmiş kayıtlara göre çizimi sözkonusudur.

#### 1.8.3.1. Standartlar Verildiğine Göre Kontrol Grafiklerinin Çizimi

Değişkenler için en çok kullanılan grafiklerde, süreç ortalaması ( $\bar{X}$ ) ve aralığın (R) kullanıldığı görülür.  $\bar{X}$  grafikleri, bireysel ölçümlerin ya da örnek ortalamalarının, istenilen ortalamaya ya da genel ortalamaya göre nasıl karşılaştırılacağını gösterir. R grafikleri, örnek içindeki bireysel gözlemlerin değişkenliğini kayıt eder. Bu iki grafik

---

<sup>37</sup> Barutçugil, a.g.e., s. 288, 289.

birbirini tamamlayıcıdır çünkü bir örnek hem kabul edilebilir ortalamaya, hem de ölçümlerin uygun aralığına sahip olmalıdır ki, süreç kontrol altındadır denilebilsin<sup>38</sup>.

Dağılımın normal olduğu varsayılırsa  $\bar{X}$  ve  $\sigma_{\bar{x}}$  değeri bilindiği takdirde,  $\bar{X}$  ve R kontrol limitleri şöyle tanımlanırlar:

$$\text{ÜKL} = \bar{X} + 3\sigma_{\bar{x}} \text{ (üst kontrol limitini)}$$

$$\text{AKL} = \bar{X} - 3\sigma_{\bar{x}} \text{ (alt kontrol limitini)}$$

$$\text{oç} = \bar{X} \text{ (orta çizgi)}$$

R grafiğinin çiziminde;

$$\text{ÜKL} = \bar{R} + 3\sigma_R \text{ (üst kontrol limitini)}$$

$$\text{AKL} = \bar{R} - 3\sigma_R \text{ (alt kontrol limitini)}$$

$$\text{oç} = \bar{R} \text{ (orta çizgi)}$$

### 1.8.3.2. Geçmiş Kayıtlara Göre Kontrol Grafiklerinin Çizimi

Geçmiş kayıtlara göre kontrol grafiklerinin çizimi öncelikle ortalama ve standart hatasının birer tahmini olan  $\bar{X}$  ve  $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$  bulunur.

$\bar{X}$  ortalama grafiğinin çiziminde:

$$\text{ÜKL} = \bar{X} + A_2 \cdot R$$

$$\text{AKL} = \bar{X} - A_2 \cdot R$$

$$\text{oç} = \bar{X}$$

R ortalama grafiğinin çiziminde;

$$\text{ÜKL} = D_4 \cdot \bar{R}$$

$$\text{AKL} = D_3 \cdot \bar{R}$$

$$\text{oç} = \bar{R}$$

---

<sup>38</sup> Kobu, a.g.e., s. 346.

$\bar{X}$  ve R grafiğinin çiziminde ÜKL, AKL değerleri hesaplanırken  $A_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  değerleri Tablo 1.2'den bakılarak eşitlikte yerine konulursa

**Tablo 1.2.**  $\bar{X}$  ve R Grafikleri İçin  $3\sigma$  Kontrol Limitlerini Saptayıcı Faktörler

n	$A_2$	n	$D_4$	$D_3$
2	1.880	2	3.268	0.00
3	1,023	3	2.574	0.00
4	0.729	.	.	.
5	0.577	.	.	0.00
.	.	6	2.004	0.076
.	.	7	1.824	.

S kartlarının grafiğinin çiziminde de:<sup>39</sup>

$$\text{ÜKL} = D_4 \cdot \bar{S}$$

$$\text{AKL} = D_3 \cdot \bar{S}$$

$$o\check{c} = \bar{S}$$

S kartlarında aynı kusurların bazılarında göz yumulup hesaplamalar yapılmasına rağmen S kartları R'ye tercih edilebilir. Özellikle, S'nin dağılımı; bireysel değerleri (X'ler) normal dağıldığında, 3 sigma limitleri kullanılarak asimetriktir.  $\bar{S} \mp 3 \hat{\sigma}_s$

Burada  $\bar{S}$ : grup standart sapmalarının ortalaması  $\hat{\sigma}_s$ : Tahmin edilen standart hata olarak tanımlanmıştır.<sup>40</sup>

<sup>39</sup> Demir, a.g.e., s. 710.

<sup>40</sup> Thomas R. Ryan, *Statistical Methods for Quality Improvement*, New York, Wiley, 1989, s. 8-9.

## 1.8.4. NİTEL DEĞERLER İÇİN KONTROL GRAFİĞİ

### 1.8.4.1. Kusurlu Oranı “P” Grafiği

Bu tür kontrol grafikleri; ürünün tam kontrolü ya da bir örnek grubunun incelenmesi yoluyla kullanılır. Eğer örnekleme yapılacaksa örnek grubunun geniş hacimli olması daha iyi sonuç verir.

Bu tür kontrol ile kusurlu oranının önceden belirlenen standartların dışına çıkıp çıkmadığı incelenir. Bununla beraber bu tip grafiksel kontrol grubuna alt kusurlu oranının bilinip bilinmemesine bağlı olarak iki şekilde uygulanır.

#### 1.8.4.1.1. Standartlar belli iken “p” grafiği

Anakütle alt kusurlu oranının bilinmesi halinde bu oran orta çizgi olarak alınır. Üst ve alt kontrol limitlerinin bulunması için şu formül uygulanır:

$$\pi \mp 3 \sqrt{\frac{\pi \cdot Q}{n}}$$

$$\pi \text{ (ortalama kusurlu yüzdesi)} = \frac{q \text{ (Kusurlu a deti)}}{N \text{ (Ana kütle hacmi)}}$$

Binom dağılımının normal dağılım gibi kabul edilmesi nedeni ile alt kontrol limiti bazen negatif ( - ) değerli çıkabilmektedir. Böyle durumlarda alt kontrol limiti sıfır alınır.

$$AKL = \pi - 3 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot Q}{n}}$$

$$ÜKL = \pi + 3 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot Q}{n}}$$

$$oç = \pi$$

Her kusurlu birimin orta çizgi etrafında kümelenip üst ve alt kontrol limitlerinin dışına çıkmaması üretimin kontrol altında olduğunu gösterir.

#### 1.8.4.1.2. Standartlar belirsiz iken “p” grafiği

Anakütlenin kusurlu oranını her zaman bilmeye olanak yoktur. Özellikle anakütle çok sayıda birimden oluşmuş ise kusurlu birimleri bulmak için bütün anakütlenin % 100 kontrolden geçmesi gerekir. Bu zaman alıcı ve masraflı ve bazı durumlarda da uygulamanın olanaksız olduğundan anakütle içerisinde seçilen örneklemin kusurlu oranından faydalanılır. Bu oran kusurluların sayısının örnek hacmine oranı yoluyla hesaplanır ve orta çizgisi olarak alınır.

Üst ve alt kontrol limitlerinin hesabı ise:

$$\text{ÜKL} = \bar{P} + 3 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot q}{n}}$$

$$\text{AKL} = \bar{P} - 3 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot q}{n}}$$

#### 1.8.4.2. Kusur Sayısı, “C” Grafiği

Birim ürün başına kusur sayısının kontrolü için kullanılır. Her birim üründe bulunan ortalama kusur sayısı belirlendikten ve bunların alt ve üst kontrol sınırları hesaplandıktan sonra denetim işlemlerinde kabul edilecek ve edilmeyecek partiler karar alınabilir.

Üst ve alt kontrol limitlerinin hesabı ise:

$$\text{ÜKL} = C + 3\sqrt{C}$$

$$\text{ÜKL} = C - 3\sqrt{C}$$

$$\text{OÇ} = C$$

Burada C: Ortalama kusur sayısıdır.

$$C = \frac{\text{Kusur Sayısı}}{\text{Seçilen Örneklem Hacmi}}^{41}$$

### 1.8.5. $\bar{X}$ VE R KONTROL GRAFİKLERİNİN ANALİZİ

Değişkenler için en çok kullanılan grafikler  $\bar{X}$  ve R kontrol grafikleridir.  $\bar{X}$  grafikleri; bireysel ölçümlerin ya da örnek ortalamalarının, istenilen ortalamaya göre nasıl karşılaştırılacağını gösterir. R grafikleri ise örnek içindeki bireysel gözlemlerin değişikliğini kayıt eder.

$\bar{X}$  ve R grafikleri, bir analiz aracı olarak kullanılabilir. Kontrol kartları vasıtasıyla, ıskarta parça sayısını minimum tutarak uzun periyotlar dahilinde prosesi kontrol altında tutmak mümkün olur.

Ortalamalar ve farklar için kontrol limitleri, süreç ve tezgah takımının gerçek performansından hesap edilen istatistiksel limitlerdir. Bir ortalama veya fark değeri, geliş güzel şans nedeniyle ( $\mu \mp 3\sigma$  lık bir yayılıma sahip olduğunda) ancak % 0.3 olasılıkla limitler dışında kalacaktır.

Bir nokta kontrol limitleri dışında düşmüşse, muhtemeldir ki süreç değişmiştir ve artık normal gitmemektedir.

Birbirini takip eden iki noktanın aynı kontrol limitinin dışına düşme olasılığı hemen hemen sıfırdır. Kusurlu parçalar genellikle makine, malzeme veya operatörün tesiri ile meydana gelir.

$\bar{X}$  grafiğinde kontrol dışına çıkan bir nokta makinanın yanlış kullanılması sonucu oluşmuş olabilir. R grafiğinde kontrol dışına çıkan noktalar makinalar ile olan problemlerden kaynaklanır.

Bir ortalama kartında değişiklik şüphesi veren bazı durumlar şunlardır:

- 1- Birbirini takip eden 11 noktadan 10,  $\bar{X}$  'nin aynı tarafında bulunması
- 2- Birbirini takip eden 14 noktadan 12'sinin,  $\bar{X}$  'nin aynı tarafında bulunması
- 3- Birbirini takip eden 17 noktadan 14'ünün,  $\bar{X}$  'nin aynı tarafında bulunması
- 4- Birbirini takip eden 20 noktadan 16'sının,  $\bar{X}$  'nin aynı tarafında bulunması

$\bar{X}$  ve R grafikleri kullanılmasını gerektiren neden, kritik bir boyut veya problemlili bir süreçtir.  $\bar{X}$  ve R grafikleri seri imalatta olduğu kadar muhasebe işlemleri, personel devamlarında da başarıyla kullanılabilir. İstatistik bakımdan kontrol

limitlerinin tayini 25 grup örneklem ve her grupta 3-9 parçanın muayene edilmesiyle yapılır. Kolaylık bakımından 5 parçalık örneklem grupları tercih edilir.  $\bar{X}$  grafikleri sürecin merkez hattını ve gruplar arasındaki değişmelerini gösterir. R grafikleri ise muntazamlığı, kararlılığı ve gruptaki farklılığı gösterir<sup>42</sup>.

$\bar{X}$  ve R grafiklerine teorik olarak etki eden faktörler şunlardır:

<b><math>\bar{X}</math> Grafiği</b>	<b>R Grafiği</b>
Malzemede değişmeler	Malzemenin homojen olmayışı
Operatörün değişmesi	Operatörün tecrübesizliği
Tezgah ayarlarının değişmesi	Tezgahın bakım gerektirmesi
Muayene metodlarının değişmesi	Test ekipmanlarının kararlı olmayışı

Pratik olarak;  $\bar{X}$  kartlarındaki değişmeler genellikle operatör veya metod R kartlarındaki değişmeler ise, makine ve malzeme probleminde işaret eder.

$\bar{X}$  ve R grafiklerindeki belirlenebilir değişimlerin nedenleri elimine edildikten ve sürece etki eden yalnızca tesadüfi değişmeler kaldıktan sonra, gerçek doğru bir süreç yeterliliği tayin etmek mümkündür<sup>43</sup>.

Tablo 1.3; 100 tane örneklemden alınan taşıma kapasitelerini verir.  $\bar{X}$  ve R grafiklerine göre şu sonuçlar bulunmuştur:

<sup>42</sup> Ertiryaki, a.g.e., s. 140-147.

<sup>43</sup> Ertiryaki, a.g.e., s. 160-161.



**Tablo 1.3. Taşıma Kapasiteleri**

Örnek No.									
1	265.000	21	340.000	41	265.000	61	230.000	81	265.000
2	205.000	22	318.000	42	254.000	62	240.000	82	250.000
3	263.000	23	245.000	43	281.000	63	248.000	83	260.000
4	307.000	24	250.000	44	294.000	64	263.000	84	275.000
5	220.000	25	271.000	45	223.000	65	231.000	85	337.000
6	268.000	26	310.000	46	260.000	66	334.000	86	250.000
7	260.000	27	210.000	47	308.000	67	280.000	87	278.000
8	234.000	28	185.000	48	235.000	68	265.000	88	254.000
9	299.000	29	270.000	49	283.000	69	272.000	89	274.000
10	215.000	30	271.000	50	277.000	70	283.000	90	275.000
11	197.000	31	280.000	51	200.000	71	265.000	91	278.000
12	286.000	32	242.000	52	235.000	72	262.000	92	250.000
13	274.000	33	260.000	53	246.000	73	271.000	93	265.000
14	243.000	34	321.000	54	328.000	74	245.000	94	270.000
15	230.000	35	228.000	55	296.000	75	301.000	95	298.000
16	260.000	36	250.000	56	276.000	76	280.000	96	257.000
17	247.000	37	299.000	57	256.000	77	274.000	97	210.000
18	265.000	38	258.000	58	275.000	78	253.000	98	280.000
19	250.000	39	267.000	59	240.000	79	287.000	99	269.000
20	3000.000	40	293.000	60	290.000	80	270.000	100	251.000

$$\bar{X} = 264.780$$

$$\bar{ÜKL} = 354.722$$

$$AKL = 174.838$$

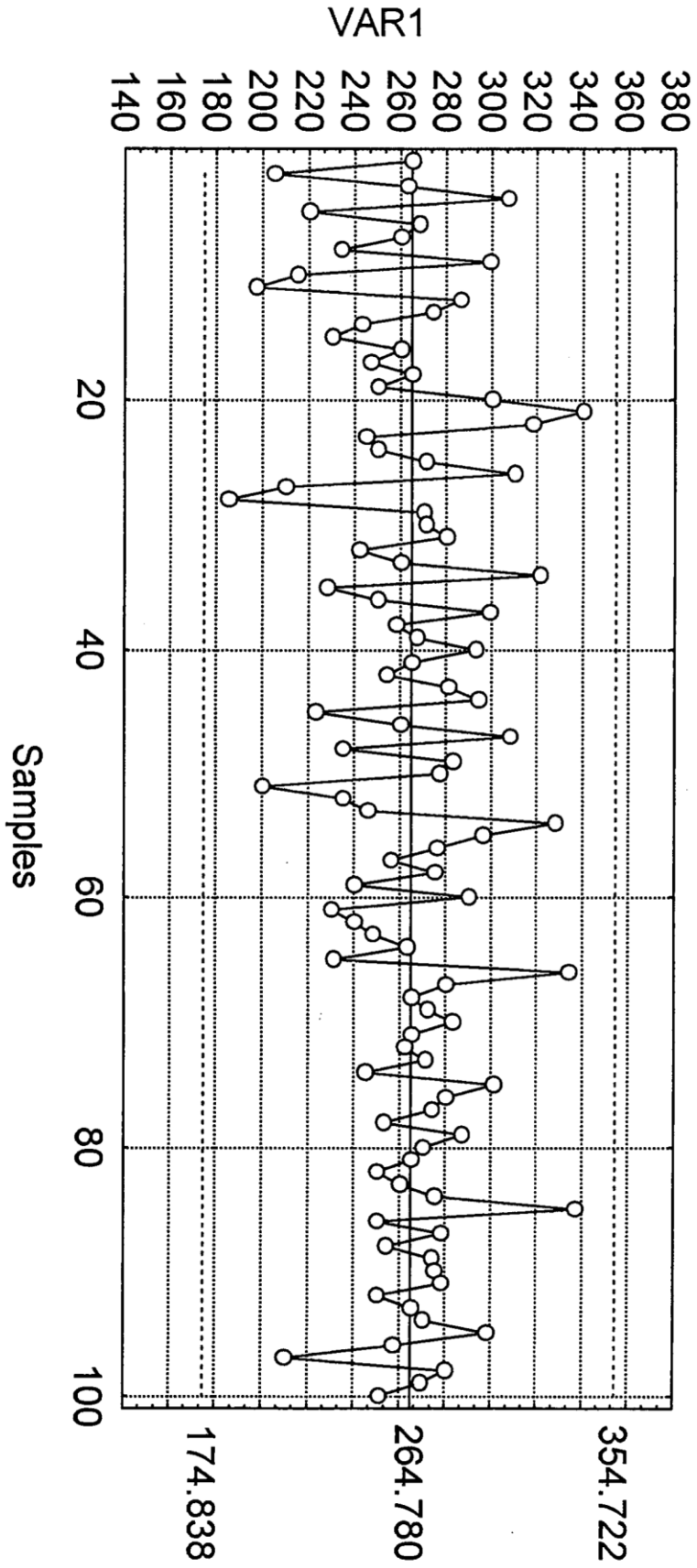
$$\bar{R} = 33.8182$$

$$\bar{ÜKL} = 110.494$$

$$AKL = 0$$

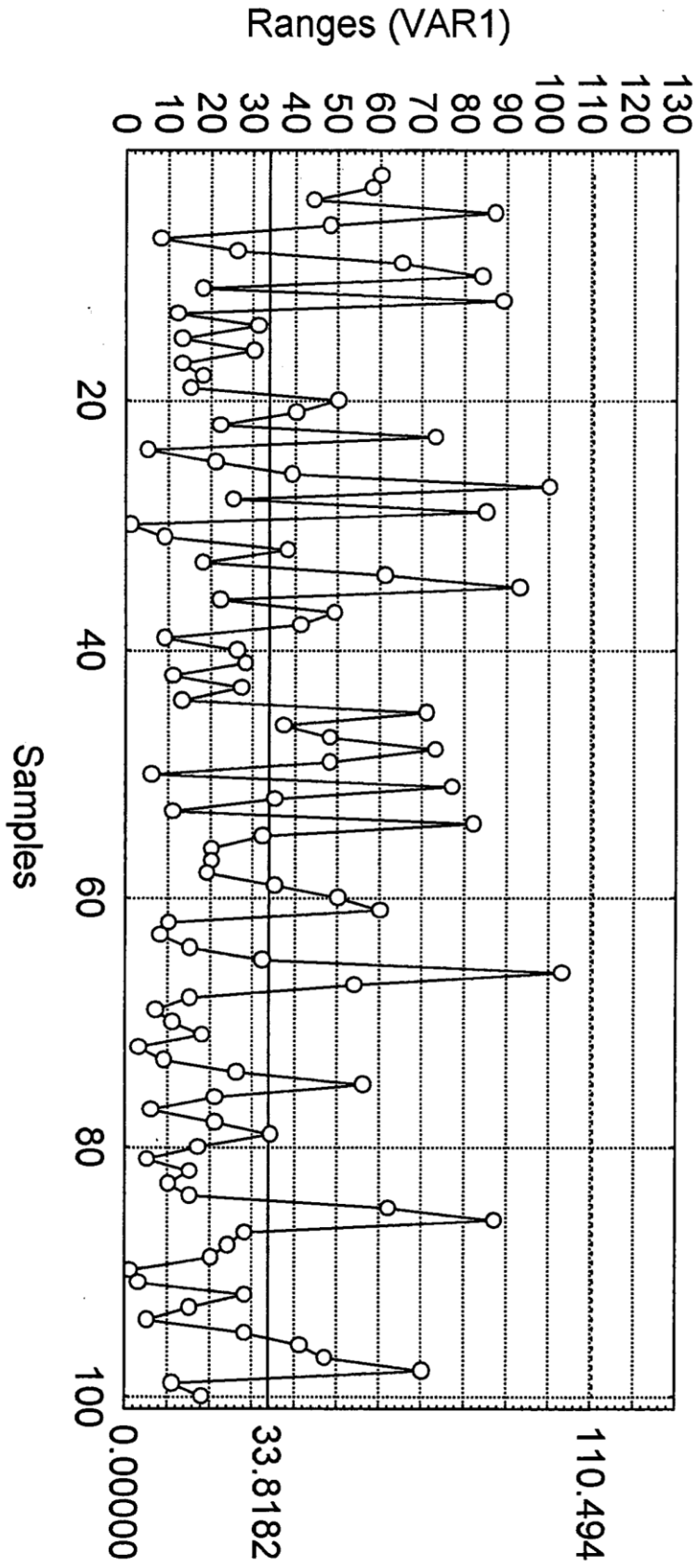
Şekil 1.4'ten  $\bar{X}$  değerinin  $\bar{ÜKL}$  ve  $AKL$  arasında, Şekil 1.5'ten de  $R$  değerinin  $\bar{ÜKL}$  ve  $AKL$  arasında yer aldığını ve sürecin kontrolde olduğunu söylemek mümkündür.

X-BAR CHART Mean: 264.780  
Standard: 264.780  
Sigma: 29.9807  
Standard: 29.9807  
N per Sample: 1



Şekil 1.4.  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği

R CHART: Mean: 33.8182  
 Standard: 33.8182  
 Sigma: 25.5585  
 Standard: 25.5585  
 N per Sample: 1



Şekil 1.5. R Kontrol Grafiği

## 2. BÖLÜM

### 2.1. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ

İstatistiki kalite kontrolde en önemli tekniklerden birisi süreç yeterlilik analizidir. Bu teknik sürecin yeterliliğini tayin etmek için kullanılan önemli bir ana araçtır. Yeterlilik indisleri üretim araçlarının onay elemanlarından biridir. Yeterlilik; üretim, deneme, kontrol ve bakım araçlarına uygulanır. Yeterlilik indisleri; makine ve prosesin yeterliliğini ölçen, gerekli koşul ve sınırlara uyup uymadığını inceleyen çalışmalardır<sup>44</sup>.

Üretimin kalite açısından planlamasında sürecin toleranslarını sağlayabilecek ön güvenceden başka önemli bir şey yoktur. Süreç yeterliliği; süreç ile umulan üretimin ölçülü, doğal varyasyonudur.

Süreç; üretimle ilgili bazı makine, araç, metot, materyal ve insan faktörünün tümünü ifade eder<sup>45</sup>.

Ürün dönüşümünde üretimden önce gelen geliştirici çalışmaları da kapsayan istatistik teknikleri, birim değişkenliğinin tespiti, bu değişkenliğin ürün ihtiyaç ya da beklentileriyle ilişkili olarak analizi ve bu değişkenliğin azaltılması ya da en aza indirgenmesi için yapılan geliştirme ve keşiflerde yardımcı olarak faydalı olabilir. Bu genel aktiviteye “süreç yeterlilik analizi” denir<sup>46</sup>.

Nitelik grafikleri daha etkin bir kontrol gerektiren olumsuz sonuçlar gösterdiğinde atılacak ikinci adım kalite yeterlilik analizidir. Etkin kalite kontrolleri birimlerin doğal yetersizliğini belirleyen veri ölçümlerini muhakkak kapsamalıdır. “Makine yeterlilik analizi” daha sınırlayıcıdır ve sadece makinaların kontrolünü kapsar. Halbuki “süreç yeterlilik analizi”ndeki süreç terimi makinadan işgörene kadar üretim ya da hizmette kullanılan tüm öğeleri kapsar. Kalite analizlerinin amacı ise; birimlerin

---

<sup>44</sup> Ertiryaki, a.g.e., s. 158.

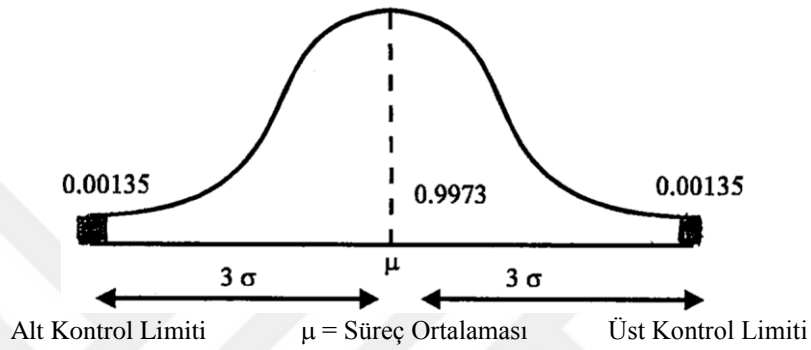
<sup>45</sup> J.M. Juran, *Quality Planning and Analysis*, New York, Mc Graw Hill Inc., 1993, s. 393.

<sup>46</sup> Douglas C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, New York, John Wiley, 1991, s. 365.

verimini düşüren dışsal faktörleri en aza indirgediğinde doğal devir derecesini bulmaktır<sup>47</sup>.

Proses yeterlilik üretimle ilişkilidir. İşlemdeki değişiklik ürünün bir ölçüsüdür. Bu değişkenliği iki şekilde ele almak mümkündür:

- 1- Belli bir zamandaki doğal değişkenlik, ani değişkenlik
- 2- Zamandan bağımsız değişkenlik



**Şekil 2.1.**  $\pm 3\sigma$  'lık yayılıma sahip süreç yeterliliği

Proses yeterlilik ölçümlerinde; ürün kalite karakterinin dağılımında  $6\sigma$ 'lı bir yayılım ele alınması gelenekseldir.

Şekil 2.1 Normal dağılıma sahip,  $\mu$  ortalama,  $\sigma$  standart sapmasına sahip bir süreç yeterlilik ölçümünü gösterir.

Prosesin alt ve üst kontrol limitleri  $\mu + 3\sigma$ ,  $\mu - 3\sigma$  ile ifade edilir.

$$\text{ÜKL} = \mu + 3\sigma \quad \text{AKL} = \mu - 3\sigma$$

Normal dağılıma göre değişkenliğin doğal tolerans limitleri % 99.73'lük bir alanı kaplar ya da bunun dışında kalan alan % 0.27'dir.

Şu noktaları göz önünde bulundurmak gerekir:

1- Her milyon birimden 27000 tanesi % 0.27'lik alana 997300 birimde % 99.73'lük alana dahil olur. Kontrol limitleri dışına çıkan parça (birimler) çok küçüktür.

<sup>47</sup> Bernard L. Hanson, *Quality Control Theory and Application*, New Delhi, Prentice Hall of India Private Limited, 1973, s. 92.

2- Eğer süreç çıktısının dağılımı normal değilse  $\mu + 3 \sigma$  dışında kalan çıktı yüzdesi % 0.27'den oldukça farklıdır.

Süreç yeterlilik analizini; süreç yeterliliği hesaplamak üzere mühendislik çalışmaları olarak tanımlamak da mümkündür. Süreç yeterlilik hesabı, belirli bir şekle sahip olan, ortalaması, standart sapması hesaplanan olasılık dağılımı şeklinde olabilir. Örneğin süreç çıktısının  $\mu = 1.0$  ve  $\sigma = 1.001$  cm ile normal olduğuna karar verilebilir.

Bu bağlamda; kalite karakteri konusunda özellikleri göz önünde bulundurmaksızın oluşturulabilir.

Alternatif olarak süreç yeterliliği; özelliklerin dışında kalan yüzde olarak da ifade edilebilir. Ancak özellikler süreç yeterlilik analizini oluşturmak için gerekli değildir. Süreç yeterlilik çalışması çoğunlukla sürecin kendisini değil, ürün hakkındaki fonksiyonel parametreleri ölçer. Analizi yapan kişi süreci doğrudan doğruya gözlemleyebildiği ve kontrol edebildiği veya veri toplama aktivitesini izleyebildiği zaman süreç yeterlilik çalışması doğrudur. Çünkü veri toplama kontrolü ile veri uyumu zamanı bilinmekle zaman içerisinde sürecin sağlamlılığı hakkında sonuçlar çıkarılabilir. Ancak; sadece ürün birimleri örneği elimizde mevcut olduğunda, satıcı tarafından sağlandığı veya inceleme yoluyla elde edildiği ve sürecin doğrudan gözlemlenmesi veyahut üretim tarih zamanı olmadığında o zaman bu çalışmaya “üretim tanıma” denir.

Üretim çalışmasında ürün kalite karakterinin dağılımı veya süreç kazancı tahmin edilebilir. Sürecin dinamik davranışı veya istatistiksel kontrolünün durumu hakkında bir şey söylenemez<sup>48</sup>.

Süreç yeterlilik çalışmasında önemli olan; birimlerin verimini düşürecek dışsal faktörlerin etkilerini en aza indirmektir. Bu tip faktörler doğal olmayan materyal dönüşümleri, birimlerin yeniden yapılması, tanzimi ya da birimlerin işlevlerini yitirmesidir. Dolayısıyla homojen materyaller kullanılmalı, uygulama sırasında birim tanzimi ya da yenilemesi yapılmamalı ve uygulamada meydana gelen tüm bozulma gerilme ya da çürüme gibi işlevlikleri azaltıcı kazaların sonuçları hesaplanmalı ve uygulama sonuçlarından çıkarılmalıdır.

---

<sup>48</sup> Montgomery, a.g.e., s. 366.

Tüm bu şartlar sağlandığında n gözlem sonucunda istenilen bilgiler ve bunların standart sapmaları hesaplanır. Makine ya da aletin kalite seviyesi ve yeterliliğin bilinmesi işlerin “kalite tabloları” hazırlanması sırasında fayda sağlar. Bir aletin yeterliliğinin bilinmesi, çok gerekli ihtiyaç ve beklentilerin elimine edilmesini her zaman sağlamasa da kusurlu üretim sınırları hesaplanabilir ve takip edilecek yöntemler, sonuçlar önceden tahmin edilerek belirlenebilir. Eğer bir birimin istenilen şartları sağlayacak ve belirtileri doyuracak kalitede üretim yapamayacağı sonucuna varılırsa işletmenin önünde dört seçenek vardır:

- 1- Başka bir birim kullanmak (makine, alet vb.),
- 2- İstenilen şartları ve beklentileri değiştirmek,
- 3- Kusurlu öğelerin kaldırılması için araştırma yapmak,
- 4- Bu işten vazgeçmek.

İlk alternatif yeniden yapılanma yeni alet, makine alımı ya da daha etkin birimlere sahip bir kaynakla anlaşmayı kapsar. İkinci ise mantıklı olsa da genel olarak şartları hafifletmek ve beklentilerden vazgeçmek zordur. Yine de bu en düşük maliyeti gerektirdiğinden düşünülebilir. Üçüncü alternatif ise, eğer araştırma yapılırsa ve maliyeti diğer alternatif maliyetlere göre daha düşük olacaksa faydalı olabilir. Dördüncü alternatif ise ancak vazgeçilen ürünlerin birim maliyetlerinin çok düşük, araştırma maliyetinin çok yüksek ve kusurlu üretim yapan birimlerin görünen ve görünmeyen maliyetlerinin piyasada düşük olduğu durumlarda başvurulmalıdır<sup>49</sup>.

#### 2.1.1. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİNDEN ÇIKAN VERİNİN BELLİ BAŞLI KULLANIM ALANLARI

- 1- Sürecin sergileyeceği değişkenliğin boyutunu ön tahminde bulunma
- 2- En uygun toleransı karşılayacak olan süreçler arasında seçim yapmak.
- 3- Uyumlu sürecin iç ilişkisinin planlanması
- 4- İşin özelliğine göre en uygun makine temin etme
- 5- Kalite gelişim programlarının kusur sebeplerini test etme
- 6- Satın alınan makinelerden istenilen kalitedeki performansın hizmet etmesi

---

<sup>49</sup> Hanson, a.g.e., s. 94.

7- Peryodik süreç kontrolü ve yeni ayarlamalar programlama yapabilmek için hesaplanabilir esaslar ortaya koyma<sup>50</sup>.

Süreç yeterlilik analizi ürün ve süreç tasarımı, satıcı temini, üretimin planlanması ve bizzat üretilmesi dahil ürün evresinin pek çok birimlerinde uygulama alanı olan bir tekniktir.

Süreç yeterlilik çalışmasında, unutulmaması gereken en önemli nokta şudur: “Kontrol grafikleri, süreçte kusurlu olan yeri göstermelidir, sizin düşündüğünüz yeri değil...”<sup>51</sup>

## 2.2. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİNDE KULLANILAN TEKNİKLER

Proses yeterlilik analizinde önemli üç teknik kullanılır. Bunlar sırasıyla:

1- Histogram veya olasılık grafikleri

2- Kontrol grafikleri

3- Deney tasarımı

### 2.2.1. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİNDE HİSTOGRAM KULLANIMI

Frekans dağılımı süreç yeterlilik hesaplamasında kullanılır. En az yüz veya daha fazla gözlem histogram düzeninde çizildikten sonra sürecin yeterlilik hesabının güvenilirliği gözlemlenebilir olduğundan daha kullanışlıdır.

Eğer kalite mühendisi, süreç için bir yola sahip ve veri toplama işini kontrol ederse şu adımları izler:

1- Makine veya kullanılan makinaların seçimi: Sonuçlar temel bir veya birkaç makinaları, daha geniş anakütleye yaymaksın, seçilen makinalar anakütleyi temsil edebilir olmalı.

2- Süreç çalışma şartlarını seçmek: Gelecekte ikna için malzeme oranları kesme hızı ve ölçümler gibi şartları dikkatli tanımlama; süreç yeterlilikte bu faktörleri değiştirmenin etkileri çalışma için önemli olabilir.

---

<sup>50</sup> Juran, a.g.e., s. 394.

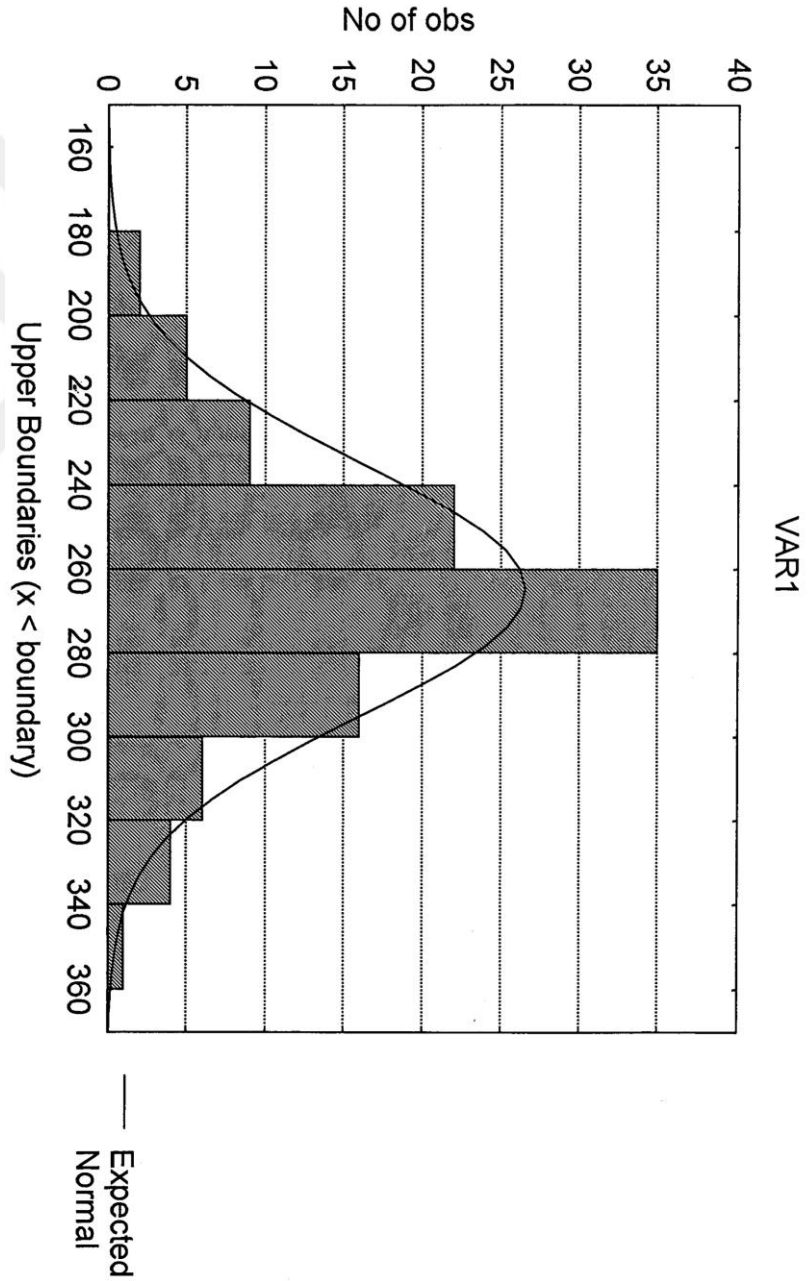
<sup>51</sup> Ertiryaki, a.g.e., s.



3- Temsil eden operatör (teknisyen) seçme işlemi: Bazı çalışmalarda operatör değişkenliğini hesaplamak için önemli olabilir. Bu durumda operatörler, operatörlerin içinden rassal seçilmelidir.

4- Veri toplama sürecini dikkatli gözleme ve her birimin üretildiği zamanı ayarlama: Verilerin doğru olması süreci kontrol etmede gereklidir.

Birinci bölümdeki taşıma kapasiteleri örneğinin verilerini kullanarak histogramını ve sınıf aralıklarını oluşturmak mümkündür.



Şekil 2.2. Taşıma kapasiteleri ölçümlerinin histogramı

**Tablo 2.1.** Taşıma Kapasiteleri Ölçümlerinin Sınıf Aralıkları

STAT. BASIC STATS	VAR1 (erkan.sta)					
Category	Count	Cumul. Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumul. % of All
160.00 <= x < 180.00	0	0	0.00000	0.0000	0.00000	0.0000
180.00 <= x < 200.00	2	2	2.00000	2.0000	2.00000	2.0000
200.00 <= x < 220.00	5	7	5.00000	7.0000	5.00000	7.0000
220.00 <= x < 240.00	9	16	9.00000	16.0000	9.00000	16.0000
240.00 <= x < 260.00	22	38	22.00000	38.0000	22.00000	38.0000
260.00 <= x < 280.00	35	73	35.00000	73.0000	35.00000	73.0000
280.00 <= x < 300.00	16	89	16.00000	89.0000	16.00000	89.0000
300.00 <= x < 320.00	6	95	6.00000	95.0000	6.00000	95.0000
320.00 <= x < 340.00	4	99	4.00000	99.0000	4.00000	99.0000
340.00 <= x < 360.00	1	100	1.00000	100.0000	1.00000	100.0000
Missing	0	100	0.00000		0.00000	100.0000

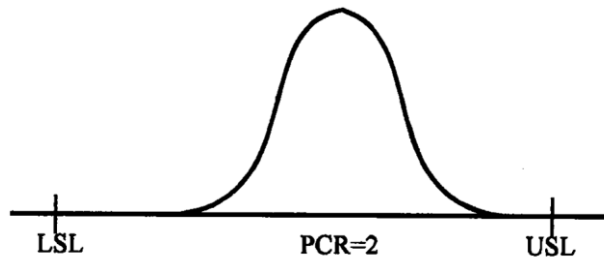
### 2.2.2. SÜREÇ YETERLİLİK ORANLARI

Süreç yeterlilik oranı; izin verilen süreç yayılma alanı yani alt ve üst limitler arasındaki fark ile süreç yayılma arasındaki oran ilişkisiyle açıklanır.

$$PCR = \frac{\text{İzin verilen süreç yayılma alanı}}{\text{Süreç yayılma alanı}}$$

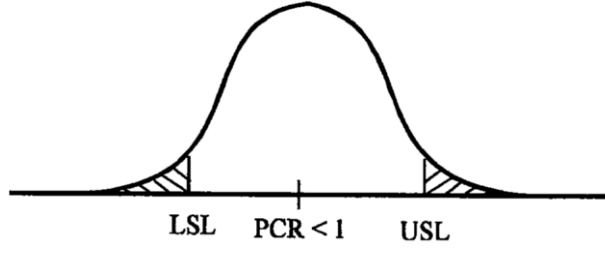
Bu oranın ölçüm birimi yoktur ve farklı kalite değişkenleri olan süreçlerin karşılaştırılmasına olanak tanır.

Örneğin PCR'nin iki olması sürecin çok yeterli olduğunu gösterir.



**Şekil 2.3.** Yeterli bir süreç

Şekil 2.4, PCR'nin birden küçük olması halinde kusurlu üretimin arttığını ifade eder.



**Şekil 2.4.** Yetersiz bir süreç

Çoğunlukla, normal dağılan süreçler  $6\sigma$  lık bir yayılıma sahip olup, verilen birimlerin % 99.73'ünün ölçümlerini kapsayan yeterliğe sahiptir<sup>52</sup>.

Süreç yeterlilik oranını şu şekilde hesaplamak mümkündür.

$$PCR = \frac{\ddot{U}KL - AKL}{6\sigma} \quad (2.1)$$

$\ddot{U}KL \rightarrow$  Üst kontrol limiti

$AKL \rightarrow$  Alt kontrol limiti

$\sigma \rightarrow$  Standart sapmayı gösterir.

$\sigma$ 'nın büyük olması arzu edilmeyen bir durum olduğundan dolayı süreç yeterlilik oranlarının büyük değerleri küçük değerlerine oranla daha çok tercih edilir.

X normal dağıldığında, X'in beklenen değeri  $E(x)$  alt kontrol ve üst kontrol limitlerinin noktasına  $((AKL + \ddot{U}KL)/2)$  eşitse, kusurlu ürünün beklenen oranı  $2\phi(-d/\sigma)$  dır.

Burada  $d = 1/2 (\ddot{U}KL + AKL)$  üst kontrol ve alt kontrol limitlerinin orta noktasıdır.

$$PCR = \frac{\ddot{U}KL - AKL}{6\sigma} \text{ dan}$$

$$PCR = \frac{d}{3\sigma} \text{ olduğu görülür.}$$

$$E(x) = 1/2 (AKL + \ddot{U}KL)$$

<sup>52</sup> Spiring Fred A., "The Cpm Index", *Quality Progress*, February 1991, s. 57.

Kusurlu ürünün beklenen oranı (p),  $2\phi(-d/r)$  olduğu bilindiğine göre  $PCR = \frac{d}{3\sigma}$  eşitliğinden  $\frac{d}{\sigma} = 3 PCR$  'ye eşittir. Beklenen oran  $2\phi(-3 PCR)$  edilir.

$PCR = 1$  ise kusurlu ürünün beklenen oranı % 0.27'dir. Bu ancak normallik varsayımı altında gerçekleşir.

Tablo 2.2'de kusurlu ürünün minimum beklenen oranları verilmiştir.

**Tablo 2.2.**

PCR	2.00	$1\frac{2}{3}$	$1\frac{1}{3}$	1.00	2/3	1/3
-3 PCR	(%0.0000002)	(%0.000057)	%00063	% 0.27	% 4.55	% 31,73

Süreç yeterlilik oranları aynı zamanda kusurlu ürünün ölçümü olarak alınabilir. Tablo 2.2'de  $PCR = 1$  olduğunda milyonda 2700 tane kusurlu üretim ( $2\phi(-3PCR)$ )  $PCR = 1.33$  olduğunda milyonda 63 tane  $PCR = 1.66$  olduğunda milyonda 0.6 tane  $PCR = 2$  olduğunda 0.2'den az kusurlu ürün söz konusu olduğu görülür.

Bu ölçümler ancak ve ancak süreç ölçümleri limitlerin orta noktasında normal dağılım gösteriyorsa doğrudur<sup>53</sup>.

Süreç yeterlilik oranı hesaplanırken eğer  $\sigma$  (standart sapma) bilinmiyorsa  $\sigma$ 'nın tahmini  $\hat{\sigma}$  hesaplanmak zorundadır.  $\sigma$ 'nın tahmini için S veya  $\bar{R}/d_2$ 'yi kullanmak mümkündür.

PCR'nin tahmininin hesaplanması:

$$PCR = \frac{\bar{ÜKL} - AKL}{6\hat{\sigma}} \quad (2.2)$$

<sup>53</sup> Samuel Kotz, Normal L. Johnson, *Process Capability Indices*, New York, Chapman Hall, 1993, s. 39-43.

PCR'nin tahminini hesaplamak için, beşer ölçümlük on örneklem alınıp krem kavanozlarının net muhteviyatı  $\bar{X}$  ve R kartlarını kullanarak öncelikle alt ve üst kontrol limitleri bulunur.

**ÖRNEK 1:**

	ÖLÇÜMLER (Gr)					R	$\bar{X}$
1	20.04	20.01	19.98	20.02	20.00	0.06	20.01
2	20.02	19.97	19.96	20.07	20.02	0.11	20.008
3	20.01	20.07	19.99	20.03	20.00	0.08	20.02
4	19.98	19.97	20.02	19.98	29.98	0.04	19.986
5	19.99	20.03	19.98	20.02	20.02	0.05	20.008
6	20.02	19.95	20.04	20.02	19.95	0.09	19.996
7	20.00	19.99	20.01	20.02	20.01	0.03	20.006
8	19.99	20.02	20.00	20.04	20.09	0.1	20.028
9	20.03	20.04	19.99	20.02	19.94	0.1	20.004
10	20.02	19.98	20.00	19.99	20.02	0.04	20.002

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{N} = \frac{200.068}{10} = 20.0068$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{N} = \frac{0.7}{10} = 0.07$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0.07}{2.326} = 0.03$$

$$\hat{ÜKL} = \bar{\bar{X}} + \bar{R}.A_2$$

$$\hat{ÜKL} = 20.0068 + 0.07.0.577 = 20.047$$

$$\hat{AKL} = \bar{\bar{X}} - \bar{R}.A_2$$

$$\hat{AKL} = 20.0068 - 0.07.0.577 = 19.97$$

$$\hat{PCR} = \frac{\hat{ÜKL} - \hat{AKL}}{6\hat{\sigma}}$$

$$\hat{PCR} = \frac{20.047 - 19.97}{6.003} = 0.43$$

$\hat{PCR} < 1$  olduğundan sürecin yetersiz, kusurlu üretim söz konusudur.

## ÖRNEK 2:

Yapılan bir araştırmada  $\bar{X}$  ve R kartları kullanılmış ÜKL = 74.06 AKL = 73.96  $\hat{\sigma} = 0.000$  olarak bulunmuştur.  $\hat{PCR}$  'yi hesaplırsak;

$$\hat{PCR} = \frac{\text{ÜKL} - \text{AKL}}{6\hat{\sigma}} = \frac{74.06 - 73.96}{6.0.009} = 1.85 \text{ süreç yeterlidir.}$$

$PCR = \frac{\text{ÜKL} - \text{AKL}}{6\hat{\sigma}}$  ifadesini  $P = \frac{1}{PCR} \cdot 100$  şeklinde pratik yoruma sahip yüzdeler olarak kullanabiliriz.

$$P = \frac{1}{PCR} \cdot 100 = \frac{1}{1.85} \cdot 100 = 54$$

Buradan da anlaşılacağı gibi yapılan araştırmadaki örnek; özellik bandının % 54'ünü kullanır.

1.1 ve 1.2 sürecin üst ve alt kontrol limitlerine sahip olduğu kabul edilir.

Tek taraflı özellikler için PCR 'yi

$$PCR_{\bar{u}} = \frac{\text{ÜKL} - \mu}{3\sigma} \text{ (üst özellik)} \quad (2.3)$$

$$PCR_A = \frac{\mu - \text{AKL}}{3\sigma} \text{ (alt özellik)} \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanır. Alt ve üst özelliklerin tahmini içinde;

$$\hat{PCR}_{\bar{u}} = \frac{\text{ÜKL} - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \hat{PCR}_A = \frac{\hat{\mu} - \text{AKL}}{3\hat{\sigma}} \text{ olarak tanımlanır.}$$

Tek taraflı süreç yeterlilik oranlarının kullanımını tanımlamak için; farz edelim ki; alt kontrol limiti 300,  $\bar{x}=364$   $s = 32$  olan bir anakütleden hesaplanılan örneklem sonuçlarıyla:

$$\hat{PCR}_L = \frac{\hat{\mu} - \text{AKL}}{3\sigma} = \frac{364 - 300}{3.32} = 0.67$$

Bu süreçte üretilen kusurlu ürünleri standart normal dağılım altında

$$Z = \frac{(\mu - \text{AKL})}{\sigma}$$

$$Z = \frac{364 - 300}{32} = 2$$

Z = 2'nin solunda kalan alanın bulunmasıyla hesaplanır. Hesaplanan sonuç; yaklaşık % 2.28 kusurlu veya milyonda 22800 standartlara uymayan ürün söz konusudur.

Süreç yeterlilik oranı, özellikleri karşılayan ürün üretmek için bir ölçümdür.

Tablo 2.3'te PCR'nin bazı değerlerine karşılık gelen tek taraflı ve çift taraflı özellik değerleri verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Tek ve Çift Taraflı PCR Değerleri

PCR	Kusurlu ürünler	
	Tek Taraflı Özellikler	Çift Taraflı Özellikler
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	4.84	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	0.3	0.06
2.00	0.0009	0.0018

Bu süreç sonuçları kalite özelliği normal dağıldığı farz edilerek hesaplanan değerler olup, çift yönlü özellikler söz konusu olduğunda üst ve alt özellik limitleri arasındaki ortalama alınır.

Tablo 2.3'den bakıldığında PRC = 1.5 olduğunda tek taraflı özellikler için 4 değeri milyonda 40.000 kusurlu üretim söz konusudur<sup>54</sup>.

<sup>54</sup> Montgomery, a.g.e., s. 371-373.

Özetle PCR'nin küçük değerleri kusurlu üretimin arttığını, PCR'nin büyük değerleri kusurlu üretimin azaldığını gösterir fakat PCR'nin büyük değeri, proses ortalamasının değerleri hakkındaki bilginin yokluğunda kabul edilebilir garantide değildir.

\* Yeni süreç için 1.5

\* Mevcut olan süreç için 1.33

olarak PCR değerleri belirlenmiştir.

Genel olarak kusurlu parçaların beklenen oranı proses yeterlilik oranları ile belirtilir<sup>55</sup>.

### 2.2.2.1. Ortalama Dışı Süreç İçin Süreç Yeterlilik Oranı

PCR, süreç ortalaması ile ilgili bilgiyi gerekli bulmaz. PCR basitçe süreçte 6 sigma yayılımı ile ilişkili özelliklerin değişimini ölçer. İstatistiksel kontrolde sürecin ortalamasının orta noktasına eşit olduğu farz edilir. Bu her zaman mümkün olmayabilir. Kontrol limitlerinin orta noktası yerine bundan daha büyük ya da daha küçük ortalamaya sahip olduğunda PCR<sub>k</sub> oranından yararlanır<sup>56</sup>.

PCR<sub>k</sub> oranı, süreç yeterlilik çalışmasında sürecin nasıl çalıştığını gösterir.

$$PCR_k = \frac{\min.(USL - E(x)), (E(x) - LSL)}{3\sigma} \quad (2.5)$$

$$= \frac{d - |E(x) - 1/2(LSL + USL)|}{3\sigma} \quad (2.6)$$

$$PCR_k = \left\{ 1 - \frac{|E(x) - 1/2(LSL + USL)|}{d} \right\} PCR \quad (2.7)$$

$$PCR = \frac{d}{3\sigma} \text{ olduğu için}$$

<sup>55</sup> Kotz and L. Johnson, a.g.e., s. 43.

<sup>56</sup> Juran, a.g.e., s. 395.



$E(x)$  değeri,  $\frac{1}{2} (AKL + \ddot{U}KL)$  eşitse  $PCR_k \leq PCR$  dir.  $PCR_k$  nin küçük değerleri kusurlu ürün üretimini arttırır.  $E(x)$ , özellik sınıfının dışında ise  $PCR_k$  negatif olacaktır.

$x$  normal dağıldığında kusurlu ürünün beklenen oranı:

$$\Phi\left(\frac{AKL - E(x)}{\sigma}\right) + \left\{1 - \Phi\left(\frac{\ddot{U}KL - E(x)}{\sigma}\right)\right\}$$

$E(x)$  değeri;  $\frac{1}{2} (AKL + \ddot{U}KL) \leq E(x) \leq \ddot{U}KL$  olduğunda

$$PCR_k = \frac{\ddot{U}KL - E(x)}{3\sigma}$$

$$\frac{AKL - E(x)}{3\sigma} = \frac{(\ddot{U}KL - E(x)) - (\ddot{U}KL - AKL)}{3\sigma}$$

$$= PCR_k - 2PCR \leq -PCR_k$$

$$(PCR_k \leq PCR \text{ dir.})$$

kusurlu ürünün beklenen değeri  $PCR_k$  ve  $PCR$  oranlarıyla ifade edilir.

$$\Phi(-3(2PCR - PCR_k)) + \Phi(-3PCR_k)$$

Bundan dolayı kusurlu ürünün beklenen değeri  $2\Phi(-3PCR_k)$  den daha az fakat  $\Phi(-3PCR_k)$  ifadesinden büyüktür.

Durum;  $AKL \leq E(x) \leq \frac{1}{2} (AKL + \ddot{U}KL)$  konu eder<sup>57</sup>.

$$PCR_k = \min(PCR_{\ddot{U}}, PCR_A)$$

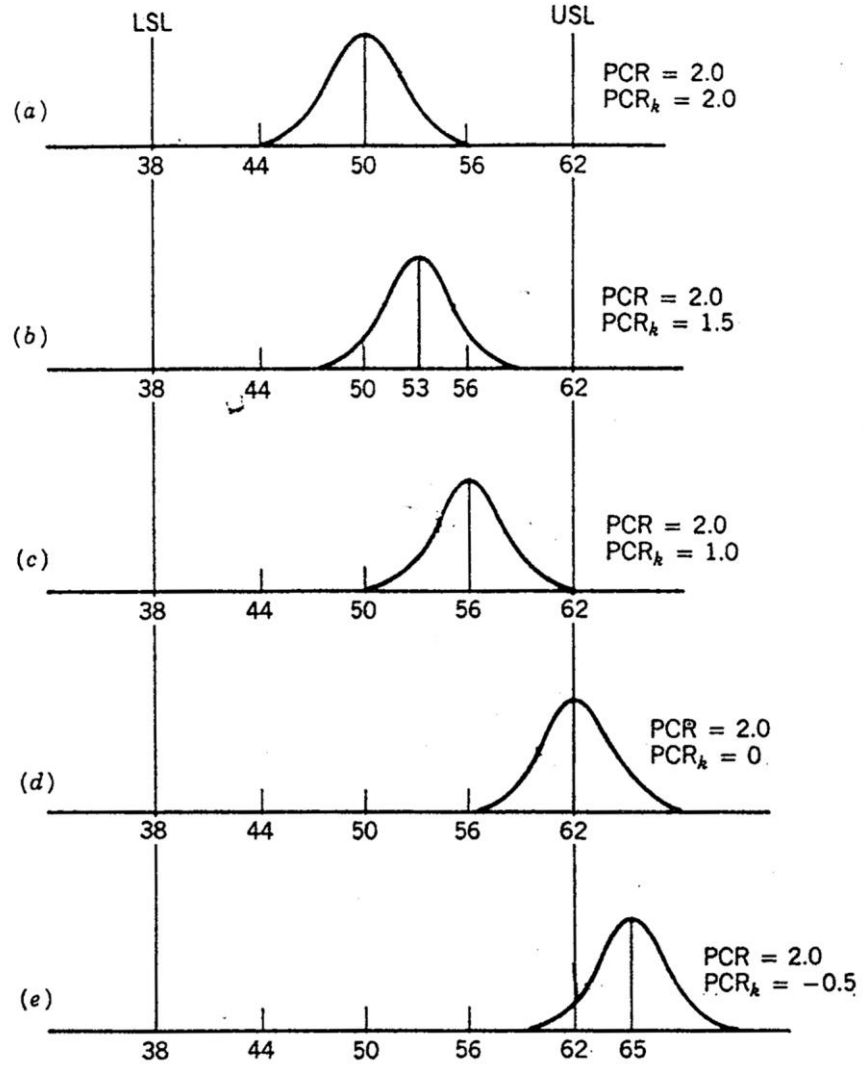
Şimdi  $PCR_k$ 'nin süreç ortalamasına en yakın özellik limiti için ancak ve ancak tek taraflı  $PCR$  olduğu unutulmamalı,

$$PCR_k = \min(PCR_{\ddot{U}}, PCR_A)$$

$$= \min\left(PCR_{\ddot{U}} = \frac{\ddot{U}KL - \mu}{3\sigma}, PCR_A = \frac{\mu - AKL}{3\sigma}\right)$$

<sup>57</sup> Kotz and Johnson, a.g.e., s. 50-55.

Şekil 2.5’de PCR ve  $PCR_k$  arasındaki bağlantılar görülmektedir.



Şekil 2.5. PCR ve  $PCR_k$  arasındaki bağlantılar

Açıkça şekilden de görüldüğü gibi  $PCR = PCR_k$  olduğunda süreç ortalaması kontrol limitlerinin orta noktasıdır.  $PCR_k < -1$  olduğunda sürecin kontrol limitlerinin dışına çıktığı görülür<sup>58</sup>.

Endüstride arz eden firmalar ve organizasyonlar  $PCR_k$ 'yı belgeleme kriteri olarak kullanırlar.

<sup>58</sup> Montgomery, a.g.e., s. 373-374.

Yeterlilik oranları, gerçek ortalamadan ziyade hedef değerle hesaplanabilir. Bu oranlara PCR<sub>km</sub> veya Taguchi oranları da denir. Bu özellikleri karşılayan değişkenliği azaltmaktan ziyade hedef değerden değişkenliği küçültmeyi odaklar.

Görüldüğü gibi süreç yeterlilik çalışmaları iki çeşittir:

1- Süreç potansiyel çalışması. Bu çalışmada hesaplanan, belirlenen koşullar altında sürecin ne yapabileceği gözlenir. İstatistiksel kontrol durumunda süreç için tanımlanan koşullarda kısa dönem altında değişkenlik PCR süreç yeterliliği hesaplanır.

2- Süreç performans çalışması. Bu çalışmada da uzun dönemde sürecin nasıl çalıştığını gösterir. İstatistiksel kontrol durumu tanımlanır. PCR<sub>k</sub> ve diğer oranlar hesaplanır<sup>59</sup>.

#### 2.2.2.2. Süreç Yeterlilik Oranının Güven Aralığını Tahmin Etme

PCR'nin  $\alpha$  düzeyinde güven aralığının hesabı:

$$\frac{\bar{ÜKL} - AKL}{6\sigma} \sqrt{\frac{X^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq PCR \leq \frac{\bar{ÜKL} - AKL}{6\sigma} \sqrt{\frac{X^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}}$$

veya

$$\hat{PCR} \sqrt{\frac{X^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq PCR \leq \hat{PCR} \sqrt{\frac{X^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}}$$

elde edilir.  $X^2_{1-\alpha/2, n-1}$  ve  $X^2_{\alpha/2, n-1(n-1)}$  serbestlik derecesi ile ki kare dağılımının  $\alpha/2$  alt,  $\alpha/2$  üst yüzde noktalarıdır.

Örneğin; örneklem hacmi 20 olan  $\bar{ÜKL} = 52$   $AKL = 28$   $S = 1.60$  olan ürünün % 95 olasılıkla PCR'nin güven aralığını şu şekilde hesaplamak mümkündür.

$$PCR = \frac{\bar{ÜKL} - AKL}{6\sigma} = \frac{52 - 28}{6 \cdot 1.60} = \frac{24}{9.6} = 2.5$$

$$\frac{\bar{ÜKL} - AKL}{6\sigma} \sqrt{\frac{X^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq PCR \leq \frac{\bar{ÜKL} - AKL}{6\sigma} \sqrt{\frac{X^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}}$$

<sup>59</sup> J.M. Juran, *Quality Planning and Analysis*, New York, Mac Graw Hill Inc. 1993, s. 399.

$$2.5 \sqrt{\frac{8.91}{19}} \leq \text{PCR} \leq 2.5 \sqrt{\frac{32.85}{19}}$$

$$1.71 \leq \text{PCR} \leq 3.29$$

$$X^2_{0.975,19} = 8.91$$

$$X^2_{0.025,19} = 32.85$$

### 2.2.2.3. Süreç Yeterlilik Oranı İle İlgili Hipotezleri Test Etme

Endüstride giderek yaygınlaşan süreç yeterlilik oranları ile ilgili hipotez testleri, sürecin yeterli olup olmadığını test etmede kullanılır.

Hipotez şu şekilde formüle edilir:

$$H_0: \text{PCR} < \text{PCR}_0 \text{ (süreç yetersizdir)}$$

$$H_1: \text{PCR} \geq \text{PCR}_0 \text{ (süreç yeterlidir)}$$

Tablo 2.4'te PCR testi için kritik değer ve örneklem hacmi verilmiştir.

**Tablo 2.4.** Örneklem Hacimlerine Göre Kritik Değerlerin Saptanması

Sample size	$\alpha = \beta = 0.10$		$\alpha = \beta = 0.050$	
	$\text{PCR}_h/\text{PCR}_L$	$C/\text{PCR}_L$	$\text{PCR}_h/\text{PCR}_L$	$C/\text{PCR}_L$
10	1.88	1.27	1.27	1.37
20	1.53	1.20	1.73	1.26
30	1.41	1.16	1.55	1.21
40	1.34	1.14	1.46	1.18
50	1.30	1.13	1.40	1.16
60	1.27	1.11	1.36	1.15
70	1.25	1.10	1.33	1.14
80	1.23	1.10	1.30	1.13
90	1.21	1.10	1.28	1.12
100	1.20	1.09	1.26	1.11

$\hat{\text{PCR}}$ , C kritik değerini aşarsa sürecin yeterli olduğu kabul edilip  $H_0$  reddedilir.

$\text{PCR}_h$   $1-\alpha$  olasılığı ile kabul edilen süreç yeterliliği,  $\text{PCR}_L$ 'yi de  $1-\beta$  olasılığı ile reddedilen süreç yeterliliği olarak tanımlamak mümkündür.

Yukarıdaki tablonun kullanımına ilişkin bir örnek şu şekilde verilir.

Firma süreç yeterliliğinin  $PCR = 1.33$ 'ü aştığını göstermek zorunda olsun.  $\alpha = \beta = 0.10$  düzeyinde  $PCR_L = 1.33$   $PCR_h = 1.66$  olduğunda öncelikle  $PCR$ 'nın  $1.33$  aşıp aşmadığı test edilir.

$$H_0 = PCR < 1.33$$

$$H_1 = PCR \geq 1.33$$

$$\alpha = \beta = 0.10$$

$PCR_h/PCR_L = 1.66/1.33 = 1.25$  tablodan bu değerlere karşılık gelen  $C/PCR_L = 1.10$ 'dur. Buradan  $C$  değerini çekmek gerekir.

$$C = 1.10 \cdot PCR_L$$

$$C = 1.10 \cdot 1.33 = 1.46$$

$\hat{PCR}$ ,  $C = 1.46$  değerini aşmak zorunda olup  $n = 70$  örnekleme  $\hat{PCR}$  hesaplanır  $\hat{PCR} > C$  ise  $H_0$  reddedilir aksi durumda  $H_0$  reddedilemez<sup>60</sup>.

Kaliteli ürün üretmek ve bu konudaki sloganlar motive edicidir ancak, süreç ihtiyaçları karşılamaya yeterli değilse kaynak israfı olacaktır. Örneğin; mekanik bir süreç yeterli değilse, operatörlerin tüm çabalarına rağmen ortaya kaliteli ürün çıkmayacaktır. Aynı şekilde operatörler makine için yeterli değilse aynı sonuç oluşacaktır. Yetersiz süreçler kaynakları israf eder<sup>61</sup>.  $PCR_k = 1$  olan A ve B sürecinde ortalama değerlerin farklı olduğu görülsün. A sürecinde  $PCR_k = PCR = 1$  olduğu B sürecinde  $PCR = 2$   $PCR_k = 1$  olduğu görülür. AKL den ÜKL'ne olan aralıkta  $\mu$ 'nün herhangi bir değeri  $PCR_k$ ,  $\sigma$  ile ters ilişkilidir.  $\sigma$  sıfıra yaklaştıkça büyür. Bu karakteristik  $PCR_k$ 'yı merkezleştirme ölçüsü olarak uygun hale getiremez. Yani  $PCR_k$ 'nın yüksek değeri AKL'den ÜKL'ne olan aralıkta ortalama bölge hakkında herhangi bir şey söylemez. Bu zorluğu ortadan kaldırmanın yolu; yeni bir orana ihtiyaç vardır. Bu da şu şekilde ifade edilir:

<sup>60</sup> Montgomery, a.g.e., s. 376-377.

<sup>61</sup> Fred A. Spiring, "The Chmindex", *Quality Progres*, February 1991, s. 57, 58, 59, 60.

$$PCR_{km} = \frac{\dot{ÜKL} - AKL}{6\sigma'}$$

T: Hedef değer olmak üzere

$$\sigma' = \sqrt{E(X - T)^2}$$

$\sigma'$  bilinmediğinde,  $\hat{PCR}_{km}$  'nin tahmini ise:

$$\hat{PCR}_{km} = \frac{\dot{ÜKL} - AKL}{6\hat{\sigma}'}$$

$$\hat{\sigma}' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}}$$

$\sigma'^2 = E(X - \mu)^2 + (\mu - T)^2$  ve  $\sigma^2 = E(X - \mu)^2$  olduğundan

$$PCR_{km} = \frac{\dot{ÜKL} - AKL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{PCR}{\sqrt{1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2}}} \text{ dir.}$$

Süreç ortalaması hedef değerden uzaklaştıkça  $PCR_{km}$  azalır.  $PCR_{km}$  ile  $PCR_k$  benzer tepki vermesine karşı PCR sabit kalır.

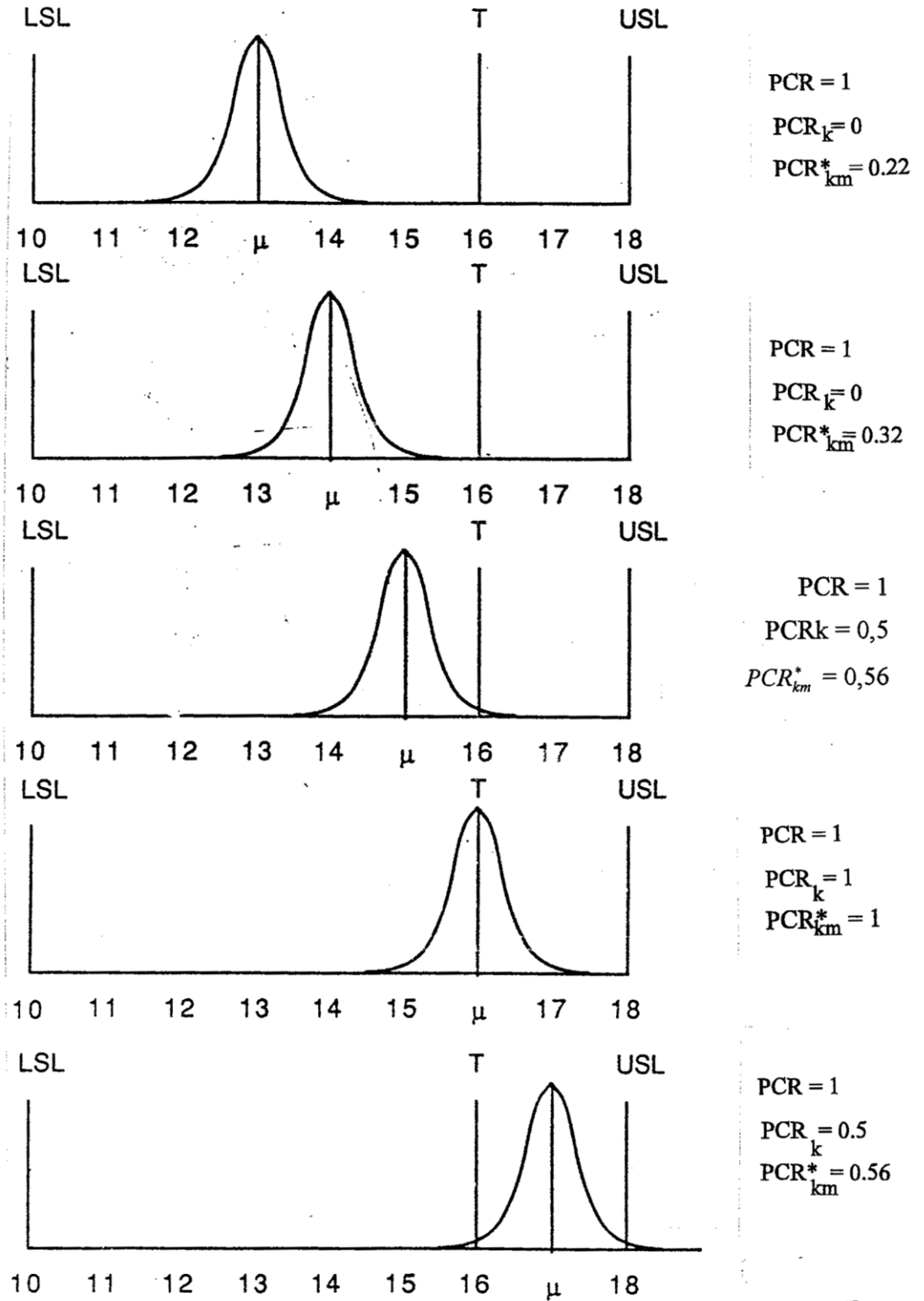
$PCR_{km}$  T'nin belirlenen limitlerin orta noktası olmadığı durumlar için;

$(\dot{ÜKL} - T) \neq (T - AKL)$  genelleştirilebilir.

$$PCR_{km}^* = \frac{\min(\dot{ÜKL} - T, T - AKL)}{3\sigma'}$$

$PCR_{km}^*$  hem hedefe yakınlığı hem de limitlere göre simetrik olmamayı da göz önüne alacaktır.

Şekil 2.6  $\mu$ 'nun T değerinden farklı olduğu durumlarda  $PCR_{km}^*$  'nin nasıl değiştiğini görebilmek mümkündür.



Şekil 2.6. PCR= 1 iken PCR<sub>k</sub> ve PCR\*<sub>km</sub> arasındaki bağıntı

Şekil 2.6'dan da görüldüğü gibi  $PCR = 1$  sabitken  $PCR_k$  ile  $PCR_{km}^*$  benzer tepki verir. Sürecin ortalaması hedef değere eşit olduğunda bu üç oran birbirine eşittir. Süreç ortalaması hedef değerden uzaklaştıkça  $PCR_k$  ve  $PCR_{km}^*$  sıfıra yaklaşır<sup>62</sup>.

### 2.2.3. SÜREÇ YETERLİLİKTE OLASILIK GRAFİKLERİNİN KULLANIMI

Olasılık grafikleri dağılımın yayılımı, ortalaması ve biçimine karar vermek üzere kullanılan histograma bir alternatiftir.

Sıfır aralığındaki değişkenin oranı sınıflandırmak için zorunlu olmayan avantajlar sağlar ve az çok küçük örneklem için uygun sonuçlar meydana getirir<sup>63</sup>.

Olasılık grafiği, özel bir kağıt üzerinde seçilen dikey ölçekle birlikte örneklem kümülatif frekansı ile karşılaştırılan derecelendirilmiş, fark edilen tipin kümülatif dağılımının düz bir çizgi olacak şekilde verilerin bir grafiğidir.

Normal dağılım verileri, normal olasılık dokümanı üzerinde grafik edilirse o zaman noktalar tam olarak düz çizgi boyunca düşer.

$n$  örneklem büyüklüğüne sahip  $j$  düzeyli gözlemin  $P_j$  grafikleme pozisyonu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_j = \frac{j-1/2}{n}$$

$n = 20$  örneklemden  $x_j$  değerleri alınıp  $P_j$  değerleri Tablo 2.5'de hesaplanmıştır.

<sup>62</sup> J.M. Juran, *Quality Planning and Analysis*, New York, Mc Graw Hill Inc., 1993, s. 403.

<sup>63</sup> Montgomery, a.g.e., ss. 381-385.



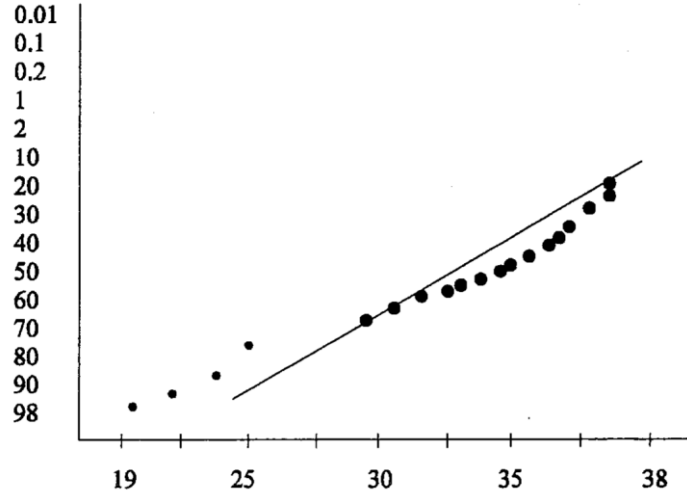
**Tablo 2.5.** n = 20 Gözleme Sahip P<sub>j</sub> Değerleri

x <sub>i</sub>	Olasılık Pozisyonu (P <sub>j</sub> )
19	0.025
20	0.075
21	0.125
22	0.175
25	0.225
26	0.275
26	0.325
27	0.375
28	0.425
28	0.475
29	0.525
30	0.575
31	0.625
32	0.675
32	0.725
33	0.775
34	0.825
35	0.875
36	0.925
38	0.975

$$P_1 = \frac{1-1/2}{20} = 0.025$$

$$P_2 = \frac{2-1/2}{20} = 0.075$$

şeklinde hesaplanır. Bu değerlerin olasılık grafiği Şekil 2.5'te görülmektedir.



Şekil 2.7. Tablo 2.5'teki değerlerin olasılık grafiği

Olasılık grafikleri istatistiksel güvenilirlik testlerini desteklemek üzere arzu edilir. Bu verilerek uyacak dağılımı seçme, olasılık grafiklerinde önemli bir basamaktır. Kimi zaman dağılım için; fiziksel gerçek bilgi veya geçmiş deneyim kullanılır.

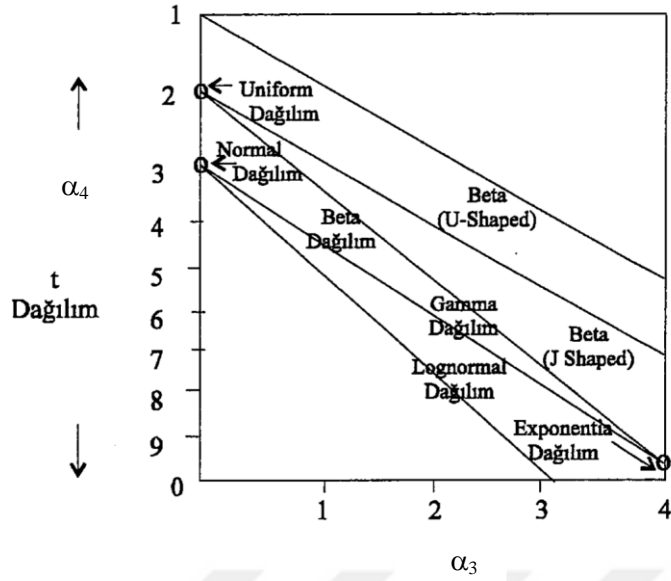
Eğer dağılımın normalin dışında dağıldığı anlaşılırsa  $\alpha_3$  ve  $\alpha_4$  asimetri ve basıklık ölçümlerini kullanmak mümkündür.

$$\alpha_3 = \frac{\mu_3}{\mu_2^3} = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$$

$$\alpha_4 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$$

Şekil 2.8'de  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  ölçümlerine göre dağılımlar belirlenmiştir.

Şekilde  $\alpha_3 = 0$   $\alpha_4 = 3$  olduğunda sürecin normal dağıldığı  $\alpha_3 = 0$   $\alpha_4 = 2$  olduğunda sürecin uniform dağıldığı,  $\alpha_3$  ve  $\alpha_4$  değerlerinin birleşim noktası hangi dağılıma uygun olduğunu şekilden kolayca görmek mümkündür.



Şekil 2.8.

#### 2.2.4. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZLERİNDE KONTROL GRAFİKLERİNİN KULLANIMI

Histogramlar ve olasılık grafikleri süreç performansını özetler. Bunlar sonuç itibariyle süreç yeterlilik potansiyelini ortaya koymaz. Bunlar istatistik kontrol konusuna yönelik değildirler. Elimine edildiği takdirde kalite özelliğindeki değişkenliği azaltacak olan çıktı sürecindeki sistematik kalıpları göstermez. Bu açıdan kontrol grafikleri son derece etkindir.

Kontrol grafikleri süreç yeterlilik analizinin en başta gelen tekniği olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Hem göstergeler hem de değişken kontrol grafikleri süreç yeterlilik analizinde kullanılabilir.  $\bar{X}$  ve R grafiklerini her zaman kullanmak mümkündür.  $\bar{X}$  ve R grafikleri ani değişkenliğin yanısıra uzun vadeli süreç yeterliliğini de analiz eder.  $\bar{X}$  ve R grafikleri özellikleri göz önünde bulundurmaksızın süreç çalışmamızı mümkün kılar. Süreç yeterlilik çalışmasında toplanan veriler iki veya üç farklı zaman dilimlerinde toplanırsa daha yararlı olur.

**Tablo 2.6.** Beşerli Örneklemeden Alınan Ölçümler

ÖRNEK SIRA NO	ÖLÇÜMLER					$\bar{X}$	R
1	11	10	12	11	11	11	2
2	10	11	10	12	12	12	2
3	13	12	14	11	10	12	4
4	11	10	13	12	14	12	4
5	10	9	11	13	12	11	4
6	10	11	9	13	12	11	4
7	13	12	14	12	14	13	2
8	13	13	11	13	10	12	3
9	11	10	8	12	9	10	3
10	10	13	12	11	14	12	4
11	11	10	12	12	10	11	2
12	10	12	12	13	13	12	3
13	10	12	13	12	13	12	3
14	11	10	12	11	11	11	2
15	12	13	11	13	11	12	2
16	13	13	13	13	13	13	0
17	11	12	12	13	12	12	2
18	10	10	10	10	10	10	0
19	12	11	13	13	14	13	3
20	10	10	12	13	10	11	3

Tablo 2.6'daki verilerden yararlanıp değişkenlere göre;  $\bar{X}$  ve R grafiklerini şu şekilde hesaplamak mümkündür.

$\bar{X}$  Grafiği için:

$$\bar{X} = \frac{\Sigma \bar{X}}{N} = \frac{233}{20} = 11.65 \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{2.6}{2.326} = 1.117$$

$$\bar{R} = \frac{52}{20} = 2.6$$

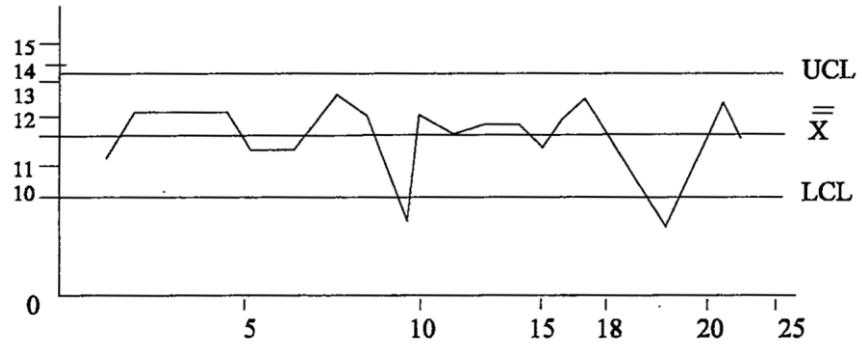
$$\text{ÜKL} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 11.65 + 0.577 \cdot 2.6 = 13.1502$$

$$\text{AKL} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 11.65 - 0.577 \cdot 2.6 = 10.1498$$

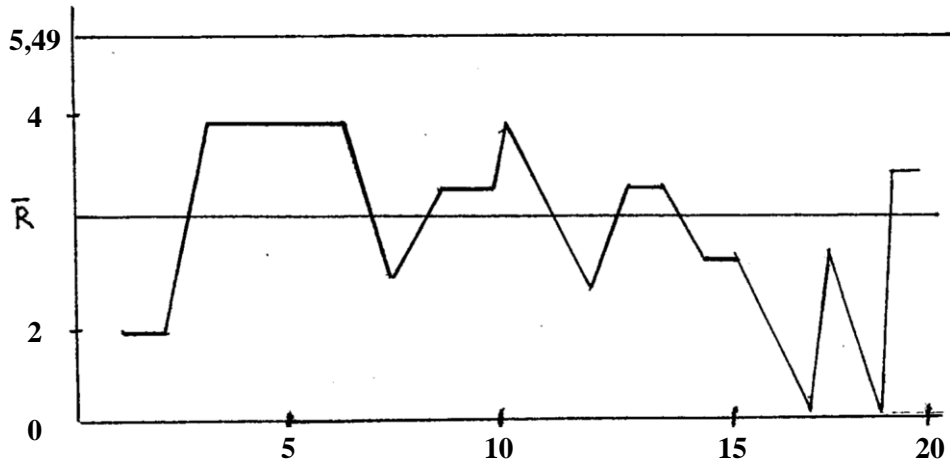
R Grafiği için:

$$\text{ÜKL} = D_4 \bar{R} = 2.115 \cdot 2.6 = 5.499$$

$$\text{AKL} = D_3 \bar{R} = 0 \cdot 2.6 = 0$$



Şekil 2.9.  $\bar{X}$  Grafiği



Şekil 2.10. R Grafiği

Şekil 2.9'daki  $\bar{X}$  grafiğinde ölçümlerin alt kontrol ve üst kontrol limitleri arasında yer aldığı sürecin yeterli olduğu Şekil 2.10'daki R grafiğinden de ölçümlerin alt ve üst kontrol limitleri arasında yer aldığı ve makinadan kaynaklanan değişkenliğin söz konusu olmadığını söylemek mümkündür.

#### 2.2.5. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİNDE DENEY TASARIMININ KULLANIMI

Deney tasarımı ürün üzerindeki, süreç değişkenlerinin etkilerini analiz etmeye ve süreçteki kontrol edilebilir değişkenliklerin girdisinin çeşitliliği için sistematik bir yaklaşımdır.

Deney tasarımı hangi süreç değişkenliklerinin çıktı üzerinde etken olduğunun ve bu değişkenliğin süreç performansını optimize etmek için hangi düzeylerde elde bulundurulacağına ortaya çıkarılmasında yararlıdır.

Böylece deney tasarımı, sadece süreç yeterliliği hesaplama yapmak yerine genel üretim ve geliştirme sorunlarında yararlı olur.

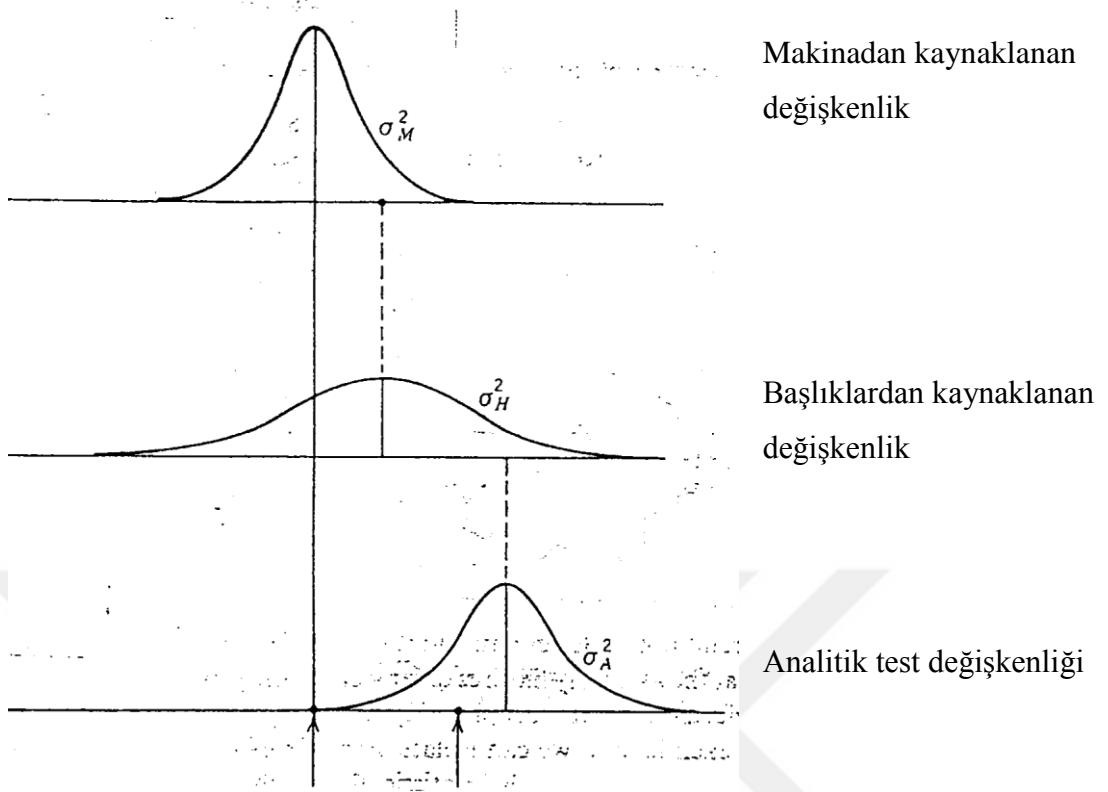
Deney tasarımının temel kullanımlarından birisi, bir süreçteki değişkenliğin kaynaklarının tespiti ve hesaplamasıdır.

Örneğin, şişelere meyve suyu dolduran bir makinayı düşünecek olursak; her makine bağımsız bir şekilde ayarlanması gereken çok sayıda doldurma başlığına sahip olup, kalite özelliği ölçüsü tamamlanmış ürünün sıvı miktarıdır.

Makine değişkenliği ( $\sigma_m^2$ ), başlık değişkenliği ( $\sigma_h^2$ ) ve analitik test değişkenliği ( $\sigma_A^2$ )dan dolayı gözlemlenen değişkenlik şu şekilde var olabilir.

$$\sigma^2 = \sigma_m^2 + \sigma_h^2 + \sigma_A^2$$

Birkaç makinadan ve her bir makinadaki birkaç başlıktan örneklem içerecek ve her bir şişe üzerinde bir takım analizler yaparak, bu varyansların ( $\sigma_m^2, \sigma_h^2, \sigma_A^2$ ) hesaplanmasını mümkün kılan bir deney düzenlenebilir. Sonuçların Şekil 2.11'deki gibi olduğu gözlemlendiğinde:



**Şekil 2.11.** Değişkenliğin kısımlara ayrılmış hali

Şekil 2.11'den anlaşıldığı gibi, gözlemlenen toplam değişkenliğin büyük bir parçası başlıklar arasındaki değişkenliktir. Bu sürecin belki de başlıklarının teker teker çeşitliliğini azaltmakla en iyi biçimde geliştirilebileceğini gösterir.

Bu makineyi daha dikkatli kurmakla veya kullanımını daha dikkatli kontrol etmekle yapılabilir<sup>64</sup>.

Varyans analizi: Bölümlerin toplam değişkenliğini kısımlara ayırmaya ve her kısmın farklılığını belli bir kaynağa bağlamaya yarayan bir tekniktir. Varyanslar arasında kıyaslama yaparak F testine göre karar vermeyi sağlayan bu teknik oranlara da uygulanabilmektedir. Varyans analizine uygun en basit model, gözlem sonuçlarının bir değişkenin sıklarına göre gruplandırıldığı ve bu gruplarla ilgili ana kütle ortalamalarının birbirine eşitliğinin test edildiği modeldir. Tablo 2.7'de varyans çözümleme tablosu gösterilmiştir.

<sup>64</sup> Montgomery, a.g.e., s. 388-389.

**Tablo 2.7.** Varyans Çözümleme Tablosu

Değişkenliğin Kaynağı	Sapmaların Kareleri Toplamı	Serbestlik Derecesi	Varyans Tahmini
Gruplararası	$T_b$	$V_1 = k - 1$	$S_b^2 = T_b / V_1$
Gruplar içi	$T_w$	$V_2 = n - k$	$S_w^2 = T_w / V_2$
Toplam	$T_t$	$V = n - 1$	$S^2 = T_t / V$

Her gözde n tane gözlem bulunan ve iki etkeni olan çok etkenli bir deney için genel model denklemi<sup>65</sup>;

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{k(ij)}$$

A ve B iki etkeni göstermektedir.  $i = 1, 2, \dots, a$ , A etkeninin  $j = 1 \dots b$ , B etkeninin düzeyleri ve  $k = 1, 2, \dots, n$  her gözdeki gözlemleri göstermektedir.

Her gözde n tekrarı, iki etkeni olan çok etkenli denemeler için genel varyans çözümlemesi Tablo 2.8'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.8.** İki Etkenli Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi (Sd)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Etken $A_i$	a-1	$\sum_{i=1}^a \frac{T_i^2}{n_b} - \frac{T^2}{n_{ab}} = A$	A / a-1
Etken $B_j$	b-1	$\sum_{j=1}^b \frac{T_j^2}{n_a} - \frac{T^2}{n_{ab}} = B$	B / (b-1)
Etkileşim AxB	(a-1) (b-1)	$\sum_i^a \sum_j^b \frac{T_{ij}^2}{n} - \sum_i^a \frac{T_i^2}{n_b} = C$	C / (a-1) . (b-1)
Hata $E_{k(ij)}$	ab (n-1)	$\sum \sum \sum_{ijk}^2 - \frac{T^2}{n_{ab}} = D$	D / ab (n-1)

Çok etkenli deneme konusunun biraz daha açığa kavuşması için üç etkenli bir örnek ele alındığında;

<sup>65</sup> Sarper Özer, *Uygulamalı İstatistik 2*, İstanbul: Filiz Yayınevi, 1993, ss. 162-166-167.



Seramik gereçlerle metal kesimi için harcanan kuvvet üzerine seramik gereç türünün, kesim açısının ve kesme türünün etkisinin araştırıldığı bir deney tamamen rastgele veri düzeni kurulduğunda,

Kesim Türü C	Gereç Türü (T)			
	1		2	
	Kesim Açısı B		Kesim Açısı B	
	1°	2°	1°	2°
1	:	:	:	:
2	:	:	:	:

Örneğin düzeni iki marka otomobilin hızının motoru, aküsü, lastiklerinden kaynaklanan değişkenlik şeklinde düzeltilecek.

Şeklinde 32 tane veri düzeni oluşturulur.

Deney düzeni için matematiksel model:

$$Y_{ijkm} = \mu + T_i + B_j + TB_{ij} + C_k + TC_{ik} + BC_{jk} + TBC_{ijk} + \epsilon_{m(ijk)}$$

$Y_{ijkm}$  ölçülen değişkeni,  $\mu$  her gözlemdeki ortak etkiyi  $T_i$ ,  $i = 1, 2$  için gereç türü etkisini;  $B_j$ ,  $j = 1, 2$  için kesim açısını ve  $C_k$  da,  $k = 1, 2$  için kesim türünü göstermektedir.  $\epsilon_{m(ijk)}$  deneydeki rastgele hatayı göstermekte ve  $m = 1, 2, 3, 4$ 'dür.

Diğer terimler, T, B ve C ana etkenler arasındaki etkileşimlerin yerine kullanılmıştır.

Aşağıdaki tabloda deneyin sonuçları verilmiştir.

Kaynak	Serbestlik Derecesi (Sd)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Gereç Türü (T)	1	2,70	2,70
Kesim Açısı (B)	1	20,30	20,30
T/B Etkileşimi	1	0,2	0,2
Kesim Türü (C)	1	31,00	31,00
TXC Etkileşimi	1	0,01	0,01
BXC Etkileşimi	1	0,85	0,85
TXBXC Etkileşimi	1	0,18	0,18
Hata E	24	53,44	2.23
Genel	31	108,68	

Kullanılacak test istatistiği 1-24 serbestlik derecesi ile F istatistiğidir.

$H_0$  : Kesim açısı, güç tüketiminde etkili değildir.

$H_1$  : Kesim açısı, güç tüketiminde etkilidir.

---

$\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $F_{0.05,1,24} = 4.26$  dir.

$$F = \frac{20.30}{2.23} = 9.10 \quad F = \frac{31}{2.23} = 13.90$$

$9.10 > 4.26$  olduğundan hipotezlerin her ikisinde

$13.90 > 4.26$  red edildiği açıkça görülür.

Gereç türü çok küçük bir etkiye sahiptir; etkileşimlerin tamamı ihmal edilebilir.

Görüldüğü gibi varyans analizi hangi değişkenlerin çıktı üzerinde etkili olduğunu bize gösterir<sup>66</sup>.

Özetleyecek olursak; “Deney Tasarımı”, süreç değişkenliğini azaltmaya yönelik planlı deneylerin düzenlenmesi; “İstatistiksel Deney Planlama” ise bunun minimum çaba ve maliyetle gerçekleştirilmesidir.

Ürün ve süreç tasarım aşamalarını da kısaca özetlersek; ürün tasarım konusu olup ürün geliştirme, parametrelerinin değerlerinin belirlenmesi, imalat maliyetlerini düşürme çalışmalarını içerir, süreç tasarımı ise, o günkü teknolojiye bağlı imalat, kontrol edilebilen üretim süreç parametreleri için uygun düzeyin belirlenmesidir. Ürünün fonksiyonel özelliklerinde farklılık yaratan kontrol edilmeyen bir faktör de gürültü faktörüdür. Bu da dış, iç, birimler arası gürültü şeklinde alt gruplara ayrılır. Dış gürültü çevre koşullarındaki farklılıktan, iç gürültü, yıpranmadan, birimler arası gürültü, aynı özelliklere göre imal edilmiş olmasına rağmen birimden birime görünen farklılıktan olabilir.

Gürültü faktörlerine karşı şu önlemler alınır:

Ürün tasarımı aşamasında:

Dış ve iç faktörler pozitif birimler arasında pozitif değer aldığında deney tasarımı ile kalite sağlanır.

---

<sup>66</sup> Charles R. Hicks, *Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler*, İzmir, 1994, s. 6, 7, 84, 85.

Süreç tasarımı aşamasında:

Dış ve iç faktörler negatif, birimler arası pozitif değer aldığında yine deney tasarımı ile kalite sağlanır.

İmalat aşamasında:

Dış ve iç faktörler negatif, birimler arası pozitif değer aldığında da muayene ile kalite sağlar<sup>67</sup>.

### 2.3. ÖLÇÜ FARKLARININ ANALİZİ

Belirli bir iş parçasının farklı üniteleri üzerinde aynı ölçme aleti ile yapılan ölçmelerde farklı değerler elde edilir. Bu farkların kaynağı ölçme hataları ve imalat işlemleridir. Ölçme hatalarından gelen farklı gerçekte iş parçası üzerinde mevcut değildir. Halbuki imalat işlemlerinden doğan ölçü farkları fiziksel olarak mevcuttur. Dolayısı ile düzeltici önlemlerin alınmasında ölçü farkının nereden geldiğini bilmek veya en azından tahmin etmek önem taşır<sup>68</sup>.

Matematiksel olarak ifade edersek:

$$\sigma_{\text{toplam}}^2 = \sigma_{\text{ürün}}^2 + \sigma_{\text{hata}}^2$$

$\sigma_{\text{ürün}}^2$  Üründen kaynaklanan değişkenliğin varyansını,

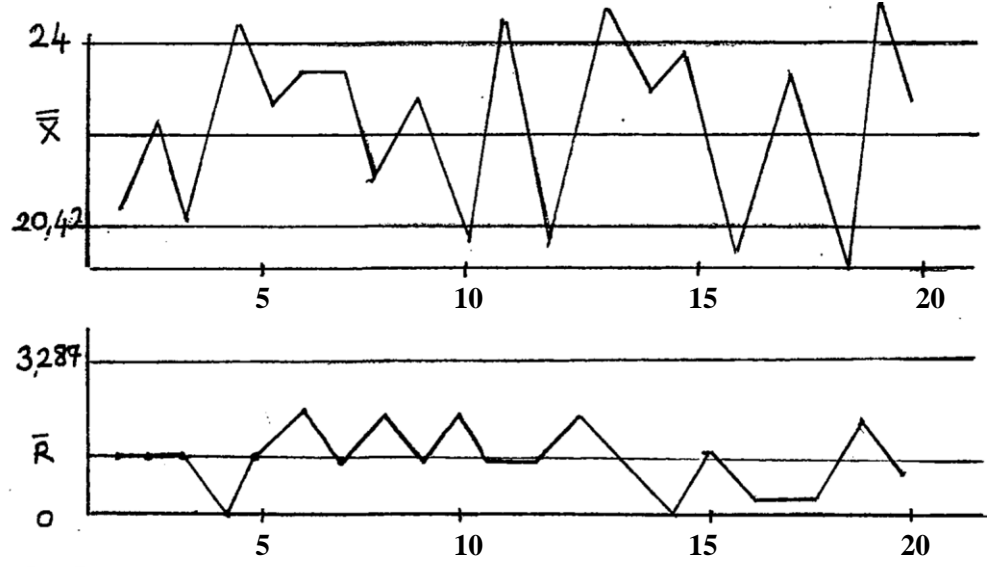
$\sigma_{\text{hata}}^2$  Ölçüm hatalarından dolayı kaynaklanan değişkenliğin varyansını gösterir.

$\bar{X}$  ve R grafikleri kullanarak, ölçüm hatasının standart sapmasının tahmini bulunur.

$\bar{X}$  grafiği, ürün birimleri arasındaki farkı ayırt etmek üzere, aletin gücünü gösterirken; R grafiği ölçüm hatasının büyüklüğünü veya ölçüm yeterliliğini gösterir.

<sup>67</sup> Arçelik, Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı ve Toguchi Yöntemi Seminer Notları, Çayırova, 1991, s. 107.

<sup>68</sup> Kobu, a.g.e., s. 245.



Şekil 2.12.  $\bar{X}$  ve R Grafiği

Ölçüm hatasının standart sapmasının tahmini  $\hat{\sigma}_{\text{hata}}$  aşağıdaki gibi tahmin edilebilir.

$$\hat{\sigma}_{\text{hata}} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Ölçüm hatasının dağılımı normal olduğu bilindiğine göre Şekil 2.12'deki verileri kullanarak;

$$\hat{\sigma}_{\text{hata}} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{1.0}{1.128} = 0.887$$

$$n = 2 \text{ iken } d_2 = 1.128$$

$$6 \hat{\sigma}_{\text{hata}} = 6.0887 = 5.32$$

hesaplanır. Bireysel ölçümler ölçüm hatasına sebebiyetle  $\pm 3 \hat{\sigma}_{\text{hata}}$  kadar değişebilir.

$6 \hat{\sigma}_{\text{hata}}$ , toplam tolerans bandında oranlandığı takdirde,

$$\text{ÜKL} = 60$$

AKL = 10 olduğunda

$$\frac{6\hat{\sigma}_{\text{hata}}}{\text{ÜKL} - \text{AKL}} = \frac{6.0.887}{60 - 10} = 0.10$$

Ölçümlerin % 10'u ölçü yeterliliğine uygundur. Şekil 2.12'den de ölçümlerin kontrol limitleri dışına çıktığı sürecin yetersiz olduğu görülmektedir<sup>69</sup>.

### 2.3.1. ÖLÇÜM HATASININ UNSURLARI

Ölçüm hatası iki nedenden meydana gelir. Farklı operatör kullanmadan (reproducibility), ölçünün yanlışlığından yani makinadan kaynaklanan (repeatability) hatadır.

Bunu şu şekilde formüle etmek mümkündür.

$$\sigma_{\text{Ölçüm hatası}}^2 = \sigma_{\text{hata}}^2 = \sigma_{\text{reproducibility}}^2 + \sigma_{\text{repeatability}}^2$$

Ölçüm hatasının iki nedenini ölçmek için üç operatöre ait ölçümlere ihtiyaç vardır.

Aşağıdaki Tablo kullanılarak ölçüm hatalarının hesaplanması mümkündür.

Örnek No	Operatör 1 Ölçümler				Operatör 2				Operatör 3			
	1	2	$\bar{X}$	R	1	2	$\bar{X}$	R	1	2	$\bar{X}$	R
1	21	20	20,5	1	19	21	20	2	20	20	20	1
2	24	23	23,5	1	23	24	23,5	1	23	23	23	0
3	20	21	20,5	1	20	22	21	2	19	20	19,5	1
4	27	27	27,0	0	27	28	27,5	1	28	28	28	0
5	19	18	18,5	1	28	21	19,5	3	18	19	18,5	1
6	23	21	22,0	2	23	22	22,5	1	22	23	22,5	1
7	22	21	21,5	1	22	20	21	2	21	21	21	0
8	19	17	18,0	2	19	18	18,5	1	19	19	19	0
9	24	23	23,5	1	24	24	24	0	24	24	24	0
10	25	23	24,0	2	24	25	24,5	1	24	25	24,5	1
11	21	20	20,5	1	21	20	20,5	1	21	20	20,5	1
12	18	19	18,5	1	18	19	18,5	1	17	19	18	2
13	23	25	24,0	2	25	25	25	0	25	27	26	2
14	24	24	24,0	0	24	25	24,5	1	24	25	24,5	1
15	29	30	29,5	1	31	30	30,5	1	30	30	30	0
16	26	26	26	0	25	27	26	2	25	26	25,5	1
17	20	20	20	0	20	20	20	0	20	20	20	0
18	19	21	20	2	21	23	22	2	21	22	21,5	1
19	25	26	25,5	1	25	25	25	0	24	26	25	2
20	19	19	19	0	19	17	18	2	19	19	19	0

<sup>69</sup> Montgomery, a.g.e., s. 389-393.

$$\bar{\bar{X}}_1 = 22.30 \quad \bar{\bar{X}}_2 = 22.60 \quad \bar{\bar{X}}_3 = 22.50$$

$$\bar{R}_1 = 1.00 \quad \bar{R}_2 = 1.20 \quad \bar{R}_3 = 0.75$$

$$\hat{\sigma}_{\text{repeatability}} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2}$$

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{3} (\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3)$$

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{3} (1 + 1.2 + 0.75) = 0.98$$

$$\hat{\sigma}_{\text{repeatability}} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} = \frac{0.98}{1.128} = 0.87$$

n = 2 olduğu için  $d_2 = 1.128$

$$\bar{\bar{X}}_{\max} = \max (\bar{\bar{X}}_1, \bar{\bar{X}}_2, \bar{\bar{X}}_3)$$

$$\bar{\bar{X}}_{\min} = \min (\bar{\bar{X}}_1, \bar{\bar{X}}_2, \bar{\bar{X}}_3)$$

$$R\bar{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}_{\max} - \bar{\bar{X}}_{\min}$$

$$\hat{\sigma}_{\text{reproducibility}} = \frac{R\bar{\bar{X}}}{d_2}$$

$$\bar{\bar{X}}_{\max} = 22.60$$

$$\bar{\bar{X}}_{\min} = 22.30$$

$$R\bar{\bar{X}} = 0.3$$

$$\hat{\sigma}_{\text{reproducibility}} = \frac{R\bar{\bar{X}}}{d_2} = \frac{0.3}{1.693} = 0.17$$

$$\hat{\sigma}_{\text{hata}} = \hat{\sigma}_{\text{reproducibility}}^2 + \hat{\sigma}_{\text{repeatability}}^2$$

$$= (0.17)^2 + (0.87)^2$$

$$= 0.0289 + 0.7569$$

$$\hat{\sigma}_{\text{hata}}^2 = 0.7858$$

$$\hat{\sigma}_{\text{hata}} = 0.88$$

$6 \hat{\sigma}_{\text{hata}}$  toplam tolerans bandına oranlandığı taktirde;

$$\frac{6 \hat{\sigma}_{\text{hata}}}{\text{ÜKL} - \text{AKL}} = \frac{6 \cdot 0.88}{60 - 10} = 0.11$$

$$\frac{6 \hat{\sigma}_{\text{hata}}}{\text{ÜKL} - \text{AKL}} = 0.10 \text{ bulunmuştur. Ölçüm hatalarını hesaba kattığımızda } 0.11$$

oldu. Halbuki  $\leq 0.10$  olmalıydı.

Operatörler eğitim görerek  $\sigma_{\text{reproducibility}}$  azaltabilir.  $\sigma_{\text{repeatability}}$  yüksek çıktığında, başka muayene aletleriyle ölçümlerini gerçekleştirebilirler.

## 2.4. FARKLI PARÇALARA SPESİFİKASYON LİMİTLERİNİ YERLEŞTİRME

Ürün düzenlemek üzere, diğer birimlerle etkilenen birimleri veya farklı bölümlerde spesifikasyonları yerleştirmek üzere proses yeterlilik çalışmasından faydalanılır.

Bu özellikle karmaşık parçaları birleştirmede önemlidir.

### 2.4.1. LİNEER KOMBİNASYONLAR

Parça ölçümleri, bölümlerin ölçümlerinin lineer kombinasyonudur. Eğer bölümlerin ölçümleri:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  olduğunda lineer kombinasyon aşağıdaki gibi yapılır.

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_n x_n$$

$x_i$ 'ler bağımsız olmak üzere  $\mu_i$  ortalama ve  $\sigma_i^2$  varyans ile normal olarak

dağıldığında o zaman  $y$ ,  $\mu_y = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \mu_i$  ve  $\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot \sigma_i^2$  varyans ile normal dağılır.

$\mu_i, \sigma_i^2$  her birim için biliniyorsa, birleştirilen kısımların parçası özelliklerin dışına düşüp düşmediği tayin edilebilir<sup>70</sup>.

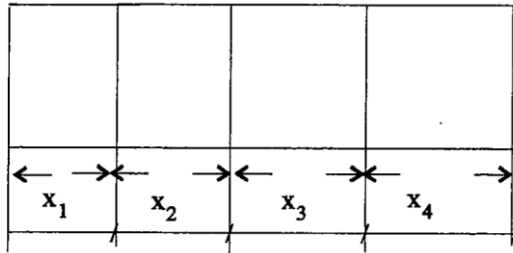
Birleştirilen parçaların nominal ölçü ve toleransı için,

$$Y \pm T = (x_1 \pm t_1) + (x_2 \pm t_2) + \dots + (x_n \pm t_n)$$

yazılabilir. Parçaların her biri kendi tolerans limitleri içinde kaldığı takdirde montajın nominal ölçüsü  $Y$  kümülatif  $\pm T$  tolerans limitleri içinde kalır. Dolayısı ile kusurlu montaj veya ıskarta söz konusu değildir. Eğer montajın küçük bir olasılıkla kümülatif  $Y \pm T$  limitleri dışına çıkması kabul edilebilirse parça toleranslarında önemli ölçüde genişletme yapılabilir.

İşletme maliyetlerinde büyük avantaj sağlayabilecek böyle bir olanaktan yararlanmak gerekir. Kusurlu montaj olasılığını istenilen değerde tutmak ve kontrol edebilmek için tolerans hesaplarında bazı istatistik yöntemleri uygulanır. Aşağıdaki problemde bu yöntemlerin uygulanması gösterilmiştir.

Bir montaj nominal ölçüleri  $x_1, x_2, x_3, x_4$  olan dört parçanın dizilmesinden oluşmuştur.  $Y = 30.000 \pm 0.08$  limitleri arasında değişmesi öngörölmüş parçaların nominal ölçüleri  $x_1 = 5,60$  mm,  $x_2 = 7,25$  mm,  $x_3 = 8,50$  mm,  $x_4 = 8.65$  mm olup montajın nominal ölçüsü



Şekil 2.13. Dört parçadan oluşan bir montaj

$$Y = 5.6 + 7.25 + 8.50 + 8.65 = 30.00 \text{ m}$$

Tüm parçalara eşit tolerans verildiği varsayılırsa her biri için  $\pm 0.08 / 4 = \pm 0.02$  mm tolerans aralığı elde edilir. Her parçanın nominal ölçüsü tolerans limitleri içinde kalırsa montajın kümülatif  $30 \pm 0.08$  limitleri dışına taşması mümkün değildir. 0.03

<sup>70</sup> Montgomery, a.g.e., s. 396.



olasılık ile tolerans limitlerinin dışına çıkması kabul edildiği takdirde parça toleranslarında yapılabilecek genişletme şöyle hesaplanır.

Parçalar nominal dağılım göstergesinde  $\bar{y} = 30.000$  mm etrafında  $\sigma_y$  standart sapması ile normal dağılır.

Kabul edilen 0,03 olasılığa göre,

$$30.08 - 29.92 = 0.16 \text{ mm}$$

Tolerans aralığında kalan alanın  $3\sigma_y$   $\sigma_y$  veya  $6\sigma_y$  değerine eşit olduğunu normal dağılım tablosuna bakarak görmek mümkündür.

$$6\sigma_y = 0.16$$

$$\sigma_y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 = 4\sigma_x^2$$

$$\left(\frac{0.16}{6}\right)^2 = 4\sigma_x^2$$

$$\sigma_x = 0.0133$$

Her parçanın tolerans aralığı aynı olasılık değeri için  $6\sigma_x$  değerine eşit olduğundan

$$6\sigma_x = 6 \cdot 0.0133 = 0.08$$

$$= \pm 0.04 \text{ mm}$$

montaj için 0.003'lük olasılıkla kusurlu oranı kabul edilebildiği takdirde parçaların her birini iki kat geniş tolerans aralığında işlemek mümkündür.

Örnekte 0.03 rassal verilmiştir. Uygulamada analiz sonucu hesaplanır. Bunun için iki maliyet unsuru arasında uygun bir denge noktası aranır:

- 1- Hatalı ürünler nedeni ile artan muayene, tamir ve garanti masrafları,
- 2- Genişleyen toleranslarla işleme maliyetlerinde sağlanan azalmalar

Olasılık arttıkça parça toleranslarında daha fazla genişletme ve dolayısı ile daha düşük işleme maliyeti sağlanır.

Olasılık için  $4\sigma_x$  aralığına tekabül eden 0.0456 değeri alınırsa

$$4\sigma_y = 0.16 \text{ dan}$$

$$\sigma_y = 0.04$$

$$\sigma_y^2 = 4\sigma_x^2$$

$$(0.04)^2 = 4\sigma_x^2$$

$$\sigma_x = 0.02$$

$$6\sigma_x = 6.(0.02) = 0.12 \pm 0.06$$

toleransı bulunur. Olasılık 0.03'ten 0.0456'ya yükseltildiğinde güven sınırları  $6\sigma_y$ 'den  $4\sigma_y$ 'ye indirildiğinde parça toleranslarında % 50 oranında bir genişleme meydana gelmektedir.

Montajı oluşturan parça sayısı da tolerans genişletme miktarını etkiler. Birleştirilen parça sayısı arttıkça olasılık için daha geniş parça toleransı elde edilir.

#### 2.4.2. LİNEER OLMAYAN KOMBİNASYONLAR

$$y = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$x_i$  bölgesinin lineer fonksiyonu ile lineer olmayan fonksiyonu  $g$ 'ye yakın olmak zorundadır.

$\mu_1 \dots \mu_n$  nominal değerleri,  $x_1 \dots x_n$  birimleri ile ilişki kurulursa eşitliğin sağ tarafı genişletilerek;  $R$  en büyük sıralanan terimi göstermek üzere,

$$y = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$g(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) + \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_i) \cdot \left. \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{\mu_1 \dots \mu_n} + R$$

Yüksek sıralanan terimleri ihmal edilerek;

$$\mu_y \cong g(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

$$\sigma_y^2 \cong \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_i^2$$

$\mu_1 \dots \mu_n$

elde edilir<sup>71</sup>.

## 2.5. SÜRECİN DOĞAL TOLERANS LİMİTLERİNİ HESAPLAMA

Tolerans limitlerini hesaplamadan önce güven aralığını tanımlamak gerekir. Güven aralığı, sınırları örneklemden tahmin edilen bir değer aralığını ifade eder. Tahminin isabet derecesini belirleyen “güven aralığı” kavramı söz konusu sınırların belirlenmesinde işe yarar.

Aralık tahmininde % 95 güvenle yapılmış olması, anakütleden çekilecek her biri n hacimli çok sayıdaki örneklemden hesaplanan yirmi istatistikten ondokuzunun güven sınırları içinde kalacağını, birinin ise bu sınırların dışında olacağı anlamını taşır.

Aralık tahmininde güven aralığının dar tutulması arzu edilir. Bu olasılık düzeyine ve örneklem hacmine bağlıdır<sup>72</sup>.

Dağılımın altında yatan kalite özellikleri ve dağılıma ait parametreler bilindiğinde o zaman tolerans limitleri tahmin edilebilir.

$\alpha = 0.05$  düzeyinde tolerans limitleri;

$$\mu \mp Z_{\alpha/2} \cdot \sigma$$

$$\mu \mp 1.96 \cdot \sigma$$

olarak ifade edilir.

Örneklem verilerinden parametreler tahmin edilir. n gözlemden oluşan rassal örneklemden örneklem ortalaması ( $\bar{X}$ ) varyansı ( $S^2$ ) hesaplanabilir. Doğal tolerans limitlerini tahmin

<sup>71</sup> Montgomery, a.g.e., s. 397-403.

<sup>72</sup> Serper, a.g.e., s. 32.

$$\bar{X} \mp Z_{\alpha/2} \cdot S_{\bar{x}}$$

olarak ifade edilir.

Z ifadesi yerine t konulduğunda anakütle ortalaması için

$$\bar{X} \mp t \cdot S_{\bar{x}}$$

simetrik güven aralığına ulaşır. Belli bir olasılık düzeyinde t'ye göre hesaplanan simetrik güven aralığı Z'ye göre hesaplanandan daha geniş olur.

n < 30 durumunda “ortalamanın standart hatasının tahmini” şu şekilde hesaplanır.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

S: Örneklem standart sapmasını

n: Örneklem hacmini

göstermektedir.

Güven aralığı belirlenirken yararlanılan t değeri, belli bir olasılık düzeyine ve “n-1” serbestlik derecesine bağlı olarak t değeri tablosundan çift taraflı test başlığı altında bulunmaktadır.

n > 30 olduğunda Z tablosundan bulunur<sup>73</sup>.

---

<sup>73</sup> Serper, a.g.e., s. 94-95.

### 3. BÖLÜM

## UYGULAMA

Çalışmamızın temel amacı istatistiksel kalite kontrol yöntemleri ve süreç yeterlilik analizi hakkında ayrıntılı açıklamalar getirerek, firmaların bundan nasıl yararlanacağını uygulamalı bir örnekle göstermektir.

Uygulama için Oyak-Renault fabrikasından motor bloğundaki gömlek dayanak derinliğinin dört derinlik ölçümü silindirin dört noktası dikkate alınarak kontrolü ve yeterliliği araştırılmıştır.

Süreç kontrolü  $\bar{X}$  ve R kontrol grafikleri ile gerçekleştirilmiş olup süreç yeterliliğinde, yeterlilikte kullanılan tüm teknikler kullanılarak sürecin durumu hakkında yorum getirilmiştir.

Ek 1’de motor bloğundaki gömlek dayanak derinliğinin şekli verilmiştir. Ek 2’de Renault’tan alınan gömlek dayanak derinliğinin ölçüm değerleri verilmiştir. Burada;

Var 1 değişkeni, gömlek dayanak derinliğinin ölçüm değerlerini,

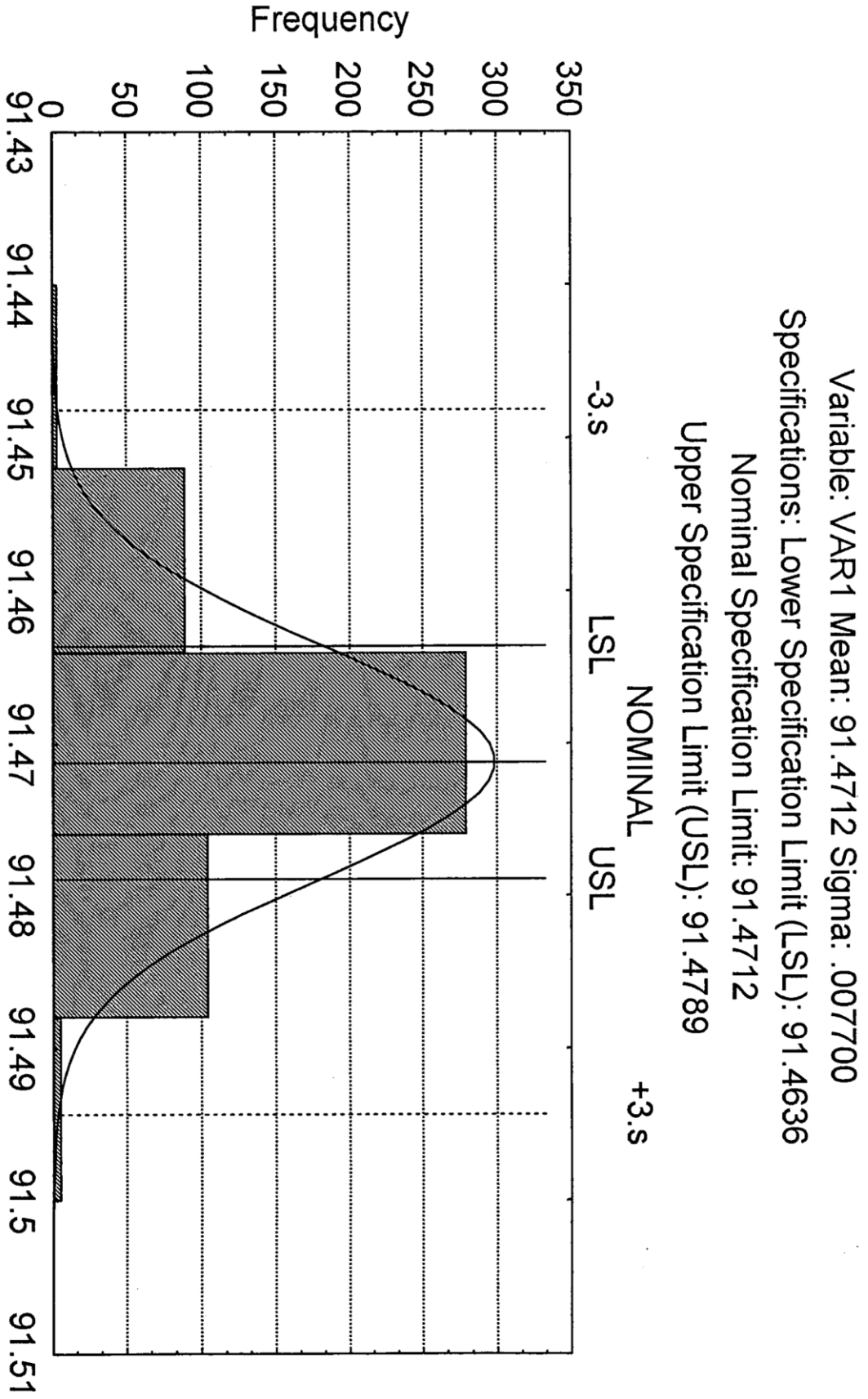
Var 2 değişkeni, bu ölçümlerin dört derinlik ölçüsünü,

Var 3 değişkeni ölçümlerin hangi operatöre ait olduğunu,

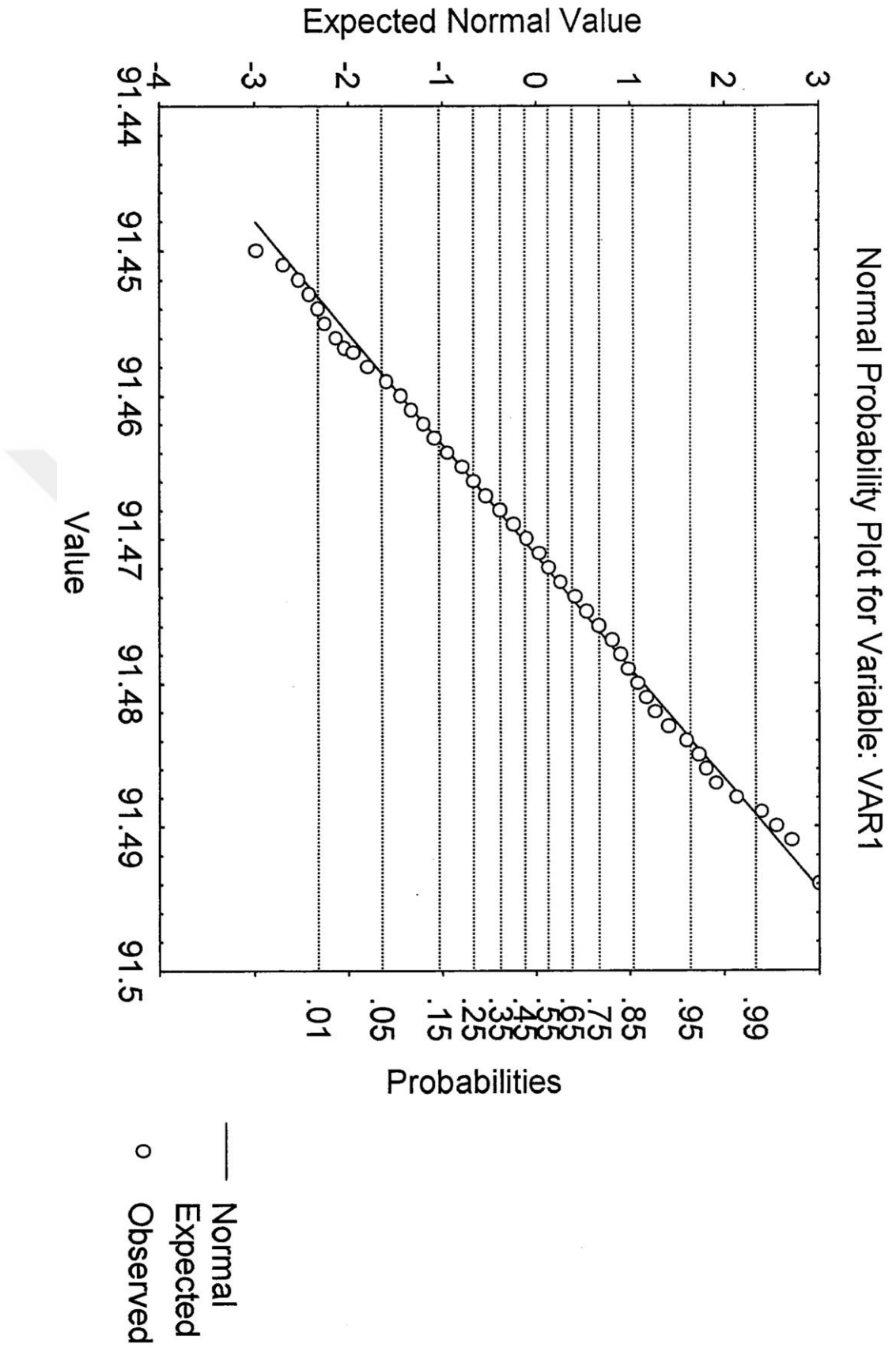
Var 4 değişkeni de gözlemlenen her otuz birimi ifade eder.

Toplam 480 adet ölçüm değeri gözlemlenmiştir.

Şekil 3.1’de Var 1 değerlerinin histogramı gösterilmiştir. Ölçümlerin ortalaması 91.4712 sigması 0.007700 üst kontrol limiti 91.478; alt kontrol limiti 91.4636 olarak hesaplanmış olup ortalama üst ve alt kontrol limitleri arasındadır. Histogramdan dağılımın normal dağıldığı söylenebilir. Şekil 3.2’de Var 1 değerlerinin olasılık grafiği gösterilmiştir. Olasılık grafiğinde apsiste ölçüm değerleri ordinatta ise derecelendirilmiş olasılıklar yer almaktadır. Normal dağılım verileri olasılık grafiğinde düz çizgi boyunca düşer. Şekil 3.2’deki verilerde düz çizgi boyunca düştüğünden dağılımın normal olduğu söylenir.



Şekil 3.1. Var 1 Değerlerinin Histogramı



Şekil 3.2. Var 1 Değerlerinin Olasılık Grafiği

Tablo 3.1’de ortalama, medyan, 1. Kartil, 3. Kartil, minimum ve maksimum değerler, standart sapma, varyans,  $\alpha_3$  ve  $\alpha_4$  değerleri verilmiştir. Tablo 3.2’de normallik testi yapılmış olup, gözlenen frekanslar, beklenen frekanslar, kümülatif gözlemler, gözlenen ve beklenenlerin yüzdeleri sütun halinde verilmiş olup dağılımın normal olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 3.1.** Bazı İstatistiksel Değerler

STAT. PROCESS ANALYSIS	Descriptive Statistics (berna.sta) Variable: VAR1 N = 480	
Statistic	Value	
Mean	91.4712368750001	
Median	91.4710000000000	
25th Percentile (Q25)	91.4660000000000	
75th Percentile (Q75)	91.4760000000000	
Minimum Value	91.4500000000000	
Maximum Value	91.4940000000000	
Standard Deviation	.0076839389082	
Variance	.0000590429171	
Skewness	.1409110174277	
Kurtosis	-.2009335961119	

**Tablo 3.2.** Normallik Testi

STAT. PROCESS ANALYSIS	Test of Normality; Var.: VAR1 Mean=91.4712 Sigma=.007700 K-S d=.04936, p<.20 ; Lilliefors p<.01 Chi-Square: 4.1837 df = 1 p = .04082									
Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed- expected	Chi-Sqr (if N>4)
91.440	0	0	0.00000	0.0000	.0122	.0122	.00254	.0025	-.0122	
91.452	3	3	.62500	.6250	3.0274	3.0396	.63070	.6332	-.0274	
91.464	89	92	18.54167	19.1667	80.8589	83.8985	16.84560	17.4789	8.1411	.7823094
91.476	279	371	58.12500	77.2917	268.1208	352.0193	55.85850	73.3373	10.8792	.4414325
91.488	104	475	21.66667	98.9583	120.9583	472.9775	25.19964	98.5370	-16.9583	2.377537
+infinity	5	480	1.04167	100.0000	7.0225	480.0000	1.46301	100.0000	-2.0225	.5824665

Tablo 3.3’de yeterlilik oranları verilmiş olup;  $C_p$ :  $PCR_k$ ’yı  $C_R$ :  $PCR$  yi,  $C_{pm}$ :  $PCR_{km}$  oranlarını ifade eder.

$PCR_{km}$ ,  $PCR_k$  birlikte değiştiğinden bu değerlerin her ikisi de 0.33259 değerine sahip olup hedef değerden ortalamanın uzaklaştığını ifade eder.  $PCR > 1$  olduğundan sürecin yeterli olduğu kusurlu ürünlerin söz konusu olmadığı düşünülür.



**Tablo 3.3. Yeterlilik Oranları**

STAT. PROCESS ANALYSIS	Variable: VAR1 (berna.sta) -3.000 * Sigma = 91.4481 +3.000 * Sigma = 91.4943
Capability Index	Value
Lower Specification Limit	91.46355
Nominal Specification	91.47124
Upper Specification Limit	91.47892
PCRL	.33259
PCR	3.00672
CPK	.33098
ZL	-.99294
ZU	1.00260
K	-.00480
PCR <sub>km</sub>	.33328

Tablo 3.4’de normal tolerans limitleri ve güven aralığı verilmiştir. Üst kontrol limiti 91.4789 alt kontrol limiti 91.4636 ortalama değer 91.4712 olarak hesaplanmıştır.  $\alpha = 0.05$  anlam düzeyine göre alt aralık limiti 91.4552 üst aralık limiti 91.4872 olarak hesaplanmış olup üst kontrol ve alt kontrol limiti, üst ve alt aralık limitleri arasına düşer. Tablo 3.5’de herhangi bir dağılım için Tablo 3.4’deki değerler hesaplanmıştır.

**Tablo 3.4. Normal Tolerans Limitleri ve Güven Aralığı**

STAT. PROCESS ANALYSIS	Normal Tolerance Limits
	Value
Number of Cases	480
Mean	91.4712
Sigma	.007700
Lower Specification Limit	91.4636
Nominal Specification	91.4712
Upper Specification Limit	91.4789
Confidence Level	95.0000%
% of Population Included	95.0000%
Lower Interval Limit	91.4552
Upper Interval Limit	91.4872

**Tablo 3.5.** Herhangi Bir Dağılım İçin Tolerans Limitleri ve Güven Aralığı

STAT. PROCESS ANALYSIS	Distribution-Free (berna.sta) Tolerance Limits
	Value
Number of Cases	480
Mean	91.4712
Sigma	.007700
Lower Specification Limit	91.4636
Nominal Specification	91.4712
Upper Specification Limit	91.4789
Confidence Level	100.000%
% of Population Included	95.0000%
Lower Interval Limit	91.4500
Upper Interval Limit	91.4940

Tablo 3.6'da varyans analizi yapılmıştır. Varyans analiz tablosunda değişikliğın kaynağı, kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması yer alır.

Değişkenliğin kaynağı Var 3, Var 4, Var 2 ve birlikte etkileşimlerine dayandırılır. Kusurlu üretimde değişkenliğin kaynağı olan Var 3 değerlerinin kusurlu üretimde etkili olup olmadığı F testi istatistiğiyle belirlenir.

$H_0$  : Var 3, kusurlu üretimde etkili değildir.

$H_1$  : Var 3, kusurlu üretimde etkilidir.

Tablodan kareler ortalaması sütununda hesaplanmış değerler çok küçük olduğundan hesaplama yapmadan değişkenliğin operatörlerden (Var 3) kaynaklanmadığı söylenir. Aynı şekilde diğer değişkenler (Var 4, Var 2, Var 4 x Var 2) için F testi istatistiği yapılır.

Kareler ortalaması sütunundaki değerlerin çok küçük olduğundan diğerlerinin de hemen hemen etkisinin olmadığı sonucuna varılır.

data file: BERNA.STA [ 480 cases with 10 variables ]

GAGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY ANALYSIS

VARIABLES:

1: VAR1 -9999  
 3: VAR3 -9999  
 4: VAR4 -9999  
 2: VAR2 -9999

Variable with measurements: VAR1

Mean: 91.4712  
 Standard deviation: .007684  
 Number of cases: 480

Number of operators: 4 (variable: VAR3)

Codes: 1 2 3 4

Number of parts: 30 (variable: VAR4)

Codes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18  
 19 20 21 22 23 24 25 26 27  
 28 29 30

Number of trials: 30 (variable: VAR2)

Codes: 1 2 3 4

STAT. PROCESS ANALYSIS	Source of Variance	Analysis of Variance (berna.sta) Variable: VAR1				
		Sums of Square	Percent of Total	df	Mean Square	
	Operators (variable: VAR3)	.012432	43.9571	3	.004144	
	Parts (variable: VAR4)	.002701	9.5509	29	.000093	
	Trials (variable: VAR2)	.001131	3.9974	3	.000377	
	Operators by Parts	.002557	9.0410	87	.000029	
	Operators by Trials	.006892	24.3684	9	.000766	
	Parts by Trials	.000861	3.0441	87	.000010	

**Tablo 3.6.** Varyans Analizi

STAT. PROCESS ANALYSIS	Analysis of Variance (berna.sta) Variable: VAR1			
	Sums of Square	Percent of Total	df	Mean Square
Source of Variance				
Operators by Parts by Trials	.001709	6.0410	261	.000007
Total	.028282	100.0000	479	.000059

Şekil 3.3’de dört operatöre ait ölçümlerin medyan, 1-kartil, 3. Kartil ve minimum maksimum değerleri gösterilmiştir. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi ikinci operatöre ait değerler diğer operatörlere göre biraz daha yüksektir. Birinci, üçüncü ve dördüncü operatörlere ait değerler birbirine çok daha yakındır.

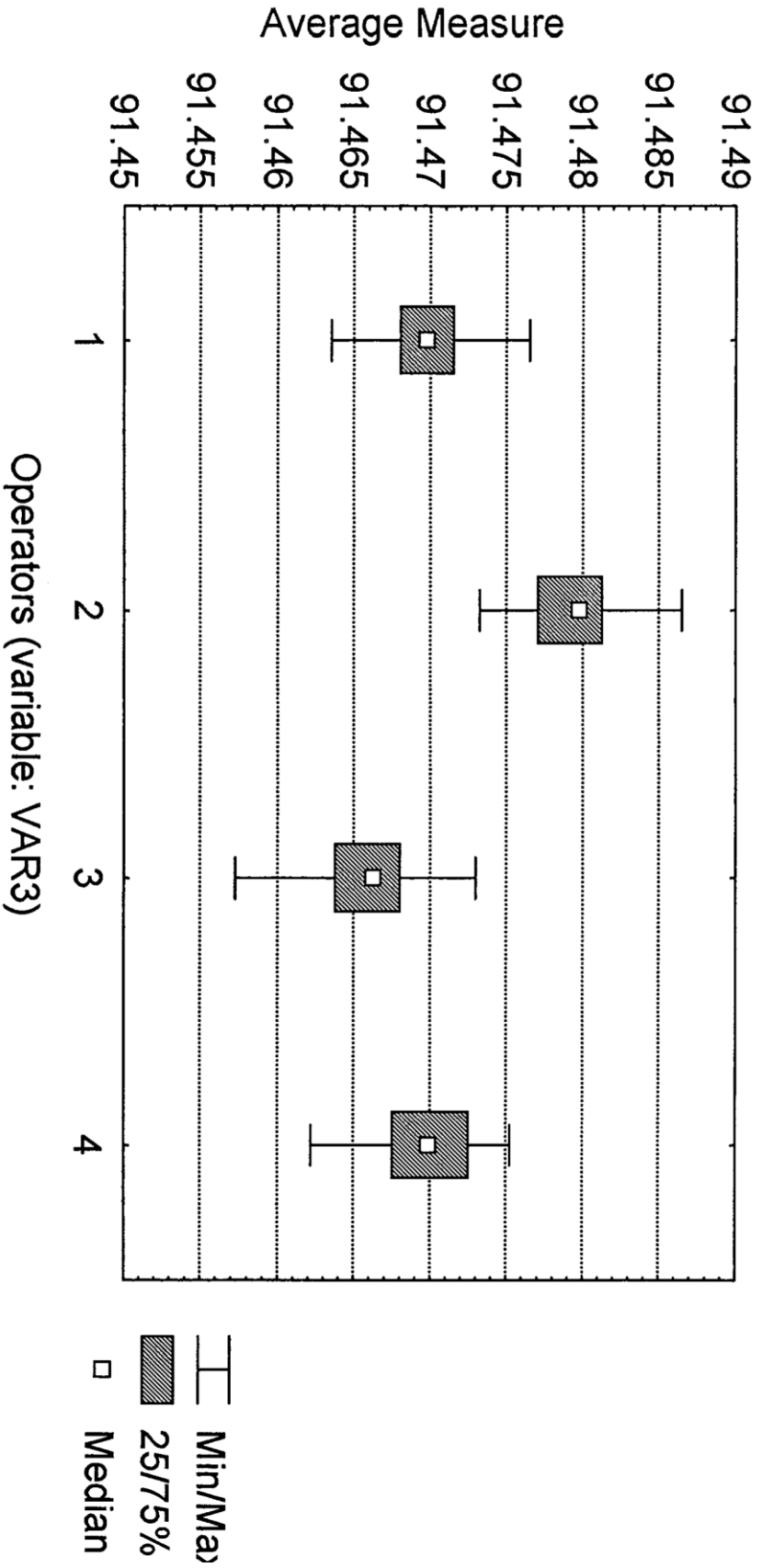
Şekil 3.4’de dört operatöre ait otuz birimlik ortalama ölçümleri çizilmiş ve ikinci operatörün ölçümlerinin biraz daha yüksek olduğu görülür.

### Box-and-Whisker Plot of Average Gage Measurements

No. of Operators: 4 (variable: VAR3)

No. of Parts: 30 (variable: VAR4)

No. of Trials: 4 (variable: VAR2)



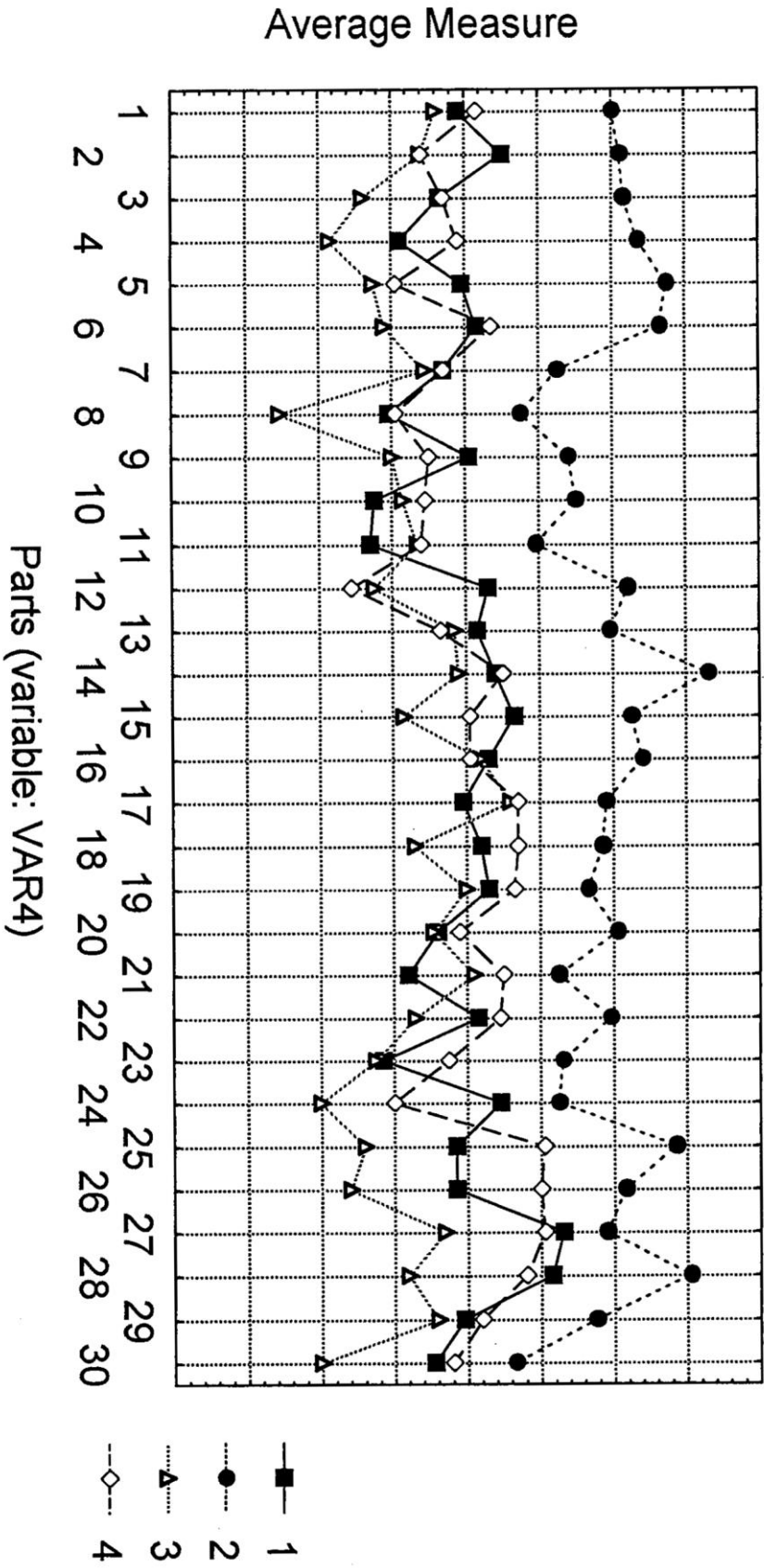
Şekil 3.3. Ölçümlerin Box Whisker Grafiği

Plot of Average Measurements by Operator and Part

No. of Operators: 4 (variable: VAR3)

No. of Parts: 30 (variable: VAR4)

No. of Trials: 4 (variable: VAR2)



Şekil 3.4. Dört operatöre ait ortalama ölçümlerinin grafiği

Şekil 3.5 dört operatöre ait ölçümlerin aralık grafiğini verir. Dört operatörün ölçümleri kontrol limitleri içinde yer alır. İkinci operatörün bir tek ölçümü kontrol limitleri dışına çıkmıştır. Bu da sürecin kontrol da olmadığına işaret değildir.

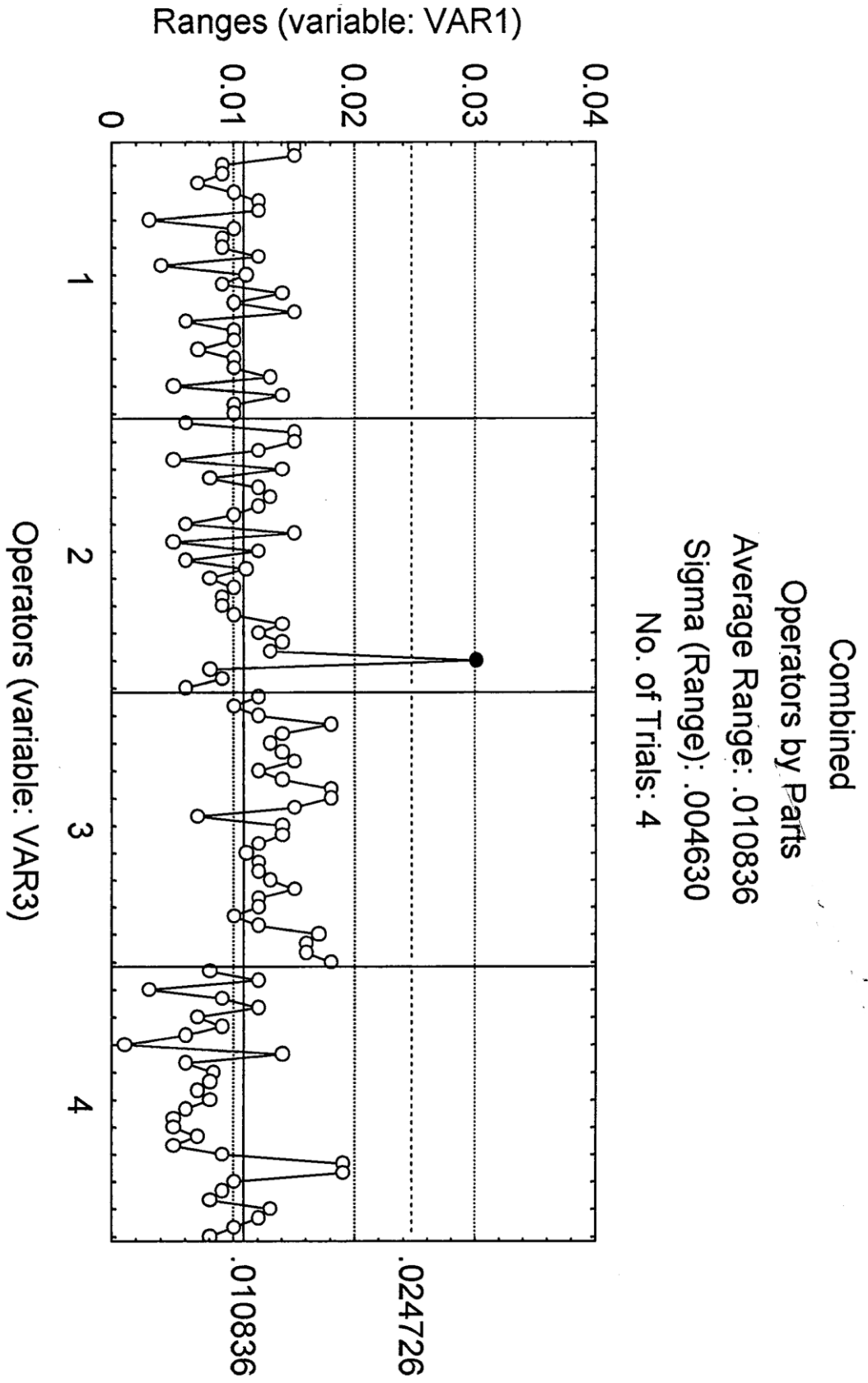
Şekil 3.6 dört operatöre ait dört derinlik ölçümünün ortalamadan sapmasının grafiğini verir. İkinci operatöre ait ölçümler ortalamadan biraz daha fazla sapma gösterirken diğer operatörlerin ölçümü ortalamadan daha az ve hemen hemen aynı sapma gösterir. Şekil 3.7  $\bar{X}$  kontrol grafiğini gösterir.  $\bar{X} = 91.4712$  ÜKL= 91.476, AKL= 91.4657 olup ölçümler bu limitler içinde yer alır. Sürecin kontrol da olduğu gözlemlenir.

Şekil 3.8 R kontrol grafiğini gösterir. R = 0.026200 ÜKL= 0.042868, AKL = 0.009532'dir. Ölçümler bu limitler arasında değişir. Sürecin kontrol da olduğu gözlemlenir.

Şekil 3.9, S kontrol grafiğini gösterir. Burada da S değeri ÜKL, AKL değerleri yer alır ve sürecin kontrol da olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 3.10'da Plan eğrisi (Çalışma karakteristiği eğrisi) görülmekte ve N = 16'lık eğri en uygun eğridir. Bu eğrinin giderek dikleşmesi arzu edilen bir durumdur.

N = 16 birimlik örneklem ile örneklem planı hazırlanmıştır.



Şekil 3.5. Dört operatöre ait ölçümlerin aralık grafiği

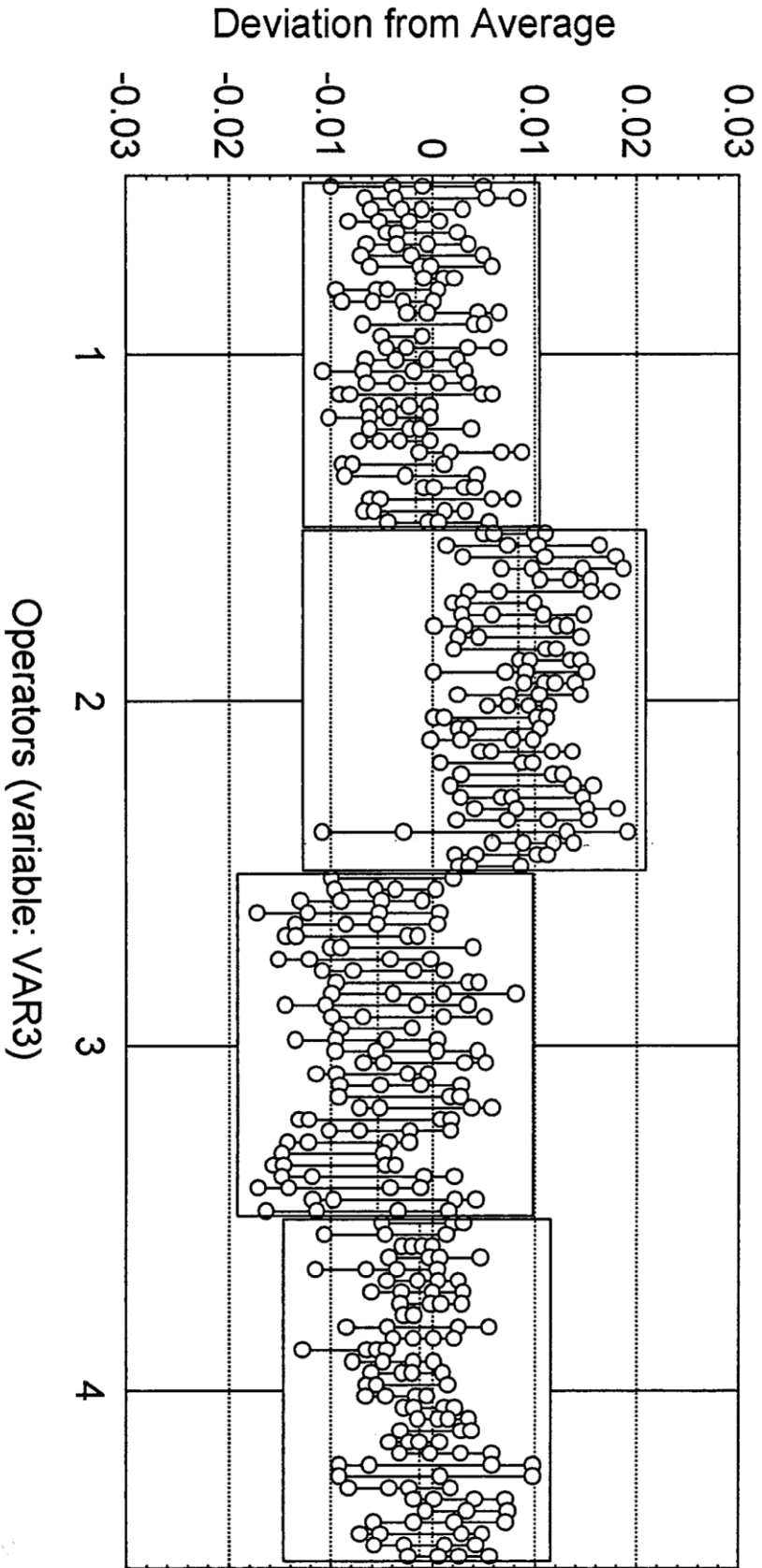


### Repeatability & Reproducibility Summary Plot

No. of Operators: 4 (variable: VAR3)

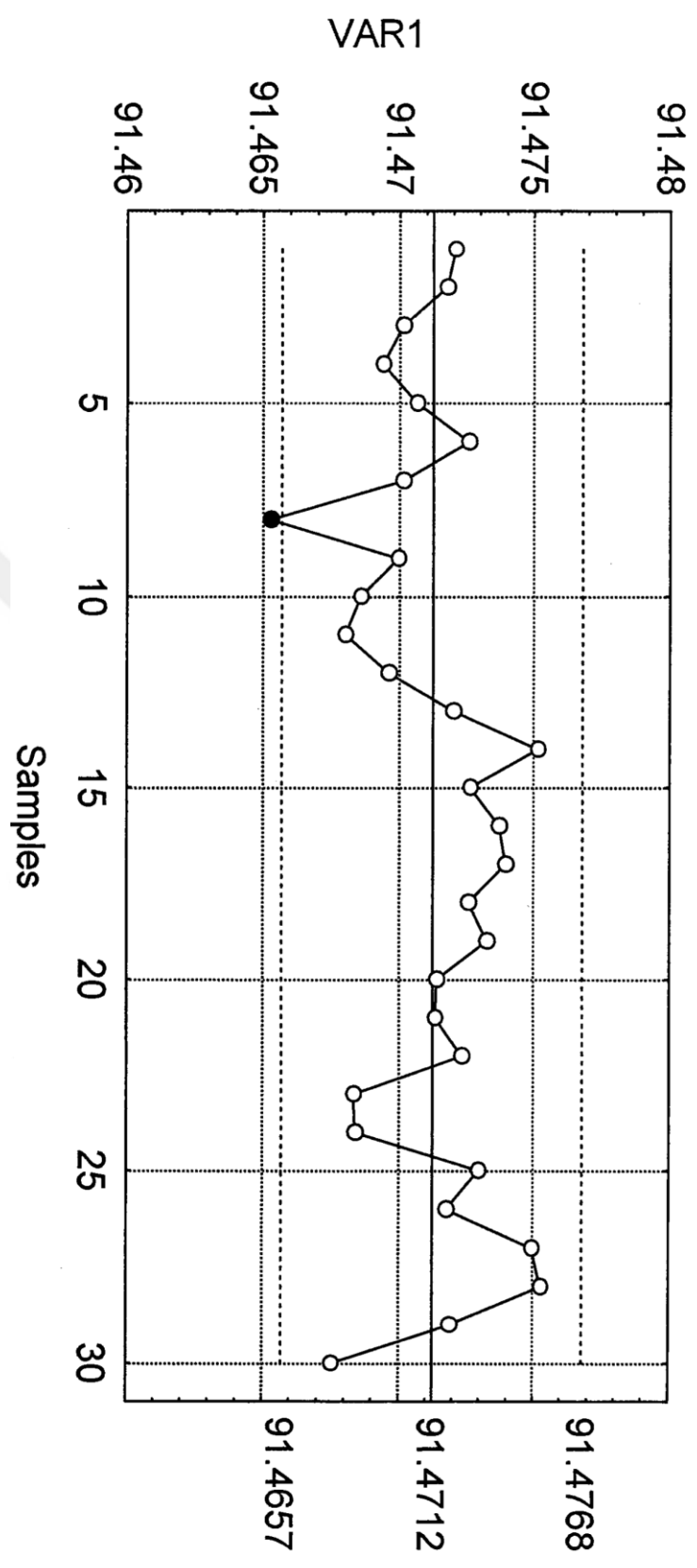
No. of Parts: 30 (variable: VAR4)

No. of Trials: 4 (variable: VAR2)



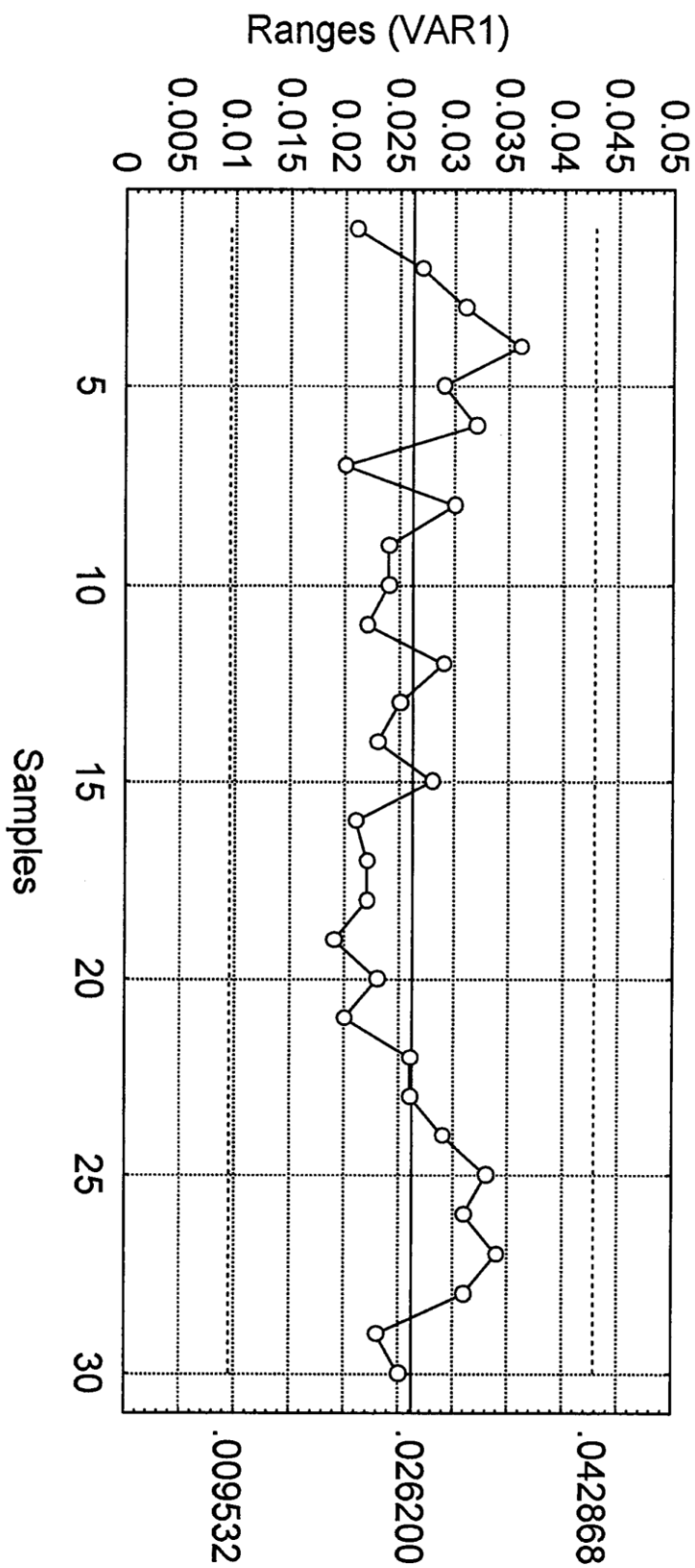
Şekil 3.6. Operatörlerin ölçümlerinin ortalamadan sapması

X-BAR CHART Mean: 91.4712  
 Standard: 91.4712  
 Sigma: .007418  
 Standard: .007418  
 N per Sample: 16



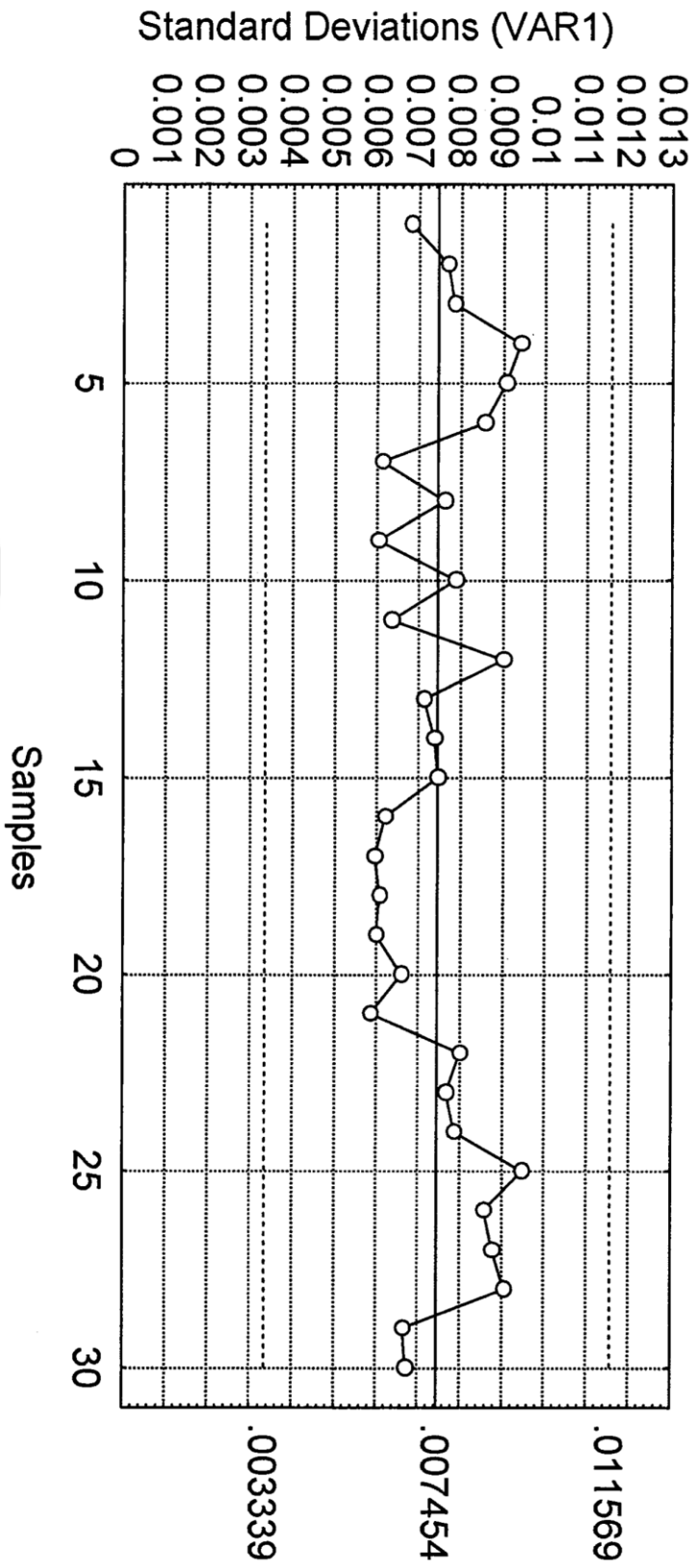
Şekil 3.7. X Kontrol Grafiği

R CHART: Mean: .026200  
 Standard: .026200  
 Sigma: .005556  
 Standard: .005556  
 N per Sample: 16



Şekil 3.8. R Kontrol Grafiği

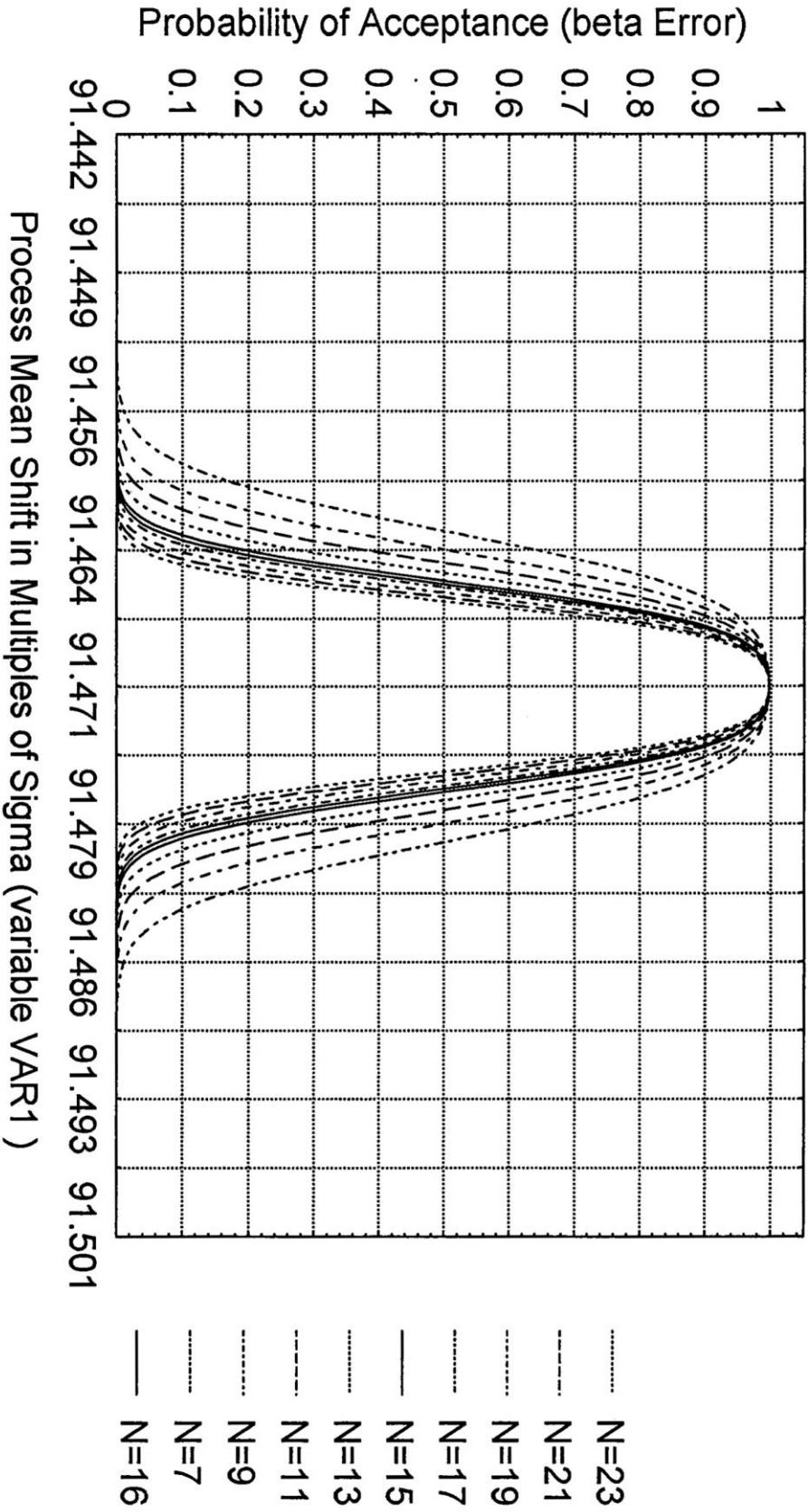
S CHART: Mean: .007454  
 Standard: .007454  
 Sigma: .001372  
 Standard: .001372  
 N per Sample: 16



Şekil 3.9. S Kontrol Grafiği

### Operating Characteristic Curve for X-BAR CHART

Control Limits: UCL = 3.0000 \* Sigma LCL = -3.000 \* Sigma



Şekil 3.10. Çalışma Karakteristiği Eğrisi

## UYGULAMA SONUÇLARI

Pazardaki hızlı değişim, üreticiyi belli standartlara ve belli kalite seviyesini yakalamaya sevk ettiğini, gümrük birliğine girilen şu yıllarda da kaliteyle rekabet gücünün arttığını bir kez daha göz önüne sermiştir. Kalite kavramının en üst kademedен en alt kademeye kadar öneminin vurgulanması amaçlanır. Öncelikle kalitenin, malın fiyatının en yüksek olmadığı bilincini topluma vermek gerekir. Kalite felsefesinin en önemli yapı taşı kuşkusuz insandır. İnsanı tanımak ve ona yatırım yapmak bu sistemin vazgeçilmez bir unsurudur. Sistemin dinamikliği ve sürekli gelişmesi insan kaynağının verimli kullanılmasıyla sağlanabilir. Bu amaçla kullanılan en önemli araç da şüphesiz eğitim olacaktır. Eğitimin geniş alana yayılması hedefe ulaşmayı hızlandıracaktır.

En üst yönetimden en alt kademeye kadar eğitim faaliyetleri planlanmalı, sürekli geliştirme felsefesi çalışanlara aşılmalı ve kaliteye herkesin katılımı ile ulaşılacağı fikri yayılmalıdır.

Çalışanların ekonomik refahı sağlandığında üretimde kalitenin, verimliliğin arttığı görülecektir. Gelişen teknolojiye de ayak uydurup firmaların araç ve gereçlerini yenilemesi, bakımını yaptırması daha iyi kalitede üretim yapılmasına olanak sağlar.

Bu çalışmada istatistiksel kalite kontrol yöntemleri ve süreç yeterlilik analizi hakkında ayrıntılı açıklamalar getirilip firmaların bundan nasıl yararlandığı uygulamalı bir örnekle anlatılmıştır.

Uygulamada motor bloğundaki gömlek dayanak derinliğinin dört noktadan kontrolü sağlanmıştır. Sürecin normal dağıldığı histogram, olasılık grafikleri ile belirlenmiştir. Sürecin ortalaması 91.4712, üst kontrol limiti 91.4789, alt kontrol limiti 91.4636 olarak hesaplanmıştır. Ortalama bu kontrol limitleri arasına düşmektedir. Sürecin yeterli olup olmadığı araştırılmış  $PCR$ ,  $PCR_k$ ,  $PCR_{km}$  oranları hesaplanmıştır.  $PCR_k \neq -1$  olduğundan sürecin özelliklerinin dışına çıkmadığı, kusurlu üretimin söz konusu olmadığı  $PCR = 3.00672$  olması sürecin performansının yüksek olduğunu,  $PCR_{km} < 1$  olması da sürecin ortalamasının hedef değere eşit olmadığını bu durum sürecin yeterliliğini bozacak bir durum değildir.

Bu oranlarla belirlenen koşullarda sürecin ne yapabileceği, nasıl çalıştığı gözlenir.

Sürecin kontrolü  $\bar{X}$  ve R kontrol grafikleri ile izlenmiştir. Bu grafiklerde sürecin kontrolde olduğu ölçümlerin kontrol limitlerini aşmadığı görülmüştür. Süreç değişkenlerinin etkilerini analiz etmek üzere varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizinde değişkenliğin kaynağı ölçümlere, operatörlere, örnekleme dayandırılmış olup bunların değişkenlik üzerinde etkilerinin hemen hemen olmadığı sonucuna varılmıştır.

Değişkenliğin operatörlerden ve ölçülerden çok kaynaklandığı saptansaydı, makinaya uygun operatör yerleşimi, operatörün eğitimi ya da makinaların kontrolü çalışmalarına gidilecekti. Bu faktörlerin etkisi ortadan kalktıktan sonra hâlâ kusurlu üretimde artış varsa çalışılan ortamın özellikleri incelenmeli ve çalışmaya negatif etkisi olan özelliklerin iyileştirilmesi çalışmalarına gidilmelidir.

Çalışanların performansı ve işi ile ilgili başarıları tüm firmalara duyurulmalı, özendirme, mükafat çalışmaları arttırılmalı.

Tüm bu çalışmalar daha iyi kalite seviyesini yakalama, problemlere çözüm bulma, kalite maliyetlerini azaltma, üretkenliği arttırmak içindir.

Kaliteli üretimin sadece tasarım, üst yönetimin katılımıyla değil zaman, para, personel, hammadde, araç ve gereçlerin tümünü kapsadığı unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

- AKALIN Sedat, *Üretim ve Kalite Kontrolü*, İzmir: Ege Üniversitesi Matbaası, 1973.
- ARÇELİK, Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı ve Toguchi Yöntemi Seminer Notları, Çayırova, 1991.
- ASLAN Demir, *İstatistiksel Kalite Kontrolü*, Ankara: Sevinç Matbaası, 1974.
- BARUTÇUGİL İsmet, *Üretim Sisteminde Yönetim Teknikleri*, Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları, 1988,
- BAYER L.J., "Tooling and Production", *Industrial Quality Control*, Vol: 22, No: 5, August 1956.
- CHAN Lai K, Smiley W. CHENG, Frederick A. SPIRING, "A New Measure of Progress Capability ( $C_{pm}$ )", *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, July 1988.
- DEMİR Hulusi, Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU, *Üretim Yönetimi Sistem Analizi Açısından Planlama ve Kontrol*, İzmir: Aydın Yayınevi, 1986.
- DEMİR Hulusi, *Üretim/İşlemler Yönetimi*, İstanbul: Beta Yayınevi, 1994.
- DUNCAN A.J., *Quality Control and Industrial Statistics*, Homewood Illinois, Richard D. Irwin, Inc., 1973.
- EFİL İsmail, *Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Önemli Bir Araç ISO 9000 Kalite Güvencesi*, Bursa: Uludağ Üniversitesi Basımevi, 1995.
- ERTİRYAKİ İbrahim, *Kalite Kontrolü*, İstanbul: Y.T.Ü. Sakarya Müh. Fak. Matbaası, 1992.
- FEIGENBAUM A.U., *Total Quality Control*, New York, Mc Graw Hill, 1976.
- GÖZLÜ Sıtkı, *Toplam Kalite Yönetiminde Türkiye Perspektifi*, İstanbul, 1994.
- GUNTER Bert, The Use and a Bouse of Cpk Revisited, Quality Progress, Jaunary, 1991.
- HANSEN Bernard L., *Quality Control Theory and Application*, New Delphi, Prentice Hallof India Private Limited, 1973.
- HICKS Charles R., *Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler*, Çev. Zehra Muluk, Serdar Kurt, Öniz Toktamış, Ergun Karaağaçoğlu, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi, 1994.
- HOFFMAN R. Thomas, *Production Management and Manufacturing Systems*, California, Wads Worth Pub. Lishing. Co. Inc., 1967.



- İstanbul Sanayi Odası, *ISO 9000 ve Kalite Sistemleri Seminerleri*, 1993.
- İŞÇİL Necati, “İstatistik Kalite Kontrolü Semineri”, Ankara, 1994.
- JURAN J.M., *Quality Control Handbook*, New York, Mc. Graw-Hill, 1962.
- JURAN J.M., *Quality Planning and Analysis*, New York, Mac Graw Hill Inc. 1993.
- JURAN J.M., *The Quality Trilogy*, Quality Progres, Cilt 19, Ağustos 1956.
- KIRKPATRICK E.G., *Quality Control for Managers and Engineers*, New York, John Wiley, 1970.
- KOBU Bülent, *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları, 1987.
- KOTZ Samuel, Normal L. Johnson, *Process Capability Indices*, New York, Chapman Hall, 1993.
- MONTGOMERY Douglas C., *Introduction to Statistical Quality Control*, New York, John Wiley, 1991.
- ÖZER Sarper, *Uygulamalı İstatistik 2*, İstanbul: Filiz Yayınevi, 1993.
- Renault Seminer Notları, Üretim Araçlarının Yeterliliği, Bursa, 1993.
- RYAN Thomas R., *Statistical Methods for Quality Improvement*, New York, Wiley, 1989.
- SIMONS David, *Practical Quality Control*, Massachusetts, Wesley Publishing Company Inc., Reading, 1970.
- SPIRING Fred A., “The  $C_{pm}$  Index”, *Quality Progress*, February 1991.
- T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Standart Kalite Kontrolü, Ankara, Aralık 1976.
- Türk Standartları Enstitüsü, *Tüketici Bülteni*, Ankara, Ekim 95, Yıl: 8, Sayı: 87, Süleyman Demirel’in mesajı.

## EKLER

**EK 1: Motor Bloğundaki Gömlek Dayanak Derinliğinin Şekli**

**PARÇA : MOTOR BLOĞU**

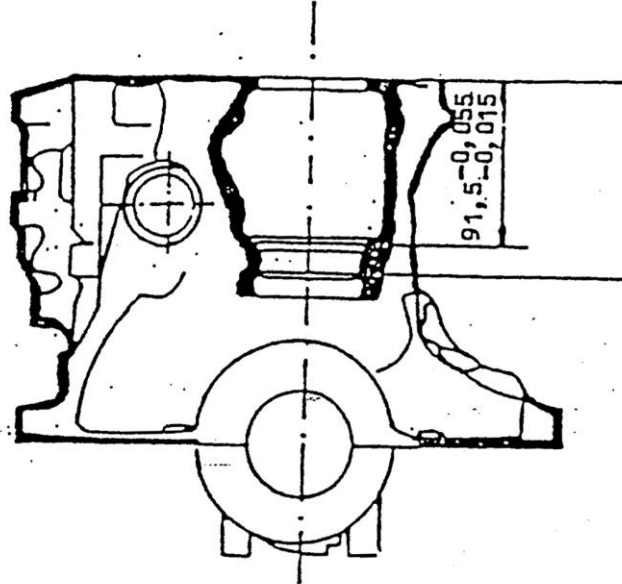
**REFERANS: 7700737246**

**ORGAN: E6J MOTORU**

**ARAÇ: TR-19 OP:190**

**ÖZELLİK: 91,5 - 0,055  
- 0,015**

**GÖSTERİM: GÖMLEK DAYANAK DERİNLİĞİ**

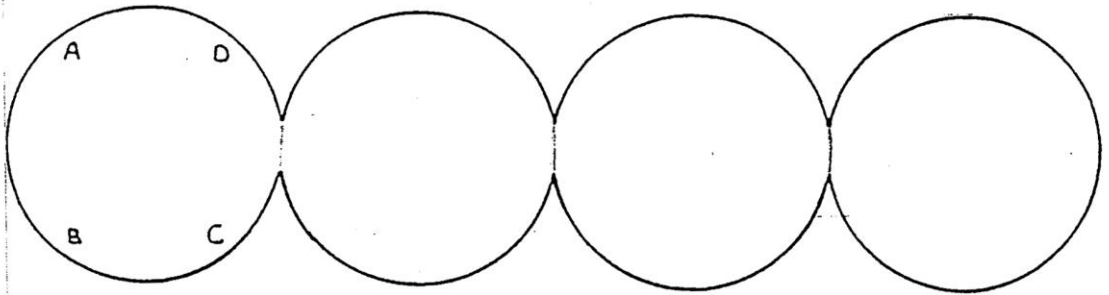


**Silindir n°1**

**silindir n°2**

**silindir n°3**

**silindir n°4**



**Her parça, silindirin dört noktasından kontrol edilmiştir.**

**EK 2: Oyak Renault'tan Alınan Gömlek Dayanak Derinliğinin Ölçüm Değerleri**

Var 1: Ölçümler Var

Var 2: Dört Derinlik Var

Var 3: Operatörler

Var 4: Gözlemlenen Her Otuz Örneklem

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
1	91.471	1.000	1.000	1.000
2	91.477	1.000	1.000	2.000
3	91.469	1.000	1.000	3.000
4	91.464	1.000	1.000	4.000
5	91.473	1.000	1.000	5.000
6	91.472	1.000	1.000	6.000
7	91.468	1.000	1.000	7.000
8	91.465	1.000	1.000	8.000
9	91.471	1.000	1.000	9.000
10	91.464	1.000	1.000	10.000
11	91.465	1.000	1.000	11.000
12	91.474	1.000	1.000	12.000
13	91.476	1.000	1.000	13.000
14	91.474	1.000	1.000	14.000
15	91.476	1.000	1.000	15.000
16	91.473	1.000	1.000	16.000
17	91.472	1.000	1.000	17.000
18	91.473	1.000	1.000	18.000
19	91.478	1.000	1.000	19.000
20	91.469	1.000	1.000	20.000
21	91.465	1.000	1.000	21.000
22	91.470	1.000	1.000	22.000
23	91.465	1.000	1.000	23.000
24	91.477	1.000	1.000	24.000
25	91.474	1.000	1.000	25.000
26	91.469	1.000	1.000	26.000
27	91.478	1.000	1.000	27.000
28	91.481	1.000	1.000	28.000
29	91.473	1.000	1.000	29.000
30	91.467	1.000	1.000	30.000
31	91.477	2.000	1.000	1.000
32	91.480	2.000	1.000	2.000
33	91.473	2.000	1.000	3.000
34	91.470	2.000	1.000	4.000
35	91.473	2.000	1.000	5.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
36	91.476	2.000	1.000	6.000
37	91.475	2.000	1.000	7.000
38	91.471	2.000	1.000	8.000
39	91.472	2.000	1.000	9.000
40	91.469	2.000	1.000	10.000
41	91.468	2.000	1.000	11.000
42	91.476	2.000	1.000	12.000
43	91.477	2.000	1.000	13.000
44	91.474	2.000	1.000	14.000
45	91.479	2.000	1.000	15.000
46	91.476	2.000	1.000	16.000
47	91.477	2.000	1.000	17.000
48	91.476	2.000	1.000	18.000
49	91.479	2.000	1.000	19.000
50	91.471	2.000	1.000	20.000
51	91.471	2.000	1.000	21.000
52	91.476	2.000	1.000	22.000
53	91.468	2.000	1.000	23.000
54	91.475	2.000	1.000	24.000
55	91.474	2.000	1.000	25.000
56	91.476	2.000	1.000	26.000
57	91.479	2.000	1.000	27.000
58	91.483	2.000	1.000	28.000
59	91.475	2.000	1.000	29.000
60	91.473	2.000	1.000	30.000
61	91.468	3.000	1.000	1.000
62	91.468	3.000	1.000	2.000
63	91.467	3.000	1.000	3.000
64	91.467	3.000	1.000	4.000
65	91.466	3.000	1.000	5.000
66	91.469	3.000	1.000	6.000
67	91.468	3.000	1.000	7.000
68	91.464	3.000	1.000	8.000
69	91.469	3.000	1.000	9.000
70	91.463	3.000	1.000	10.000
71	91.462	3.000	1.000	11.000
72	91.469	3.000	1.000	12.000
73	91.465	3.000	1.000	13.000
74	91.470	3.000	1.000	14.000
75	91.470	3.000	1.000	15.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
76	91.470	3.000	1.000	16.000
77	91.467	3.000	1.000	17.000
78	91.469	3.000	1.000	18.000
79	91.464	3.000	1.000	19.000
80	91.467	3.000	1.000	20.000
81	91.467	3.000	1.000	21.000
82	91.471	3.000	1.000	22.000
83	91.463	3.000	1.000	23.000
84	91.467	3.000	1.000	24.000
85	91.464	3.000	1.000	25.000
86	91.469	3.000	1.000	26.000
87	91.475	3.000	1.000	27.000
88	91.470	3.000	1.000	28.000
89	91.466	3.000	1.000	29.000
90	91.468	3.000	1.000	30.000
91	91.462	4.000	1.000	1.000
92	91.465	4.000	1.000	2.000
93	91.464	4.000	1.000	3.000
94	91.461	4.000	1.000	4.000
95	91.467	4.000	1.000	5.000
96	91.466	4.000	1.000	6.000
97	91.463	4.000	1.000	7.000
98	91.459	4.000	1.000	8.000
99	91.469	4.000	1.000	9.000
100	91.459	4.000	1.000	10.000
101	91.459	4.000	1.000	11.000
102	91.467	4.000	1.000	12.000
103	91.465	4.000	1.000	13.000
104	91.470	4.000	1.000	14.000
105	91.468	4.000	1.000	15.000
106	91.467	4.000	1.000	16.000
107	91.463	4.000	1.000	17.000
108	91.466	4.000	1.000	18.000
109	91.465	4.000	1.000	19.000
110	91.465	4.000	1.000	20.000
111	91.461	4.000	1.000	21.000
112	91.466	4.000	1.000	22.000
113	91.461	4.000	1.000	23.000
114	91.470	4.000	1.000	24.000
115	91.465	4.000	1.000	25.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
116	91.463	4.000	1.000	26.000
117	91.474	4.000	1.000	27.000
118	91.469	4.000	1.000	28.000
119	91.465	4.000	1.000	29.000
120	91.463	4.000	1.000	30.000
121	91.478	1.000	2.000	1.000
122	91.479	1.000	2.000	2.000
123	91.481	1.000	2.000	3.000
124	91.476	1.000	2.000	4.000
125	91.484	1.000	2.000	5.000
126	91.479	1.000	2.000	6.000
127	91.473	1.000	2.000	7.000
128	91.468	1.000	2.000	8.000
129	91.473	1.000	2.000	9.000
130	91.473	1.000	2.000	10.000
131	91.470	1.000	2.000	11.000
132	91.484	1.000	2.000	12.000
133	91.479	1.000	2.000	13.000
134	91.486	1.000	2.000	14.000
135	91.480	1.000	2.000	15.000
136	91.481	1.000	2.000	16.000
137	91.475	1.000	2.000	17.000
138	91.476	1.000	2.000	18.000
139	91.476	1.000	2.000	19.000
140	91.476	1.000	2.000	20.000
141	91.472	1.000	2.000	21.000
142	91.475	1.000	2.000	22.000
143	91.470	1.000	2.000	23.000
144	91.476	1.000	2.000	24.000
145	91.481	1.000	2.000	25.000
146	91.474	1.000	2.000	26.000
147	91.472	1.000	2.000	27.000
148	91.484	1.000	2.000	28.000
149	91.476	1.000	2.000	29.000
150	91.471	1.000	2.000	30.000
151	91.477	2.000	2.000	1.000
152	91.473	2.000	2.000	2.000
153	91.473	2.000	2.000	3.000
154	91.479	2.000	2.000	4.000
155	91.481	2.000	2.000	5.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
156	91.476	2.000	2.000	6.000
157	91.472	2.000	2.000	7.000
158	91.471	2.000	2.000	8.000
159	91.470	2.000	2.000	9.000
160	91.471	2.000	2.000	10.000
161	91.470	2.000	2.000	11.000
162	91.479	2.000	2.000	12.000
163	91.472	2.000	2.000	13.000
164	91.484	2.000	2.000	14.000
165	91.475	2.000	2.000	15.000
166	91.479	2.000	2.000	16.000
167	91.474	2.000	2.000	17.000
168	91.475	2.000	2.000	18.000
169	91.473	2.000	2.000	19.000
170	91.477	2.000	2.000	20.000
171	91.472	2.000	2.000	21.000
172	91.475	2.000	2.000	22.000
173	91.470	2.000	2.000	23.000
174	91.471	2.000	2.000	24.000
175	91.477	2.000	2.000	25.000
176	91.479	2.000	2.000	26.000
177	91.464	2.000	2.000	27.000
178	91.481	2.000	2.000	28.000
179	91.474	2.000	2.000	29.000
180	91.470	2.000	2.000	30.000
181	91.482	3.000	2.000	1.000
182	91.482	3.000	2.000	2.000
183	91.481	3.000	2.000	3.000
184	91.488	3.000	2.000	4.000
185	91.484	3.000	2.000	5.000
186	91.488	3.000	2.000	6.000
187	91.480	3.000	2.000	7.000
188	91.480	3.000	2.000	8.000
189	91.482	3.000	2.000	9.000
190	91.483	3.000	2.000	10.000
191	91.480	3.000	2.000	11.000
192	91.478	3.000	2.000	12.000
193	91.481	3.000	2.000	13.000
194	91.487	3.000	2.000	14.000
195	91.483	3.000	2.000	15.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
196	91.483	3.000	2.000	16.000
197	91.485	3.000	2.000	17.000
198	91.483	3.000	2.000	18.000
199	91.481	3.000	2.000	19.000
200	91.485	3.000	2.000	20.000
201	91.481	3.000	2.000	21.000
202	91.485	3.000	2.000	22.000
203	91.484	3.000	2.000	23.000
204	91.475	3.000	2.000	24.000
205	91.488	3.000	2.000	25.000
206	91.487	3.000	2.000	26.000
207	91.488	3.000	2.000	27.000
208	91.487	3.000	2.000	28.000
209	91.482	3.000	2.000	29.000
210	91.476	3.000	2.000	30.000
211	91.483	4.000	2.000	1.000
212	91.488	4.000	2.000	2.000
213	91.488	4.000	2.000	3.000
214	91.484	4.000	2.000	4.000
215	91.486	4.000	2.000	5.000
216	91.490	4.000	2.000	6.000
217	91.480	4.000	2.000	7.000
218	91.476	4.000	2.000	8.000
219	91.483	4.000	2.000	9.000
220	91.483	4.000	2.000	10.000
221	91.479	4.000	2.000	11.000
222	91.483	4.000	2.000	12.000
223	91.487	4.000	2.000	13.000
224	91.489	4.000	2.000	14.000
225	91.487	4.000	2.000	15.000
226	91.485	4.000	2.000	16.000
227	91.484	4.000	2.000	17.000
228	91.483	4.000	2.000	18.000
229	91.483	4.000	2.000	19.000
230	91.483	4.000	2.000	20.000
231	91.480	4.000	2.000	21.000
232	91.484	4.000	2.000	22.000
233	91.482	4.000	2.000	23.000
234	91.483	4.000	2.000	24.000
235	91.491	4.000	2.000	25.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
236	91.483	4.000	2.000	26.000
237	91.494	4.000	2.000	27.000
238	91.489	4.000	2.000	28.000
239	91.483	4.000	2.000	29.000
240	91.476	4.000	2.000	30.000
241	91.462	1.000	3.000	1.000
242	91.462	1.000	3.000	2.000
243	91.461	1.000	3.000	3.000
244	91.457	1.000	3.000	4.000
245	91.462	1.000	3.000	5.000
246	91.459	1.000	3.000	6.000
247	91.461	1.000	3.000	7.000
248	91.453	1.000	3.000	8.000
249	91.462	1.000	3.000	9.000
250	91.459	1.000	3.000	10.000
251	91.464	1.000	3.000	11.000
252	91.459	1.000	3.000	12.000
253	91.465	1.000	3.000	13.000
254	91.466	1.000	3.000	14.000
255	91.459	1.000	3.000	15.000
256	91.468	1.000	3.000	16.000
257	91.467	1.000	3.000	17.000
258	91.461	1.000	3.000	18.000
259	91.468	1.000	3.000	19.000
260	91.462	1.000	3.000	20.000
261	91.466	1.000	3.000	21.000
262	91.460	1.000	3.000	22.000
263	91.466	1.000	3.000	23.000
264	91.456	1.000	3.000	24.000
265	91.458	1.000	3.000	25.000
266	91.457	1.000	3.000	26.000
267	91.463	1.000	3.000	27.000
268	91.461	1.000	3.000	28.000
269	91.462	1.000	3.000	29.000
270	91.456	1.000	3.000	30.000
271	91.474	2.000	3.000	1.000
272	91.468	2.000	3.000	2.000
273	91.469	2.000	3.000	3.000
274	91.470	2.000	3.000	4.000
275	91.471	2.000	3.000	5.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
276	91.471	2.000	3.000	6.000
277	91.474	2.000	3.000	7.000
278	91.465	2.000	3.000	8.000
279	91.471	2.000	3.000	9.000
280	91.473	2.000	3.000	10.000
281	91.476	2.000	3.000	11.000
282	91.473	2.000	3.000	12.000
283	91.477	2.000	3.000	13.000
284	91.473	2.000	3.000	14.000
285	91.468	2.000	3.000	15.000
286	91.478	2.000	3.000	16.000
287	91.477	2.000	3.000	17.000
288	91.470	2.000	3.000	18.000
289	91.476	2.000	3.000	19.000
290	91.474	2.000	3.000	20.000
291	91.477	2.000	3.000	21.000
292	91.474	2.000	3.000	22.000
293	91.470	2.000	3.000	23.000
294	91.466	2.000	3.000	24.000
295	91.468	2.000	3.000	25.000
296	91.468	2.000	3.000	26.000
297	91.477	2.000	3.000	27.000
298	91.474	2.000	3.000	28.000
299	91.476	2.000	3.000	29.000
300	91.469	2.000	3.000	30.000
301	91.474	3.000	3.000	1.000
302	91.472	3.000	3.000	2.000
303	91.465	3.000	3.000	3.000
304	91.464	3.000	3.000	4.000
305	91.465	3.000	3.000	5.000
306	91.470	3.000	3.000	6.000
307	91.474	3.000	3.000	7.000
308	91.461	3.000	3.000	8.000
309	91.468	3.000	3.000	9.000
310	91.472	3.000	3.000	10.000
311	91.469	3.000	3.000	11.000
312	91.468	3.000	3.000	12.000
313	91.473	3.000	3.000	13.000
314	91.473	3.000	3.000	14.000
315	91.473	3.000	3.000	15.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
316	91.474	3.000	3.000	16.000
317	91.479	3.000	3.000	17.000
318	91.472	3.000	3.000	18.000
319	91.472	3.000	3.000	19.000
320	91.473	3.000	3.000	20.000
321	91.475	3.000	3.000	21.000
322	91.473	3.000	3.000	22.000
323	91.461	3.000	3.000	23.000
324	91.464	3.000	3.000	24.000
325	91.468	3.000	3.000	25.000
326	91.467	3.000	3.000	26.000
327	91.474	3.000	3.000	27.000
328	91.471	3.000	3.000	28.000
329	91.474	3.000	3.000	29.000
330	91.464	3.000	3.000	30.000
331	91.462	4.000	3.000	1.000
332	91.466	4.000	3.000	2.000
333	91.457	4.000	3.000	3.000
334	91.452	4.000	3.000	4.000
335	91.457	4.000	3.000	5.000
336	91.458	4.000	3.000	6.000
337	91.460	4.000	3.000	7.000
338	91.450	4.000	3.000	8.000
339	91.459	4.000	3.000	9.000
340	91.459	4.000	3.000	10.000
341	91.458	4.000	3.000	11.000
342	91.455	4.000	3.000	12.000
343	91.462	4.000	3.000	13.000
344	91.466	4.000	3.000	14.000
345	91.463	4.000	3.000	15.000
346	91.464	4.000	3.000	16.000
347	91.469	4.000	3.000	17.000
348	91.463	4.000	3.000	18.000
349	91.464	4.000	3.000	19.000
350	91.462	4.000	3.000	20.000
351	91.464	4.000	3.000	21.000
352	91.459	4.000	3.000	22.000
353	91.458	4.000	3.000	23.000
354	91.454	4.000	3.000	24.000
355	91.458	4.000	3.000	25.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
356	91.456	4.000	3.000	26.000
357	91.460	4.000	3.000	27.000
358	91.458	4.000	3.000	28.000
359	91.460	4.000	3.000	29.000
360	91.451	4.000	3.000	30.000
361	91.474	1.000	4.000	1.000
362	91.473	1.000	4.000	2.000
363	91.470	1.000	4.000	3.000
364	91.469	1.000	4.000	4.000
365	91.471	1.000	4.000	5.000
366	91.475	1.000	4.000	6.000
367	91.473	1.000	4.000	7.000
368	91.465	1.000	4.000	8.000
369	91.468	1.000	4.000	9.000
370	91.474	1.000	4.000	10.000
371	91.464	1.000	4.000	11.000
372	91.457	1.000	4.000	12.000
373	91.472	1.000	4.000	13.000
374	91.476	1.000	4.000	14.000
375	91.474	1.000	4.000	15.000
376	91.473	1.000	4.000	16.000
377	91.476	1.000	4.000	17.000
378	91.476	1.000	4.000	18.000
379	91.476	1.000	4.000	19.000
380	91.470	1.000	4.000	20.000
381	91.477	1.000	4.000	21.000
382	91.478	1.000	4.000	22.000
383	91.478	1.000	4.000	23.000
384	91.470	1.000	4.000	24.000
385	91.477	1.000	4.000	25.000
386	91.475	1.000	4.000	26.000
387	91.477	1.000	4.000	27.000
388	91.480	1.000	4.000	28.000
389	91.473	1.000	4.000	29.000
390	91.470	1.000	4.000	30.000
391	91.475	2.000	4.000	1.000
392	91.467	2.000	4.000	2.000
393	91.468	2.000	4.000	3.000
394	91.474	2.000	4.000	4.000
395	91.467	2.000	4.000	5.000

	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
396	91.471	2.000	4.000	6.000
397	91.470	2.000	4.000	7.000
398	91.468	2.000	4.000	8.000
399	91.467	2.000	4.000	9.000
400	91.471	2.000	4.000	10.000
401	91.466	2.000	4.000	11.000
402	91.464	2.000	4.000	12.000
403	91.467	2.000	4.000	13.000
404	91.472	2.000	4.000	14.000
405	91.474	2.000	4.000	15.000
406	91.472	2.000	4.000	16.000
407	91.475	2.000	4.000	17.000
408	91.473	2.000	4.000	18.000
409	91.477	2.000	4.000	19.000
410	91.467	2.000	4.000	20.000
411	91.474	2.000	4.000	21.000
412	91.482	2.000	4.000	22.000
413	91.469	2.000	4.000	23.000
414	91.464	2.000	4.000	24.000
415	91.480	2.000	4.000	25.000
416	91.479	2.000	4.000	26.000
417	91.482	2.000	4.000	27.000
418	91.478	2.000	4.000	28.000
419	91.476	2.000	4.000	29.000
420	91.473	2.000	4.000	30.000
421	91.467	3.000	4.000	1.000
422	91.461	3.000	4.000	2.000
423	91.467	3.000	4.000	3.000
424	91.470	3.000	4.000	4.000
425	91.459	3.000	4.000	5.000
426	91.468	3.000	4.000	6.000
427	91.464	3.000	4.000	7.000
428	91.466	3.000	4.000	8.000
429	91.467	3.000	4.000	9.000
430	91.460	3.000	4.000	10.000
431	91.470	3.000	4.000	11.000
432	91.463	3.000	4.000	12.000
433	91.464	3.000	4.000	13.000
434	91.469	3.000	4.000	14.000
435	91.467	3.000	4.000	15.000



	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4
436	91.467	3.000	4.000	16.000
437	91.471	3.000	4.000	17.000
438	91.471	3.000	4.000	18.000
439	91.470	3.000	4.000	19.000
440	91.469	3.000	4.000	20.000
441	91.468	3.000	4.000	21.000
442	91.466	3.000	4.000	22.000
443	91.459	3.000	4.000	23.000
444	91.460	3.000	4.000	24.000
445	91.473	3.000	4.000	25.000
446	91.475	3.000	4.000	26.000
447	91.473	3.000	4.000	27.000
448	91.468	3.000	4.000	28.000
449	91.469	3.000	4.000	29.000
450	91.468	3.000	4.000	30.000
451	91.467	4.000	4.000	1.000
452	91.467	4.000	4.000	2.000
453	91.469	4.000	4.000	3.000
454	91.465	4.000	4.000	4.000
455	91.464	4.000	4.000	5.000
456	91.473	4.000	4.000	6.000
457	91.467	4.000	4.000	7.000
458	91.462	4.000	4.000	8.000
459	91.468	4.000	4.000	9.000
460	91.464	4.000	4.000	10.000
461	91.468	4.000	4.000	11.000
462	91.465	4.000	4.000	12.000
463	91.470	4.000	4.000	13.000
464	91.473	4.000	4.000	14.000
465	91.466	4.000	4.000	15.000
466	91.469	4.000	4.000	16.000
467	91.472	4.000	4.000	17.000
468	91.474	4.000	4.000	18.000
469	91.470	4.000	4.000	19.000
470	91.472	4.000	4.000	20.000
471	91.471	4.000	4.000	21.000
472	91.463	4.000	4.000	22.000
473	91.469	4.000	4.000	23.000
474	91.466	4.000	4.000	24.000
475	91.471	4.000	4.000	25.000
476	91.471	4.000	4.000	26.000
477	91.469	4.000	4.000	27.000
478	91.470	4.000	4.000	28.000
479	91.466	4.000	4.000	29.000
480	91.465	4.000	4.000	30.000