

**İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜNDE PROSES  
YETERLİLİK ANALİZİ VE TEKSTİL SANAYİNDE BİR  
UYGULAMA**

**Orhan ŞAHİN**

Cumhuriyet Üniversitesi  
Sosyal Bilimler Enstitüsü  
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
İşletme Anabilim Dalı – Sayısal Yöntemler Bilim Dalı İçin Öngördüğü

96011

**DOKTORA TEZİ**  
Olarak Hazırlanmıştır

Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Mahmut KARTAL

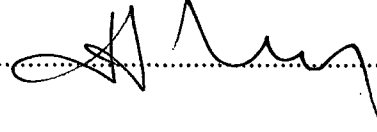
EC YÜZBENLİĞİ VE İÇİŞİLERİ BAKANLIĞI  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Mart - 2000  
SİVAS

## Sosyal Bilimler Enstitüsüne

İş bu çalışma jürimiz tarafından İşletme Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan ..... **Doç. Dr. Mehmet KARTAL** .....



Üye ..... **Doç. Dr. Mahir NAKİP UHALI** .....

Üye ..... **Doç. Dr. Osman DEMİRDÖĞEN** .....


**Onay**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2000

Enstitü Müdürü

**Prof. Dr. Ali ERKUL**  
**Enstitü Müdürü**



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TABLolar LİSTESİ.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
GİRİŞ.....	1

## BİRİNCİ BÖLÜM

1. PROSES YETERLİLİĞİ.....	2
1.1. Genel Açıklamalar.....	2
1.2 Proses Yeterliliği ve Çalışması.....	3
1.2.1 Spesifikasyonlar ve Toleranslar.....	3
1.2.2 Normal Faaliyet Şartları.....	5
1.3 Yeterlilik İncelemesinin Amacı.....	5
1.4 Metodun Faaliyet Alanı.....	6
1.5 Yeterlilik Araştırmasının Cevaplandığı Sorular.....	6
1.6 Proses Yeterlilik Analizinde Faaliyetlerin Düzenlenmesi.....	7
1.6.1 Proses Yeterliliğinde Çalışma Planı.....	7
1.6.1.1 İmalat Metotları.....	7
1.6.1.2 Muayene Metodu.....	7
1.6.1.3 Çalışma Sahasının Tarif Edilmesi.....	8
1.6.1.4 Veri Toplama Metotlarının Geliştirilmesi.....	8
1.6.1.5 Örneklerin Sayısı ve Örnek Seçimi.....	8
1.6.1.6 Veri Toplama Formları.....	9

1.6.2 Faaliyetlerin Yürütülmesi .....	10
1.6.2.1 Prosesin Hazırlanması .....	10
1.6.2.2 Çalışanların Hazırlanması .....	10

## İKİNCİ BÖLÜM

2. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL .....	11
2.1 İstatistiksel Proses Kontrolü Nedir? .....	11
2.2 İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri .....	13
2.2.1 Çetele Diyagramı (Kontrol Tablosu).....	13
2.2.2 Histogram .....	15
2.2.3 Pareto Analizi .....	17
2.2.4 Neden-Sonuç Diyagramı .....	19
2.2.5 Gruplandırma.....	20
2.2.6 Dağılım Diyagramı (Serpilme).....	21
2.2.7 Kontrol Grafikleri .....	23
2.2.7.1 Ölçülebilen Kalite Özellikleri (variables) $\bar{X}$ -R Grafikleri .....	26
2.2.7.1.1 Standartların Belli Olması Halinde Kontrol Grafikleri .....	27
2.2.7.1.2 Standartların Belli Olmaması Halinde Kontrol Grafikleri .....	27
2.2.7.1.2.1 $\bar{X}$ ve R Kontrol Grafiği .....	27
2.2.7.1.2.2 $\bar{X}$ , S Kontrol Grafikleri .....	31
2.2.7.2 Ölçülemeyen Özelliklerin Hesaplanmasında Kullanılan Kontrol Grafikleri .....	35
2.2.7.2.1 p Kontrol Grafiği .....	35
2.2.7.2.2 c Kontrol Grafiği .....	39
2.2.7.2.3 u Kontrol Grafiği .....	40

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. PROSES YETERLİLİK ANALİZİ.....	43
3.1 Genel Açıklamalar.....	43
3.2 Proses Yeterlilik İndisleri .....	44
3.2.1 Yeterlilik Rasyosu .....	44
3.2.2 $C_p$ İndisi .....	45
3.2.2.1 $C_p$ 'nin Tahmin Edilmesi .....	46
3.2.2.2 $C_p$ 'nin Güven Aralığı.....	49
3.3 Prosesin Ortasının Tespit Edilmesi .....	49
3.4 $C_{pk}$ İndisi .....	50
3.4.1 $C_{pk}$ 'nin Tahmini .....	53
3.5 Tek Yanlı Spesifikasyon Durumunda Proses Yeterlilik İndisi.....	57
3.5.1 Üst Proses Performansı ( $PYR_U$ ).....	57
3.5.2 Alt Proses Performansı ( $PYR_A$ ).....	57
3.6 Proses Yeterliliği Analizinde Kullanılan İstatistikî Proses Kontrol Teknikleri .....	57
3.6.1 Histogramdan Proses Yeterliliğinin Elde Edilmesi.....	58
3.6.2 İhtimal Dağılım Diyagramı(Çizgisi).....	60
3.6.3 Kontrol Grafiği ve Proses Yeterliliği .....	61
3.6.4 $C_p$ ve $C_{pk}$ Arasındaki İlişki .....	64
3.6.5 $PYR$ İçin Geliştirilen Hipotez Testi .....	65
3.6.6 Proses Merkezinin İki Tane Olması Durumunda $PYR$ .....	67
3.6.7 Normal Dağılım Tablosunun Kusurlu Yüzdesinin Tahmininde Kullanılması.....	68
3.6.8 Ölçme Hataları ve Yeterlilik .....	69

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. TEKSTİL SANAYİNDE BİR UYGULAMA.....	73
4.1 Uygulamanın Yapıldığı Yer .....	73
4.2 Fabrikanın Üretim Alanı Ve Üretim Akışı.....	73
4.3 Uygulamanın Yapılma Şekli .....	75
4.4 Örneklerin Alınması ve Örnek Sayısı.....	76
4.5 Örneklerin Ölçülmesi .....	76
4.6 Uygulanan Proses Kontrol Teknikleri .....	81
SONUÇ.....	92
KAYNAKLAR.....	95
EK TABLOLAR LİSTESİ.....	98

## ÖZET

İstatistiksel Proses Kontrolünde Proses Yeterlilik Analizi adlı bu tez çalışmasında, prosesteki değişkenliğin sebeplerini araştırarak, bunları analiz etmek suretiyle prosesin kontrol altına alınmasının sağlayan İstatistiksel Proses Kontrol teknikleri anlatılmış, ayrıca bir prosesin yeterli olup olmadığını kolayca hesaplamamızı sağlayan proses yeterlilik indislerinden  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indisleri anlatılmış, bu tekniklerin kullanımını göstermek üzere Günüş Aş. adlı bir tekstil işletmesinde uygulama yapılmıştır. Uygulamadan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SPSS ve Statistica paket programları kullanılmıştır.

## ABSTRACT

This thesis is focused on process capability analysis by exploring causes of variation in the process. The thesis also underlines statistical process control the techniques which provide to control the process, and emphasises process capability indices of Cp and Cpk that enable us to calculate process capability easily. In order to explore the use of these techniques, an empirical study was undertaken at the GÜNTAŞ A.Ş. data collected throughout this study was analysed by using SPSS for Windows and Statistica package statistical programmes.





## TABLolar LİSTESİ

Tablo: 1.1. Örnek Bir Veri Toplama Formu .....	9
Tablo: 2.1. Niceliksel Veri Toplamak İçin Kullanılan Çetele Tablosu .....	14
Tablo 2.2. Niteliksel Veri Toplamak İçin Kullanılan Çetele Tablosu .....	14
Tablo 2.3. Veri Sayısına Göre Yapılacak Gruplandırma Adeti .....	15
Tablo 2.4. Örnek 2.1'e Ait Veri Tablosu .....	16
Tablo 2.5. Bir Şişe Üretim Prosesinde Elde Edilen Kusur Miktarları .....	18
Tablo 2.6 Standartların Belli Olması Halinde Kullanılan Formüller.....	27
Tablo 2.7. Standartların Belli Olmaması Halinde Kullanılacak Formüller .....	27
Tablo 2.8. Örnek 2.3'e Ait Veri Tablosu.....	28
Tablo 2.9 Örnek 2.4'e Ait Veri Tablosu .....	32
Tablo 2.10. Ölçülemeyen Özellikler İçin Kontrol Limitleri Tablosu .....	35
Tablo 2.11. Örnek 2.5'e Ait Veri Tablosu .....	36
Tablo 2.12. Örnek 2.6'e Ait Veri Tablosu .....	38
Tablo 2.13. Örnek 2.7'e Ait Veri Tablosu .....	39
Tablo 2.14 Örnek 2.8'e Ait Veri Tablosu .....	41
Tablo 3.1. Yeterliliğin Kabulü İçin Proses Yeterlilik Rasyosunun Kabul Sınırları.....	46
Tablo 3.2 Örneğe Bağlı Olarak $\hat{p}$ 'nin Değerleri.....	47
Tablo 3.3 Farklı Örnek Büyüklükleri İçin $\hat{C}_p$ 'nin Beklenen Değeri Ve Stand.Sapması ...	48
Tablo 3.4 Çift Yanlı Spesifikasyon Durumunda $C_{pk}$ İndisine Bağlı Olarak LDM Oranı .	53
Tablo 3.5 Prosesin Merkez.ve Merkezden Uzaklaşması Durumunda Proses Yeterliliği ...	54
Tablo 3.6 Farklı Örnek Büyüklükleri İçin $C_{pk}$ 'nın Beklenen Değeri Ve Stand. Sapması.	55
Tablo 3.7 $C_{pk}$ 'nın Değişkenliği ( $C_p=1$ ).....	56

Tablo 3.8 Tek Yanlı Spesifikasyon Limiti Olması Durumunda Çeşitli Yeterlilik Değerleri İçin Spesifikasyonlar Dışındaki Parçaların Sayısı .....	57
Tablo 3.9 Örnek 3.5'e Ait Veri Tablosu .....	59
Tablo 3.10 Örnek 3.7'e Ait Veri Tablosu .....	60
Tablo 3.11 Hipotez Testi İçin Geliştirilmiş Bir Çalışma Tablosu.....	66
Tablo 3.12 Örnek Veri Tablosu.....	70
Tablo 4.1 Uster Değerleri.....	75
Tablo 4.2 Nm Kontrolü İçin Birinci Gün Alınan Örnekler.....	77
Tablo 4.3 Nm Kontrolü İçin İkinci Gün Alınan Örnekler.....	78
Tablo 4.4 Nm Kontrolü İçin Üçüncü Gün Alınan Örnekler.....	79
Tablo 4.5 Nm Kontrolü İçin Dördüncü Gün Alınan Örnekler.....	80
Tablo 4.6 Uster Kontrolü İçin Alınan Örnekler.....	81

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Normal Dağılım Eğrisinin Proses Değişkenliğinin Tespitinde Kullanılması.....	3
Şekil 2.1 İstatistiksel Proses Kontrolün Akış Diyagramı.....	12
Şekil 2.2. Şişelere Ait Verilerden Elde Edilen Histogram.....	16
Şekil 2.3. Başlıca Histogram Çeşitleri.....	17
Şekil 2.4. 1000 Hatanın Dağılımını Gösteren Pareto Grafiği.....	19
Şekil 2.6 Neden-Sonuç Diyagramı.....	20
Şekil 2.7. Bir Bisiklete Ait Sorunun Tespit Edilmesi.....	21
Şekil 2.8 Dağılıma Diyagramında Karşılaşılan Durumlar.....	22
Şekil 2.9. Shewhart Normal Dışı Davranış Durumları.....	26
Şekil 2.10 $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	30
Şekil 2.11. R Kontrol Grafiği.....	30
Şekil 2.12. $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	34
Şekil 2.13. S Kontrol Grafiği.....	34
Şekil 2.14 p Kontrol Grafiği.....	37
Şekil 2.15 np Kontrol Grafiği.....	39
Şekil 2.16 c Kontrol Grafiği.....	40
Şekil 2.17. U Kontrol Grafiği.....	42
Şekil 3.1 Toplanan Verilere Bağlı Olarak Proseslerin Yaylımları.....	43
Şekil 3.2 Örnek Olaya Ait Prosesin Yayılımı.....	45
Şekil 3.3 Yeterlilik Rasyosuna Bağlı Olarak Proses Yaylımları.....	46
Şekil 3.4 k' ya Bağlı Olarak Prosesin Yerleşiminin Tespit Edilmesi.....	50
Şekil 3.5 Cpk'nın Çeşitli Değerleri İçin Prosesin Yerleşimi.....	53
Şekil 3.6 155 Veriye Ait Histogram.....	59

Şekil 3.7 Örneğe Ait Dağılıma Diyagramı.....	61
Şekil 3.8 $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	62
Şekil 3.9 R Kontrol Grafiği.....	62
Şekil 3.10 Proses Yeterliliği Grafiği.....	63
Şekil 3.11 Cp ve Cpk Arasındaki ilişki.....	64
Şekil 3.12 Cpk=1 durumunda iki proses.....	67
Şekil 3.13 $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	71
Şekil 3.14 R Kontrol Grafiği.....	71
Şekil 4.1 Proses Akış Diyagramı.....	74
Şekil 4.2 Birinci Gün Alınan Örneklere Ait $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	82
Şekil 4.3 Birinci Gün Alınan Örneklere Ait R Kontrol Grafiği.....	82
Şekil 4.4 Birinci Gün Alınan Örneklere Ait Proses Yeterliliği Grafiği.....	83
Şekil 4.5 İkinci Gün Alınan Örneklere Ait $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	84
Şekil 4.6 İkinci Gün Alınan Örneklere Ait R Kontrol Grafiği.....	84
Şekil 4.7 İkinci Gün Alınan Örneklere Ait Proses Yeterliliği Grafiği.....	85
Şekil 4.8 Üçüncü Gün Alınan Örneklere Ait $\bar{X}$ Kontrol Grafiği .....	86
Şekil 4.9 Üçüncü Gün Alınan Örneklere Ait R Kontrol Grafiği .....	86
Şekil 4.10 Üçüncü Gün Alınan Örneklere Ait Proses Yeterliliği Grafiği.....	87
Şekil 4.11 Dördüncü Gün Alınan Örneklere Ait $\bar{X}$ Kontrol Grafiği.....	88
Şekil 4.12 Dördüncü Gün Alınan Örneklere Ait R Kontrol Grafiği.....	88
Şekil 4.13 Dördüncü Gün Alınan Örneklere Ait Proses Yeterliliği Grafiği.....	89
Şekil 4.14 Uster Testinden Alınan Örneklere Ait U Kontrol Grafiği.....	90
Şekil 4.15 Uster Testinden Alınan Örneklere Ait Proses Yeterlilik Grafiği.....	91

## GİRİŞ

Bir üretim prosesinde mamulün kalitesini etkileyen pek çok faktör vardır. Bu faktörler; işlemler, malzeme, çevre şartları, operatör ve muayene olarak sıralayabiliriz. Bu faktörlerin her birisi proseste bir değişkenlik kaynağıdır ve dolayısıyla mamulün kalitesine etki eder. Her prosteden beklenen bir iş vardır. Bu da kendisi için belirlenmiş spesifikasyon limitleri dahilinde üretim yapmaktır. Ancak yukarıda belirtilen değişkenlik kaynaklarının proseste bir değişkenliğe yol açacağı da kesindir. Bunun için üretim proseslerindeki bu değişkenlik miktarı minimum seviyeye indirilmeye çalışılmalıdır. Çünkü günümüzde rekabet sadece ulusal bazda değil uluslararası seviyede ve çok sert olmaktadır. Dolayısıyla bu işletmeleri daha az hatalı ve mümkünse sıfır hatalı üretime zorlamaktadır. Bunun için proseslerin komple incelenmesi gerekir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, bir proses yeterliliğine başlamadan önce yapılması gerekenler ve proses yeterliliğinin amacı anlatılmıştır.

İkinci bölümde, prostesteki değişkenliği tespit etmemize yarayan istatistiksel proses kontrol teknikleri tanıtılarak bunların nerede ve nasıl kullanılabilecekleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, bir prosesin yeterliliğini kolayca hesaplayabilmemizi sağlayan proses yeterlilik indisleri tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde ise uygulamanın yapıldığı Güntaş A.Ş. iplik fabrikası tanıtılmış, buradan alınan örnek veriler üzerinde istatistiksel proses kontrol tekniklerinden biri olan kontrol grafiklerine göre veriler değerlendirilmiş aynı veriler üzerinde Cp ve Cpk indisleriyle yeterlilik hesaplanarak bunlar yorumlanmış ve işletme yetkililerine önerilerde bulunulmuştur.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### 1. PROSES YETERLİLİĞİ

#### 1.1. Genel Açıklamalar

Proses yeterliliği kavramını açıklamadan önce prosesin tanımının yapılması önemlidir. Proses, bir ürün veya hizmeti üretmek için gerek duyulan aşamaların tamamıdır (Tate,23;1999). Bir başka tanıma göre, insan, makine/ekipman, hammadde, üretim metodu ve üretim ortamının bir ürün çıkartmak üzere birlikte olmasıdır(Çelikçapa, 159; 1995).

Tanımlardan da anlaşılacağı üzere bir proses birtakım unsurlardan oluşmaktadır. Bunlar;

- İşlemler(Makine/Ekipman)
- Malzeme
- Çevre Şartları
- Operatör
- Muayene

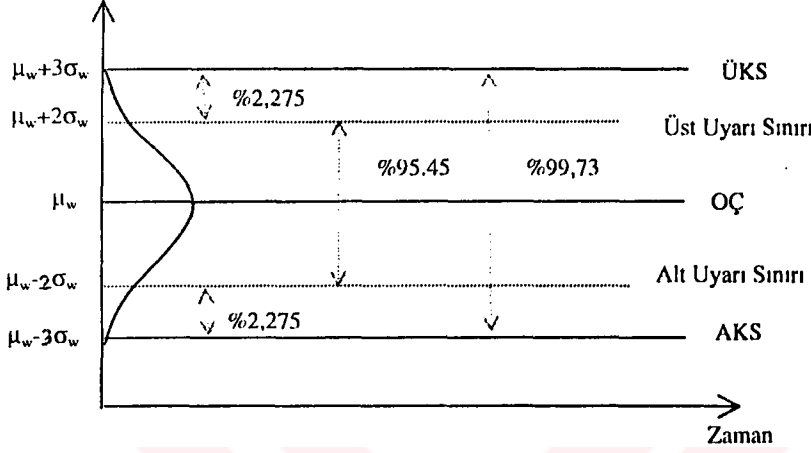
Bütün bunlar aynı zamanda proseste birer değişkenlik kaynağıdır. Değişkenlik proseste üretilmiş mamul ve hizmetlerin kalitesini etkiler. Bundan dolayı prosesteki değişkenliğin dikkatlice izlenmesi, analiz edilmesi ve böylece kontrol altına alınması gereklidir. İstatistiksel proses kontrol, prosesin analizinde, parçaların kalitesinin iyileştirilmesinde ve üretilen hizmetlerin kontrolünde temel istatistiki metotlar sağlar.

Bu saydığımız beş değişkenlik kaynağı beklenen bir şekilde dağıldığında proseste tesadüfen kaynaklanan farklılıklara neden olurlar. Bunları kısaca “doğal nedenler” olarak isimlendirebiliriz. Bunlar prosesin tabiatında bulunan ve tesadüfi sebeplerden meydana gelen, nedeni tespit edilemeyen kaynaklardan oluşan farklılıklardır.

Bunların yanında, ürünlerin kalitesinin ortalama değerini veya dağılımını değiştirebilen, ürünlerde belirtilen spesifikasyonların dışında değişkenliklere neden olan ve kaynağı tespit edilebilen “doğal olmayan nedenlerde” bulunmaktadır.

Çoğu durumlarda varyasyonun genel sebebi normal eğri yardımıyla tarif edilmektedir. Bir prosesteki değişme tabii nedenlerden kaynaklanıyorsa varyasyonun

geneli bir başka deyişle %99.73 si  $\pm 3\sigma$  aralığına düşecektir. Aşağıda normal eğri üzerinde bu ilişki anlatılmaktadır



**Şekil 1.1 Normal Dağılım Eğrisinin Proses Değişkenliğinin Tespitinde Kullanılması**

Proses yeterliliği; belli bir zaman periyodunda mamul veya hizmetleri üretmek için prosesin yeteneğini ifade eder. Herhangi bir prosesin yeterliliğini belirlemeden önce prosteki varyasyonun kararlı olması gerekir. Yani proses kontrol altında olmalı.

Prosesin Kararlılığını belirlemenin kriterleri: (Asaka, 1990:228)

- 1.Kontrol limitleri dışında hiç nokta yoktur.
- 2.Verilerin dağılımında anormallik yoktur.

### 1.2. Proses Yeterliliği ve Çalışması

Proses yeterliliği, prosesin bir mamulü belirtilen özelliklere göre üretebilmesi yeteneğidir. Sistematik bir proses incelemesi, normal çalışma şartları altında prosesin tolerans limitlerini veya spesifikasyonları karşılama yeteneğini tespit etmektir.

#### 1.2.1. Spesifikasyonlar ve Toleranslar

**Spesifikasyonlar**, Bir çıktının özellikleri; mamulün üretilmesi için gerekli işlerin doğru, eksiksiz yapılabilmesi ve kolaylıkla anlaşılabilmesi açısından önem taşır. Böylece mamullerin belirli kalite özelliklerini taşımalarına ve standartlara uygun olarak

yapılabilmelerine yardımcı olur. Endüstri işletmelerinde üretilen çıktılarn özellikleri belirlenmişse, bölümler arası ilişkiler, bilgi akışı, iletişim biçimi ve süresi düzenli yürütülebilecek , böylece sistemin işleyişi kolaylaşacaktır.

Üretim çalışmalarının çeşitli aşamalarında materyal, süreç, test yöntemi, kabul ölçütleri, mamullerin kullanım biçimleri, mamul vb. konularda özellikler hazırlanarak kalite kontrol işlemlerinin istenilen doğrultuda yürütölüp yürütölmediğı incelenir. Özellikleri amaç ve içeriklerine göre dört grupta toplamak mümkündür. (Gümüşoğlu,1996:10)

1. Materyal ve mamul özellikleri
2. Süreç Özellikleri
3. Test Özellikleri
4. Kullanım Özellikleri

Yukarıda gruplandırılan özelliklerin hepsinde o özelliğı hazırlayan bölüm yada kuruluşun adı, tarihi, özelliğın adı, kod numarası, terminolojisi bulunmalıdır.

Materyal ve mamul özellikleri, onların diğer mamul ve materyallerden ayırt edilebilmeleri için saptanır. Yukarıdaki bilgilerden ayrı istenilen kalite özellikleri, ölçütleri,standartları ve toleransları, özelliklerin belirlenmesinde kullanılacak test ve incelemelerin adları, tanımları ve varsa numaraları, uygulanacak örnekleme yöntemleri, ret-kabul ölçütlerinin yanı sıra paketleme, etiketleme biçimi, seri numarası, taşıma, güvenlik vb. bilgiler taşınmalıdır.

Süreç özellikleri, mamulün en uygun koşullarda üretilebilmesi için çalışma koşullarıyla mamul özelliklerinin bir arada değerlendirilerek kalitenin belirlenmesini sağlar.

Test özellikleri,belirli mamul, yarı işlenmiş mamul ve materyalin istenilen nitelikte olup olmadığını kanıtlamak ve onların kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için yapılacak test işlemlerini belirleyen talimatlardır.

Kullanım özellikleri ise, mamulü kullanacak olanlara, onun kullanacağı koşullar, çalıştırma biçimi, bakım işleri vb. ilişkin bilgi ve talimatları kapsar.

**Toleranslar**, İlk kez 1902 yılında J.N. Newall adında bir İngiliz sanayicisince geliştirilen ve izin verilen sapma nicelikleri olarak tanımlanan toleranslar, üretim



verimliliğinin artması ve üretim maliyetlerinin en küçüklenmesini amaçlar. Toleranslar doğadaki tüm varlıkların birbirinden farklı olması nedeniyle, üretimde de birbirinin aynı mamullerin üretilmesinin imkansızlığı sonucu ortaya çıkmıştır. Toleranslar; tasarım, üretim ve kalite kontrol çalışmalarıyla yakından ilişkili olup, mamulün tasarımı aşamasında belirlenirler.

Toleranslar, üretim araçlarının neden olduğu değişmelerin belirlenmesine ve daha uygun araçların seçilebilmesine yardımcı olurlar. Böylece öncelikle toleranslar yaratılır ve buna bağlı olarak, alt kontrol limitleri ve üst kontrol limitleri belirlenir.

Toleranslar bir mamulün kalite düzeyini belirleyen özelliklerdir. Dar tolerans limitleri yüksek maliyet, geniş tolerans limitleri düşük maliyetin ifadesidir. Toleranslar dünyada ISO 9000 standartlarına göre düzenlenmektedir. Türkiye’de TSE’ce hazırlanan tolerans limitleri uygulanmaktadır. Bir proses kararlı bir haldeyse prosesin tabii varyasyonu sayısal olarak  $\pm 3 s$  ifade eder.

### **1.2.2. Normal Faaliyet Şartları**

Belirtilen hammaddelerin kullanılması, operatörlerin eğitimi ve mesleki tecrübeleri gibi bilgiler onaylandığında (imalat) prosesinin faaliyete başlamasıyla ortaya çıkan şartlardır. Burada sadece makinelerden kaynaklanacak bir değişkenlik söz konusudur.

### **1.3. Yeterlilik İncelemesinin Amacı**

Tüketicileri memnun etmek için üreticiler, tüketicileri memnun edecek kalitede mal ve hizmetleri üretmelidirler. Tüketiciler sürekli olarak aynı kalitede mal veya hizmeti satın alabilecekler mi? Bir partiden diğerine proseste ne gibi değişme olmaktadır Proses yeterliliğinin amacı bütün bu değişmelere cevap olmak üzere aşağıdaki 4 soruyu cevaplamaktır. (Tate,11:1990)

1-Prosesin ortalaması nedir?

2-Prosesin sapması nedir?

3-Prosesin ortalaması zamanla nasıl değişmektedir?

4-Prosesin sapması zamanla nasıl değişmektedir?

Proses ortalaması nedir? Genellikle örnek kullanılarak bir tahmin yapılır.

Prosesin sapması nedir? Çok yaygın kullanılan bir ölçü standart sapmadır. Her zaman normal dağılım göstermesi beklenmemelidir. Normal olmayan bir eğri için hesapladığımız standart sapma, örnek hakkında doğru karar vermemizi engeller. Proses normal bir eğri verecek şekilde değiştirilmeli veya prosesin gerçek dağılımı üzerinde çalışılmalıdır.

Prosesin ortalaması zamanla nasıl değişmektedir? Eğer kontrol grafiğinde herhangi bir yönde sapma varsa başlangıçta iyi olan prosesimiz çok geçmeden sorun yaratabilir.

Prosesin sapması zamanla nasıl değişmektedir? Bu, dört soru içinde kavranması en güç olanıdır. Bir örnek kavramaya yardımcı olabilir. Golfu yeni başlayan biri hedefi 30 metre şaşırabilir. Yeterince pratik yapıldıktan sonra hedeften sapma 10 metreye inebilir.(Proses iyiye gitmiştir.)

#### **1.4 Metodun Faaliyet Alanı**

Proses yeterlilik araştırması endüstride geniş bir şekilde uygulanmaktadır. Endüstrilerde çoğu problemler aşağıdaki kategorilerden bir veya birkaçını kapsamaktadır. (Tarver, 176)

1. Kalite: Üretilmiş olan birimlerde çok fazla kusurlu çıkması
2. Masraflar: Aşırı ıskarta, yeniden çalışma veya yeniden onarma, az ürün vb durumlardan kaynaklanan masraflar
3. Bilgi Eksikliği: Prosesin meyli, yeni malzemelerin etkisi, metot, vb.
4. Mühendislik Problemleri: Dizayn, spesifikasyonlar, piyasa fiyatı vb.

#### **1.5.Yeterlilik Araştırmasının Cevaplandığı Sorular**

Araştırmadan bilgi elde edildiğinde şu sorular cevaplandırılmalıdır.

1. Proses çalışma süresince kontrol altında mıydı?
2. Proses belirlenen toleransları karşılar mı? Hayır ise nominal değer üzerinde proses ortalamasının merkezlenmesi sağlanmalı
3. Proses spesifikasyonları karşılamada yeterlidir? Hayır ise proses yayılımını azaltmak ekonomik olarak mümkün müdür?

Bütün yeterlilik çalışmaları önceden sorular cevaplandırılmak suretiyle dikkatlice planlanmalıdır. Veriler onları cevaplandırmak için bir sistematik düzen içinde toplanmalıdır.

## **1.6. Proses Yeterlilik Analizinde Faaliyetlerin Düzenlenmesi**

Proses yeterlilik analizinde faaliyetlerin düzenlenmesi aşağıdaki şekilde gerçekleşir.

### **1.6.1. Proses Yeterliliğinde Çalışma Planı**

Bir yeterlilik çalışması üç adımdan oluşur(Hradesky,1988:104).

1. Mevcut metotların gözden geçirilmesi
2. Çalışma sahasının tarifi
3. Veri toplama metotlarını geliştirilmesi

Plan safhasında ilk iş mevcut imalat ve muayene metotlarını gözden geçirmektir.

#### **1.6.1.1. İmalat Metotları**

İmalat Metotları gözden geçirildiğinde şunlar yapılmalı

- 1.Parçaların nasıl yapıldığı veya bir araya getirildiği (montaj) bilinmeli
- 2.Çalışmada kullanılmış olacak parçaların özellikleri veya karakteristikleri belirtilmeli ve şu karakteristikler nitelik veya değişken olarak tespit edilmeli
- 3.Çalışma yapılan proses bir üretim prosesi ise :
- 4.İmalatın tipi(kesme,öğütme,delme,genişletme,zımbalama,vb)
- 5.Makinelerin sayısı
- 6.Düzeltilmelerin otomatik veya elle mi yapılacağı
- 7.Faaliyetin dönüş zamanı
- 8.Kullanılan operatör ve makine sayıları ve prosesin çalışma süresinde kaçının nasıl

değiştirdiği gibi bilgiler değerlendirilmelidir.

#### **1.6.1.2. Muayene Metodu**

Bu grupta parçaların ölçülmesi, test edilmesi şeklindeki yollardan biri ile yapılan muayene metodu gözden geçirilmelidir. Bu aşamada:

- 1.Muayene dokümanları gözden geçirilmeli
- 2.Parçaların ölçümü, muayenesi veya testinin nasıl yapıldığı tarif edilmeli
- 3.Muayene yeterlilik çalışması gözden geçirilmeli

Sonuçlar kabul edilmez ise düzeltici önlemler alınmalı.

### **1.6.1.3 Çalışma Sahasının Tarif Edilmesi**

#### **1. İncelenecek Özellikler Seçilmeli**

Proses yeterliliği her bir özellik için tarif edilebildiğinden aynı parçalar kümesinden mümkün olduğunca çok çalışmalı. Eğer altı özellik bir parçada ölçülmüşse altı proses yeterlilik çalışması aynı anda tanımlanmalı.

2. İncelenen özellikler değişken veriler mi veya niteliksel veriler mi olacak belirtilmeli

3. İncelenen montaj faaliyetleri veya makine sayısı belirtilmeli (Çalışma genellikle her bir makine veya montaj faaliyeti için gerçekleştirilir.

#### **4. İncelenen insan sayısı belirtilmeli (Operatörler ve muayene ediciler)**

Genellikle yalnız bir kişi bir kerede incelenmektedir. Eğer inceleme iki makine ve iki operatörü ihtiva ediyorsa ve operatörler operasyondan etkileniyorsa o zaman tam bir süreç hesaplaması için dört çalışma gerekir. (Her makine ve operatör kombinasyonu için) Eğer makine otomatik ayarlanıyorsa o zaman tesadüfi olarak bir operatör seçilmeli her bir makine incelemesinde kullanılmalı.

#### **5. Yapılmasına müsaade edilecek düzeltme faaliyetleri belirtilmelidir.**

### **1.6.1.4. Veri Toplama Metotlarının Geliştirilmesi**

Toplanacak veriler 1.3 no lu başlık altında incelediğimiz sorulara cevap verebilecek şekilde düzenlenmelidir.

### **1.6.1.5. Örneklerin Sayısı ve Örnek Seçimi**

Bir proses incelemesi için gereken örnek büyüklüğü kullanılan analiz metoduna bağlı olarak 25'den 1250 parçaya kadar olabilir. Normal ihtimaliyet kağıdı minimum birbirini izleyen 25 parça ister.  $\bar{X}$  ve R kontrol grafikleri n=5 olmak üzere 25 kez, p grafiği n=50 olmak üzere 25 kez, c grafiği 1'den 5'e kadar 25 kez örnekleme yapılmasını gerektirir (Hradesky, 110:1988). Örnekler, proses yeniden çalışmaya başlamadan önce seçilmelidir.

### 1.6.1.6. Veri Toplama Formları

Formlar verileri hızlı bir şekilde kaydetmeye uygun olmalı ve kolayca düzenlenmeli. Aşağıda örnek bir veri toplama formu sunulmuştur.

**Tablo: 1.1. Örnek Bir Veri Toplama Formu**

Mamul Adı Karakteristiği		İmalatın Yapılış No İş merkezi		Ölçmenin Yapıldığı Zaman						
Ölçülen Birim		Belirlenmiş Günlük Üretim		Makine No						
Spesifikasyon Lim.	Mak	Örnekler	Ölçüsü Aralık	Makine No						
	Min			Operatör						
Tarih	Grup No	Ölçülen Değerler					$\Sigma X$	$\bar{X}$	R	Yorumlar
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>				
	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									

## **1.6.2. Faaliyetlerin Yürütülmesi**

Çalışmanın yürütülmesi aslında veri biriktirmeden ibarettir. Veriler uygun şekilde düzenlendiğinde hem proses hem de çalışanlar hazırlanmalı.

### **1.6.2.1. Prosesin Hazırlanması**

1. Muayene yeterlilik çalışması yeniden incelenmeli. Proses yeterlilik çalışması yapılmadan önce kabul edilebilir muayene yeterlilik çalışması gereklidir.

2. Ölçme cihazının kalibrasyonu

3. Makine veya proses normal şartlar altında kurulmalı. Normal çevre ve malzemelerin kullanımı sağlanmalı. Yeni malzemeler ve metotlar kullanılmamalı.

4. Kontrolör tarafından ilk parçalar muayene edilip ve de kabul edildiğinde çalışma parçalar spesifikasyon aralığında üretildiği sürece durdurulmalı.

5. Çalışma süresince herhangi bir yeniliği, farklılığı veya değişimi kaydetmek için bir sonuç defteri tutulmalıdır.

### **1.6.2.2. Çalışanların Hazırlanması**

1. Eğitilmiş bir operatör ve kontrolör seçilmeli

2. Operatör ve kontrolör ile çalışma tartışılmalı. Çalışmanın amacı tarif edilmeli ve veri toplama kaydetme metotlarının detaylı bir açıklaması yapılmalı.

3. Operatörün rolü açıklanmalı. Çalışma süresince operatörün yapmasına müsaade edilen düzeltmeler açıklanmalı. Operatörün ana fonksiyonundan birisi prosesdeki herhangi bir değişikliği sonuç defterine kaydetmektir.

4. Kontrolörün rolü açıklanmalı

Kontrolör parçaları kontrol eder, ölçer ve tanımlar ve veri toplama formuna kaydeder. Üretilen parçaların kaydedilme düzeni önemlidir. (Bir numara ile onları tanımlar)

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

#### 2.1. İstatistiksel Proses Kontrolü Nedir?

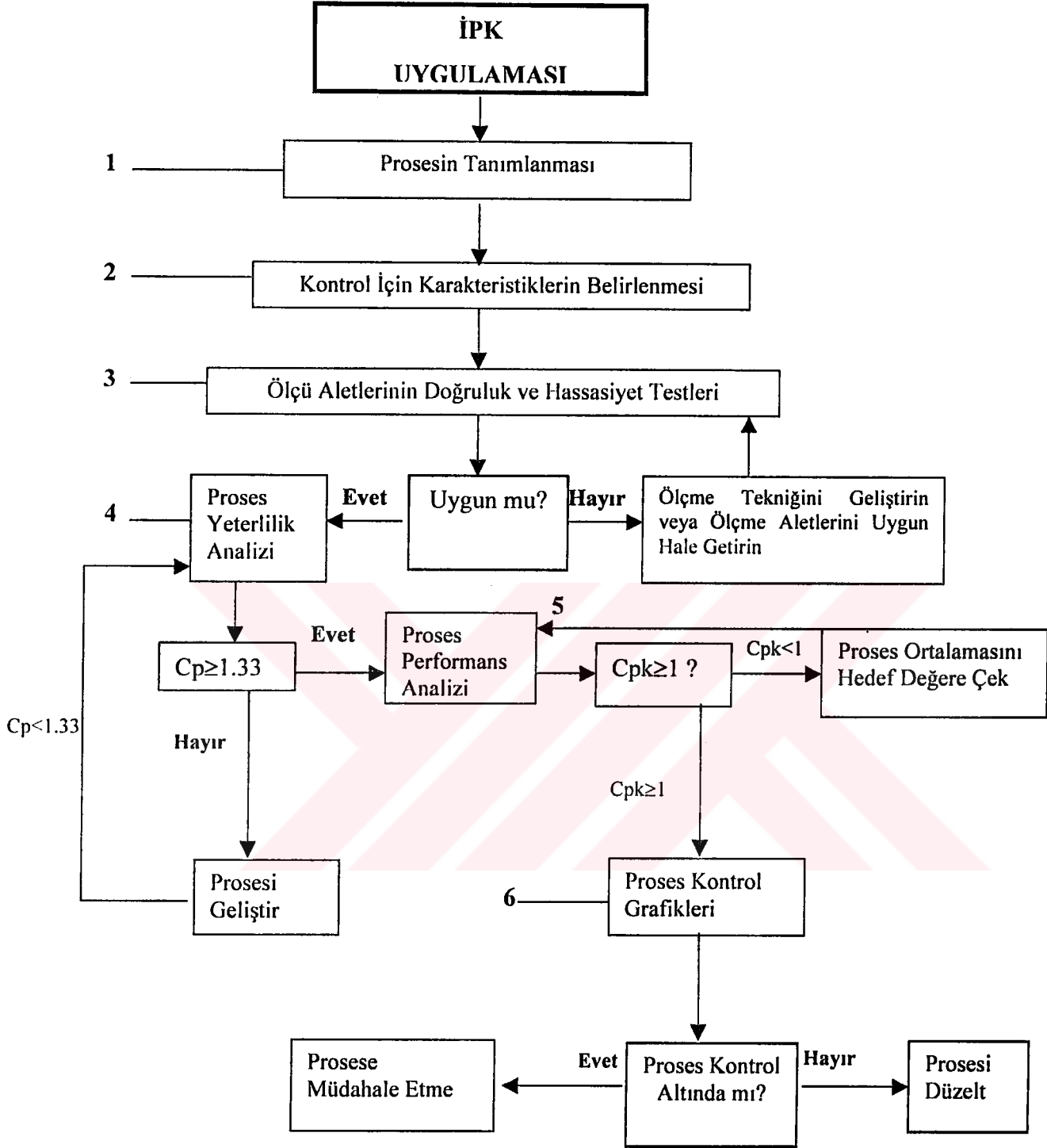
İstatistiksel proses kontrol (İPK) bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir tarzda üretilmesini sağlamak amacıyla, istatistiksel prensip ve tekniklerin üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır. (Akın, 1996:2) İstatistiksel proses kontrol, üretimin önceden belirlenmiş kalite spesifikasyonlarına uygunluğunu sağlayan, standartlara bağlılığı hedef alan, kusurlu ürün üretimini en aza indirmekte kullanılan bir araçtır. İstatistiksel proses kontrol, basit bir muayene ve kontrol işlemi olmayıp, amacı sadece kusurları yakalamak değil, aynı zamanda kusurlu ürün üretimini engellemektir.

İstatistiksel proses kontrol teknikleri satın alınan malzemelerdeki, metotlardaki, proseslerdeki, makinelerdeki, ürünlerdeki ve insan faktöründeki değişimleri kontrol altına almak niceliksel ve niteliksel özelliklerini ölçmek amacıyla sayısal veriler kullanarak sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir.

İstatistiksel proses kontrol çalışmasını altı aşamaya ayırabiliriz. (Contello, Charnes, Evan, 1992:7)

- 1-Prosesin tanımlanması.
- 2-Kontrol edilecek olan karakteristiklerin belirlenmesi.
- 3-Ölçü aletlerinin test edilmesi ve kalibrasyonu.
- 4-Proses yeterlilik analizi.
- 5-Proses performans analizi.
- 6-Proses kontrol grafikleri.

Bir İstatistiksel proses kontrol uygulamasını şekil 2.1. de ki gibi gösterebiliriz.



**Şekil 2.1. İstatistiksel Proses Kontrolün Akış Diyagramı (Dilbaz,84)**



## **2.2. İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri**

İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri, kalite probleminin çözümünde yaygın olarak kullanılan ve özellikle proses kontrolü amacıyla kullanılan yedi yöntemdir.

- 1.Çetele Tablosu
2. Histogram
- 3.Pareto Analizi
- 4.Neden-Sonuç Diyagramı
- 5.Kusur Konsantrasyon Diyagramı (Gruplandırma)
- 6.Dağılma Diyagramı
- 7.Kontrol Grafikleri

Bir firma genelindeki kalite ile ilgili sorunların %95'i bu araçlar kullanılarak çözülebilir.

### **2.2.1. Çetele Diyagramı (Kontrol Tablosu)**

Kontrol tablosu verilerin toplanırken kaydedildiği bir formdur. Bu tablolar, proses kontrolünde hangi verilerin,nereden,ne zaman, kim tarafından, hangi araçlar kullanılarak toplanacağını göstermek üzere proses kontrol ve geliştirme çalışması yapacak grup tarafından basit ve pratik bir şekilde hazırlanır

Uygun bir form üzerinde çetele tutularak kaydedilen veriler dağılımın şekli hakkında bilgi verirler. Tepe noktaları (mod) sayısı basıklık ve çarpıklık durumu, uç değerlerin varlığı veya kesikli durumların olup olmadığı, spesifikasyonlar (toleranslar) dışına taşmaların varlığı açıkça görülebilir.

Proses kontrol programının ilk safhasında hazırlanacak kontrol tablosu, prosesin özelliğine göre farklı şekillerde düzenlenebilir. Boyut, ağırlık,çap, gibi değişkenlik gösteren niceliksel verileri toplamak için kullanılabilen bir kontrol tablosu ve de nitel verileri toplamak için kullanılan bir kontrol tablosu örneği tablo 2.1 ve 2.2'de görülmektedir.

**Tablo: 2.1. Niceliksel Veri Toplamak İçin Kullanılan Çetele Tablosu**

Ürün Adı:															Tarih				
Ürün Kodu:															Saat:				
Parti No:															Veri Toplama:				
Toplam Adet:															Düşünceler:				
Örnek Sayısı:																			
Boyut Ölçüleri	2.2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4				
50	ASL												ÜSL						
45																			
40																			
35																			
30																			
25																			
20																			
Frekans Sayısı	1	3	7	9	13	15	19	20	16	14	12	8	4	3	1				

**Tablo 2.2. Niteliksel Veri Toplamak İçin Kullanılan Çetele Tablosu**

Ürün Adı:															Tarih				
Ürün Kodu:															Saat:				
Parti No:															Veri Toplama:				
Toplam Adet:															Düşünceler:				
Örnek Sayısı:																			
Hata Türü	Çetele														Hatalı Adet				
Kesme Hatası															6				
Selefon Baskı Hatası															9				
Baskı Hatası															15				
Kağıt(Bozuk)Hatası															8				
Kırma Hatası															7				
Harman Hatası															5				
Toplam Hata															50				

### 2.2.2. Histogram

Histogram özel bir grafik türüdür. Birbirine yapışık sütunları olan bir diyagramdır. Histogram sadece bir çeşit ölçümün sonucunu göstermek üzere oluşturulur.

Histogramlar, spesifikasyon ve sonuç arasındaki ilişkilerin araştırılmasında, normal olmayan verilerin belirlenmesinde, malzeme ve değişik verileri (alet vs.) sınıflandırarak üretim süreci içerisinde değişikliklere neden olan faktörlerin gözden geçirilmesinde kullanılmaktadır.

Bir histogram çiziminde şu adımlar izlenir (Şişecam, 1989:28).

- 1.Konuyla ilgili tüm veriler toplanır. Parti büyüklüğü belirlenir. Parti büyüklüğü aynı zamanda ana kütle olarak da adlandırılır ve “N” ile gösterilir.
- 2.Parti büyükse örnekleme yapılır. Örnek büyüklüğü “n”belirlenir.
- 3.Örnekteki tüm elemanlar ölçülerek bir tabloya kaydedilir.
- 4.Tablodaki en büyük ve en küçük değerler belirlenir. Aralarındaki fark aralık olarak tanımlanır “R”ile gösterilir.
- 5.Histogramdaki kolon sayısı belirlenir. Aşağıdaki şekilde veri sayısına göre tavsiye edilen kolon sayıları gösterilmiştir.
- 6.Histogram çizilir.

**Tablo 2.3. Veri Sayısına Göre Yapılacak Gruplandırma Adedi**

Kolon Sayısı	Veri Sayısı
5-7	0-50
6-10	50-100
7-12	100-250
10-20	250 ve yukarı

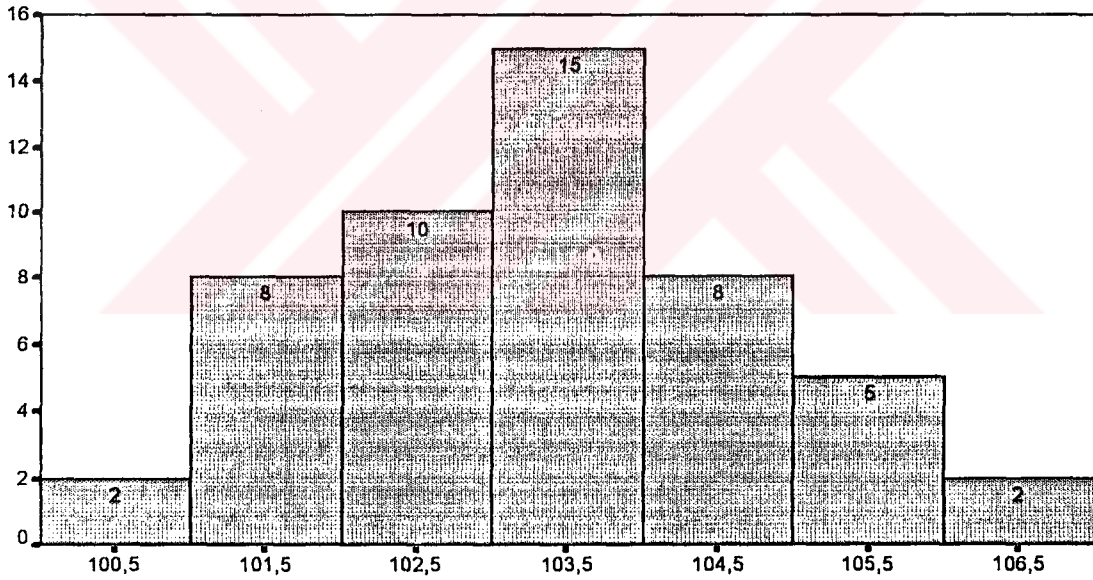
**Örnek 2.1.** Cam bardağı üreten bir firmanın müşterileri bardakların 100 gr'dan daha hafif olmasını istemediğinden prosesin bunu sağlaması için, makinalar 103gr'a ayarlanmıştır. Ancak çeşitli nedenlerden ötürü bardaklar farklı ağırlıkta olacaktır.

N=100 adetlik bir anakütleden rastgele seçilen n=50 birimden oluşan bir numune alınarak, bu numunedeki çay bardakları teker teker tartılmış ve kaydedilmiştir.

**Tablo 2.4. Örneğe Ait Veri Tablosu**

Ağırlık (kg)	Adet
100-101	2
101-102	8
102-103	10
103-104	15
104-105	8
105-106	5
106-107	2

Histogramı çizelim. Yatay eksen de ağırlığı (gr), düşey eksen de ise (sütun yüksekliği olarak) adedi gösterelim. Bu anlatılanları histogram olarak göstermek istediğimizde aşağıdaki şekli elde ederiz.

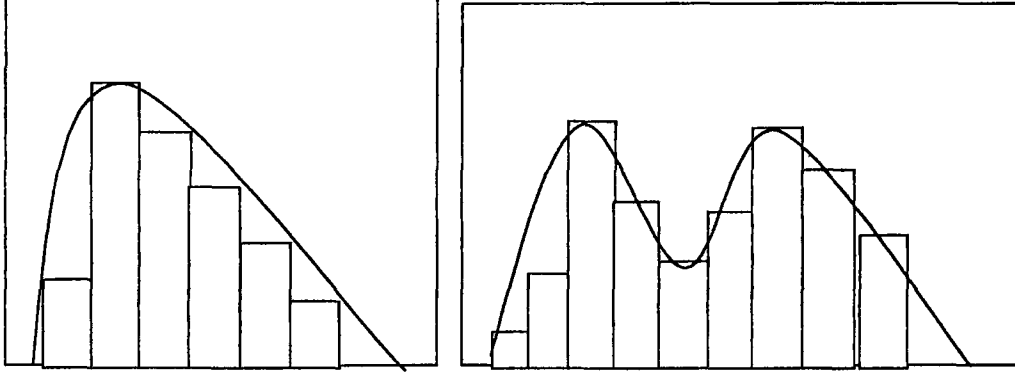


**Şekil 2.2. Şişelere Ait Verilerden Elde Edilen Histogram**

Başlıca 3 tür histogramla karşılaşabiliriz.

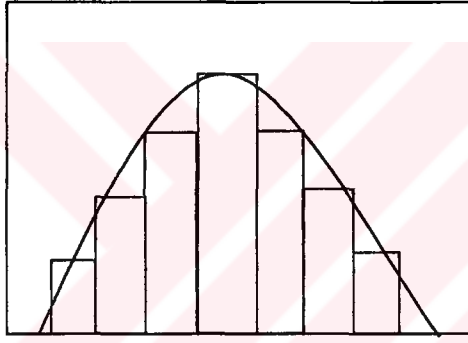
- 1) Çarpık Histogram: bir tarafa meyillidir. Çünkü dağılımın büyük bir kısmı bir tarafta toplanmıştır. Şekil 2.3-a

- 2) İki tepeli Histogram: İki ayrı makine kullanılması, iki farklı kaynaktan malzeme temini gibi nedenlerle oluşur. Şekil 2.3-b
- 3) 'Normal' dağılım eğrisine benzeyen histogram. Şekil 2.3-c



a. Sağa Çarpık Histogram

b. Çift Modlu Histogram



c. Normal Dağılım Eğrisine Benzeyen Histogram

### Şekil 2.3. Başlıca Histogram Çeşitleri

#### 2.2.3. Pareto Analizi

Wilfredo Pareto 19.yy.da Avrupa'da servet dağılımını incelemiş ve servetin %80 inin nüfusun %20 sinin elinde, servetin geri kalan %20 si ise toplumun %80 inin elinde olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle bu teknik 80-20 kuralı olarak ta tanınmaktadır. Pareto adı ile anılan bu teknikle pek çok benzer analiz yapılabilir. (Kane,1989:344-345) Örneğin;

1. Müşteri şikayetlerinin %80 i üretimin %20 sinden kaynaklanır.
2. Kalite hatalarının %80 i üretim prosesinin %20 lik kısmında ortaya çıkar.
3. Makine verimliliğindeki kayıpların %80 i işlemlerin %20 sinden kaynaklanır.

4. Tedarikçi kalite hatalarının %80 i tedarikçilerin %20 sinden kaynaklanır.
5. Kazaların %80 i faaliyetlerin %20 sinden kaynaklanır.
6. Satışların %80 i müşterilerin %20 sine yapılır, gibi daha pek çok örnek vere biliriz.

Bir pareto analizinin aşamaları şöyledir:

1. Verilerin toplanacağı zaman aralığı belirlenir.
2. Hangi verilerin toplanacağına karar verilir.
3. Veri toplama formu düzenlenir. Bu bir kontrol tablosudur.
4. Veriler forma kaydedilir.
5. Veriler kullanılarak pareto diyagramı çizilir.

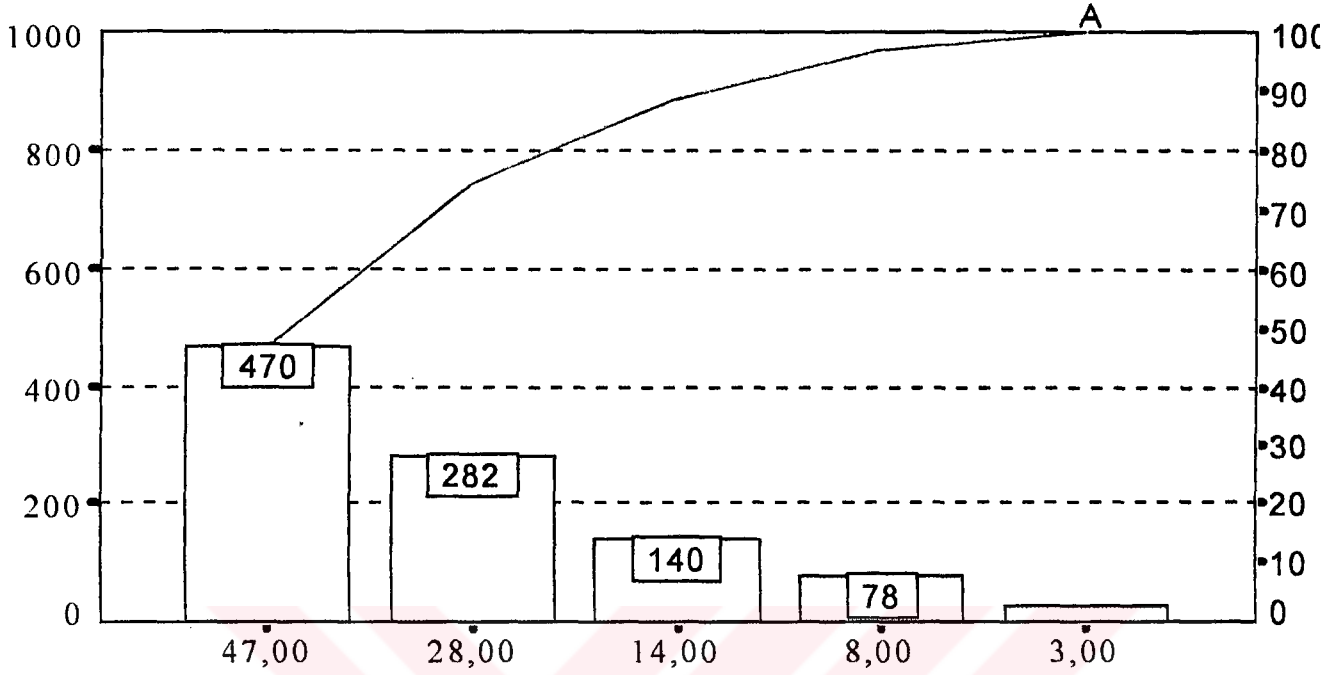
**Örnek 2.2.** (Şişecam, 1989:37): Bir şişe fabrikasında bir IS makinasının bir vardiyada yaptığı üretimden alınan örneklerde bulunan toplam 1000 adet hatalı şişenin hata türlerine göre dağılımı şöyle bulunmuştur.

**Tablo 2.5. Bir Şişe Üretim Prosesinde Elde Edilen Kusur Miktarları**

No	Hata Türü	Hatalı Adet	Yüzde
1	Ağız Çatlağı	470	%47
2	İnce Cidar	282	%28
3	Taş	140	%14
4	Dip Oturmazlığı	78	%08
5	Eğri Boyun	30	%03
Toplam		1000	%100

Görüldüğü gibi 2 hata türü toplam hatalı miktarın %75 ini oluşturmaktadır. Bulduğumuz bu sonuçları pareto diyagramında gösterelim. Diyagramın yatay ekseninde şişe hatalarının türleri, dikey ekseninde ise hatalı adetler ve yüzdeleri verilmiştir. Sütunların yüksekliği hata adetlerine göre değişir. Kırık çizgi birikimli hata yüzdesi (birikimli hata adeti) eğrisidir. A noktası 1000 adeti yani %100' ü gösterir.

Bazı durumlarda hatanın adetinden çok hatanın önemi ehemmiyet kazanır. O zaman hata adetleri bir ağırlık katsayısı ile örneğin birim maliyetlerle çarpılarak hataların maliyetlere göre sıralaması yapılabilir ve Pareto diyagramı çizilebilir.



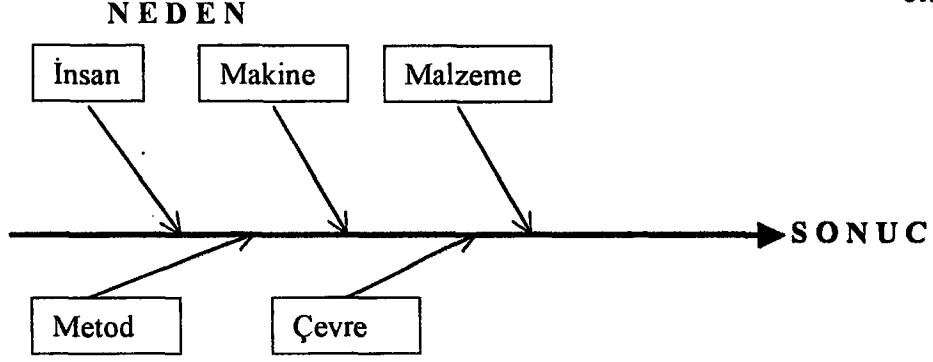
**Şekil 2.4. 1000 Hatanın Dağılımını Gösteren Pareto Grafiği**

#### 2.2.4. Neden-Sonuç Diyagramı

Neden-Sonuç analizi aslında beyin fırtınasının özel bir türüdür. Burada beyin fırtınası konusu, çözümlenmek istenen sorundur. Sorun bir kutunun içine yazılır ve bu sorunun ana nedenleri birer dal halinde Şekil 2.5 deki gibi gösterilir.

Genelde malzeme, işgücü, metot, makine ve çevre, nedenleri belirtmek için yeterli olur. Daha sonra beyin fırtınası oturumları başlatılır ve herkes fikrini hangi ana dalın kapsamı içinde kaldığında belirterek söyler. Sonuçta ortaya balık kılıçına benzeyen bir şekil çıkar. Bu nedenle bu tekniğe ‘Balık Kılıçığı’ analizi de denir.

Balık kılıçığında sorunun muhtemel nedenleri belirlenmiş olur. Bunların içinde önemli olanları önemsizlerden ayırmak için beyin fırtınasında olduğu gibi iki kez oylama yapılır. 1.turda belirli sayının üzerinde oy alan nedenler 2.tur öncesi tartışmaya açılır. Bu tartışma sonucunda ikinci tur oylama yapılır ve en önemli neden (ya da nedenler) belirlenmiş olur.

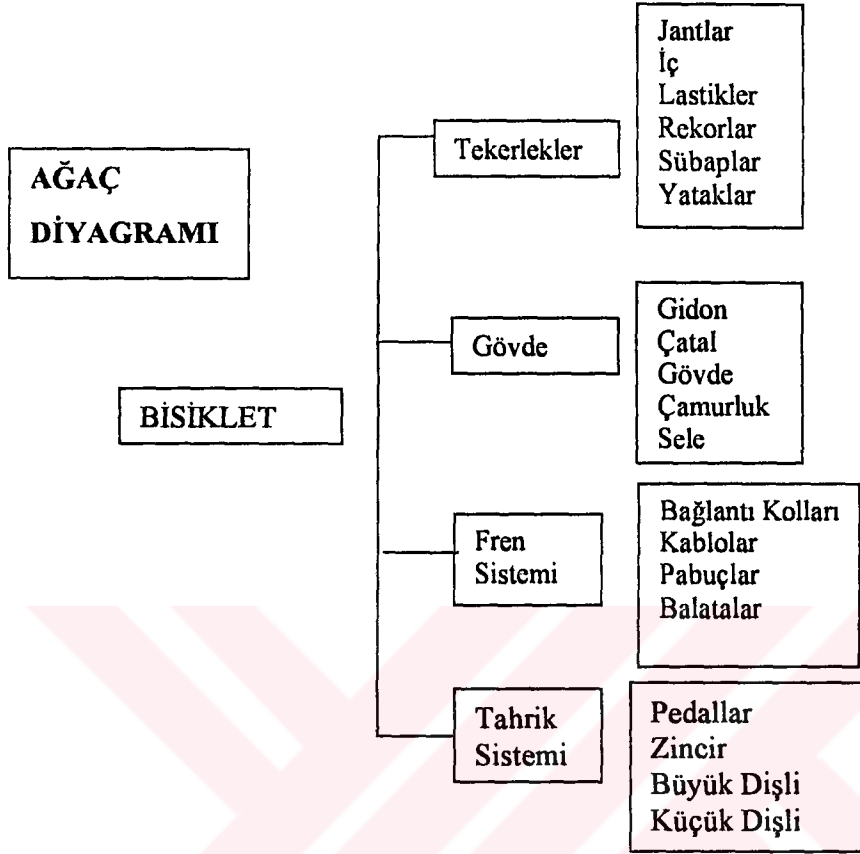


**Şekil 2.5 Neden-Sonuç Diyagramı**

### 2.2.5. Gruplandırma

Problemi meydana getiren nedenlere inmek için kullanılan etkin bir araçtır. Verilerin tamamına bakıldığında sorun açıkmiş gibi görünür, fakat veriler daha küçük parçalara ayrılmadıkça güçlüğüne ne olduğunu belirlemek oldukça zordur. Gruplandırma tekniği ile bir bütünü parçalara ayırarak her bir parçayı daha iyi inceleyebiliriz. Gruplandırma tek başına bir sorunu çözmeyebilir ama çözüme ulaşmada yardımcı olur. Aşağıdaki örnekte bunun temel prensipleri gösterilmektedir.





### Şekil 2.6. Bir Bisiklete Ait Sorunun Tespit Edilmesi

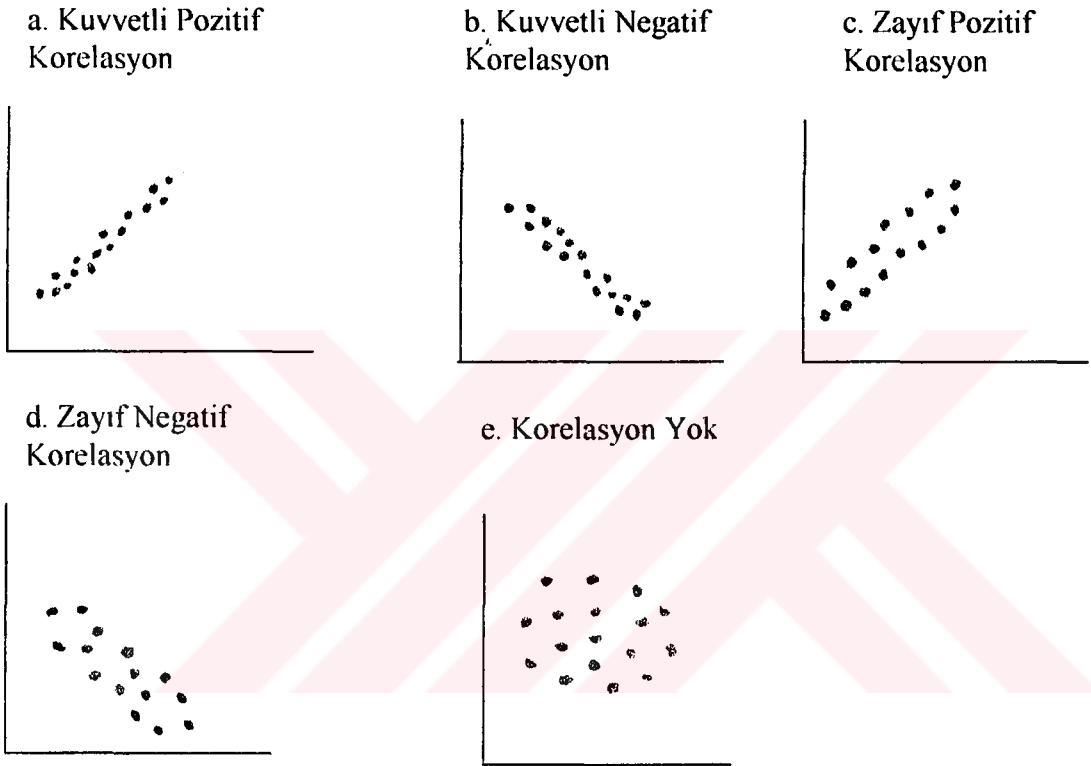
Temel istatistiksel tekniklerden çetele, histogram, pareto, neden-sonuç analizi ile gruplandırma birbirini tamamlayan bir özelliğe sahiptir.

#### 2.2.6 Dağılım Diyagramı (Serpilme)

Dağılım diyagramları genellikle iki cins veri arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. X ve Y olarak gösterdiğimiz iki istatistik serisinin artış ve azalışları birbirini etkiliyorsa bu iki seri arasında korelasyon vardır demektir.

Uygulamada genellikle bir ürünün karakteristiğinin üretim prosesinin karakteristiği ile ilişkisi olup olmadığı araştırılır. Kalite problemleri çoğunlukla bu ilişkinin bozulması sonucu ortaya çıkar.

İkili ilişkiye neden olan değişken “X eksenine”, bu değişkene bağlı olarak değişen ve sonuç olarak değerlendirilen değişkende “Y eksenine” yerleştirilmektedir. X ve Y değerlerinin kesiştiği yere bir nokta konmaktadır. Oluşan bu noktalar demeti incelenerek aralarında bir ilişki olup olmadığı yorumlanmaktadır. Karşılaşılabileceğimiz dağılma diyagramları çeşitleri aşağıda gösterilmiştir. Bunlar yardımıyla dağılma diyagramlarını yorumlanabilir (Akın,1996:69).



**Şekil 2.7 Dağılma Diyagramında Karşılaşılan Durumlar**

Şekil 2.7.a' ya göre Y' de meydana gelebilecek artışlar X'e bağlıdır. X kontrol altında tutulursa Y' de kontrol altında tutulacaktır.

Şekil 2.7.b' ye göre ilişki kuvvetli negatif korelasyonu belirtmektedir. X' deki bir artış Y' de azalmaya neden olacaktır. Burada X kontrol altında tutulmalıdır.

Şekil 2.7.c' ye göre Burada X dışında Y' ye etki eden diğer faktörler düşünülebilir. X arttıkça Y' de artacaktır ancak bu artış öncekine göre daha zayıf olacaktır.

Şekil 2.7.d' ye göre X' deki bir artış Y' de azalma şeklinde bir eğilim ortaya koyabilir.

Şekil 2.7.e' ye göre X ve Y arasında herhangi bir ilişki (korelasyon ) yoktur.

Dağılıma diyagramları, iki değişken arasındaki ilişkiyi göstermek, neden-sonuç analizi ile belirlenen nedenleri doğrulamak, sorunları belirlemek geleceğe yönelik tahmin yapmak amacıyla kullanılabilir.

### 2.2.7. Kontrol Grafikleri

Doğada ve insan etkisi ile meydana gelen tüm olaylarda değişkenlik normal ve kaçınılmaz bir sonuçtur. İmalatta bu gerçek göz önüne alınarak dizayn aşamasında kalite spesifikasyonları için belirli kurallara göre tolerans limitleri belirlenir. Boyut, şekil, performans vb. spesifikasyonların önceden belirlenen limitler arasında değişme göstermesi peşinen normal kabul edilir. Eğer değişmeler limit dışına taşarsa nedenler araştırılır ve prosesin tekrar kontrol altına girmesini sağlayacak düzeltici önlemler alınır.

Kontrol grafiklerinin ilk kullanılması 1920'lerde Bell Telefon Laboratuvarlarında çalıştığı sırada Dr.A. Walter Shewhart tarafından keşfedildiği için bu adla anılan Shewhart kontrol grafikleridir. Shewhart kontrol grafikleri istatistiksel proses kontrolünde çok sıkça kullanılmaktadır. Proseste değişime neden olan nedenleri araştırmada en etkin araç kontrol grafikleridir. Shewhart kontrol grafiklerinde ilgilenilen değişkenin normal dağılım gösterdiği farz edilmektedir. (Seppala, 1995:139)

Kontrol grafikleri, mamulün gerçek kalite spesifikasyonlarını, geçmiş tecrübelere dayanarak belirlenen limitlere göre kronolojik (gün,saat,hafta,vb.) olarak kıyaslamaya yarayan grafiklerdir. (Feigenbaum,1961:25)

Bir proseste değişkenliği doğuran nedenler iki gruba ayrılır: (Kobu,1989:573-574)

1. Tesadüfi Değişkenlik: Olay üzerindeki etkileri bir kurala bağlanamayan ve tamamen tesadüfi olarak ortaya çıkan faktörlerdir. Belirsizlik nedeni ile varlıklarının tespiti ve etkilerinin ölçülmesi çok güç hatta imkansızdır. Örneğin bir parçanın işlenmesinde boyutların duyarlılığını etkileyen hava sıcaklığı, malzemenin metalurjik yapısı, işçinin dikkat ve ustalığı, aydınlatma, titreşim vb. faktörler bu gruba girerler. Şans faktörlerini tespit edip etkilerini gidermeye çalışmak hem teknik hem de ekonomik açıdan mümkün değildir.

Şans faktörlerinin olay üzerinde hangi limitler arasında değişimler meydana getireceğini bilmek ve bunu kontrol altında tutmak her bakımdan daha uygun bir tutumdur.

2. Sistemik Değişkenlik: Olayların sadece bir kısmı üzerinde etkili olurlar. Varlıkları sürekli olmayıp zaman zaman ortaya çıkarlar. Etkileri nispeten büyük ölçüde değişimler meydana getirir Bu özel faktörler üretim prosesini belirli bir yöne iten , kontrol dışına çıkaran ve nedeni tespit edilebilen değişimlerdir.

Örneğin; Makine parçalarındaki aşınmalar, Dağılan bir rulman, kopan bir civata, bozuk bir buhar vanası gibi makine arızaları.

Kontrol grafikleri aksaklığı en kısa zamanda haber veren çok etkili araçtır. Ancak kontrol grafiklerinin sadece aksaklığın varlığını bildirmesi , onu bulup ortadan kaldıramaması unutulmamalıdır. Aksaklığın ortadan kaldırılması usta, teknisyen, mühendis ya da başka yetkilinin görevidir.

Kontrol grafiklerinde üç tane çizgi bulunur.

ÜKL:Üst kontrol limiti

AKL: Alt kontrol limiti

OÇ: Ortalama (merkez) çizgisidir.

Kontrol limitlerinin dışındaki noktalar tipik özel sebep belirticisidir.

Farklılığa yol açan başlıca beş varyasyon kaynağını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.  
(Akın,1996:)

1- Prosesler (İşlemler): Başlıcaları, aletin yıpranması, makinanın titreşmesi, çalışma pozisyonu, elektrik dalgalanmaları vs.

2- Malzemeler: (Yapısı,ölçüsü ve sertliği vb)

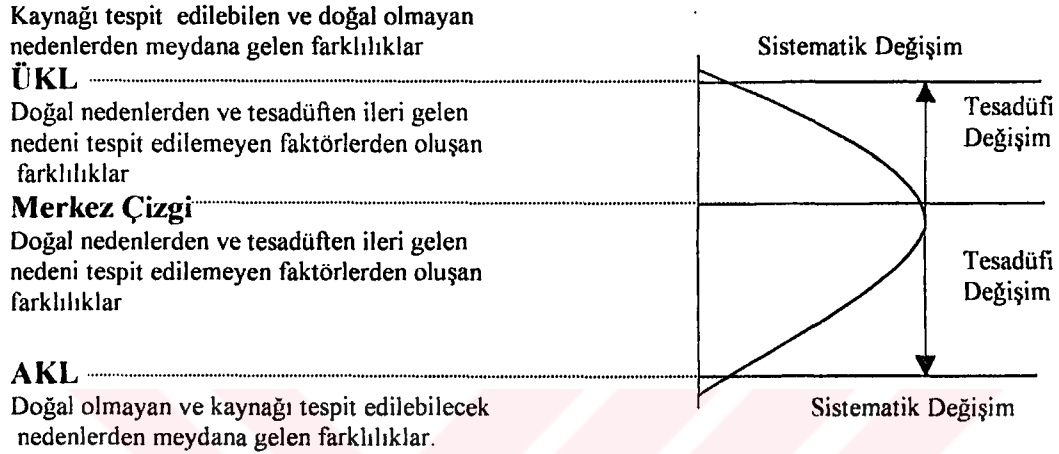
3- Çevre Şartları: (sıcaklık,voltaj stabilizesi vb)

4-Operatör: (Tezgah ayarı, konumlama hassasiyeti, kullanım talimatına uyma derecesi,yöntem, beceri, fiziksel ve ruhsal durumu vs gibi etkenler.)

5-Muayene: (Hatalı muayene ekipmanı, Kalite standardının yanlış uygulanması, farklılıkların hatalı şekilde rapor edilmesi, buna neden olabilir) Bu değişkenlik kaynağının etkisi genel olarak 1/10 kadar kabul edilebilir.

Bu saydığımız beş değişkenlik kaynağı beklenen bir şekilde dağıldığında proseste tesadüfen kaynaklanan farklılıklara neden olurlar. Bunları kısaca “doğal nedenler” olarak

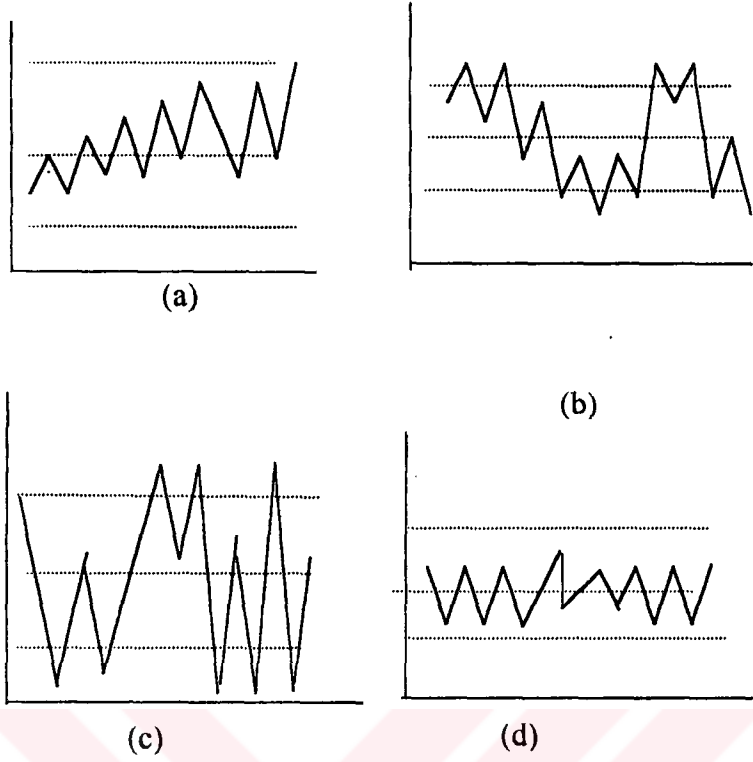
isimlendirebiliriz. Bunlar prosesin tabiatında bulunan ve tesadüften meydana gelen nedeni tespit edilemeyen kaynaklardan oluşan farklılıklardır. Bunların yanında, ürünlerin kalitesinin ortalama değerini veya dağılımını değiştirebilen, ürünlerde belirtilen spesifikasyonların dışında değişkenliklere neden olan ve kaynağı tespit edilebilen “doğal olmayan nedenlerde” bulunmaktadır.



Bir işlemde sadece tesadüfi faktörler rol oynuyorsa herhangi bir değişken normal bir dağılım gösterir. Bu alan içerisinde yer alan ihtimaller toplam ihtimallerin %99,73'ünü kapsar. Doğal nedenlerden veya tesadüften meydana gelen ve nedeni tespit edilemeyen değişkenlikler 0.99734 ihtimal değerine, nedeni tespit edilebilen ve doğal olmayan nedenlerden kaynaklanan değişkenlik  $1-0.9973=0.0027/2=0.00135$  ihtimal değerine eşdeğerdedir.

Bir kontrol grafiğinde tüm noktaların limitler arasında bulunması her zaman prosesin kontrol altında olduğu , her şeyin yolunda gittiği anlamına gelmez. Bunun aksi durumda yani noktaların sık sık limitler dışına taşması halinde de prosesin kontrol altında olmadığı her zaman söylenemez. Proses karakteristiğinin değişmesini veya yanlış hesaplama ihtimallerini göz önünde bulundurmak gerekir.

Aşağıdaki şekillerde Shewhart grafiği normal dışı davranış testleri gösterilmektedir. (Kobu,1987:345)



**Şekil 2.9. Shewhart Normal Dışı Davranış Durumları**

a) Proses karakteristiği yukarıya doğru bir değişme göstermektedir. Nedenleri araştırarak düzeltme veya değişime uygun yeni limitleri belirleme yoluna gidilmelidir.

b) Proses karakteristiği periyodik olarak değişmektedir. Her periyot için ayrı kontrol limiti belirlenmesi gerekir.

c) Limitler dışında taşma çok sık meydana geldiğinden özel faktör arama yerine limitlerin yanlış hesaplama sonucu dar tespit edilme ihtimali üzerinde durulmalıdır.

d) Görünüşte proses tam anlamıyla kontrol altındadır. Ancak tüm noktaların orta çizginin yakınında bulunması kuşku vericidir. Limitler arasındaki uzaklığın gereğinden geniş hesaplanması ihtimali vardır

### 2.2.7.1. Ölçülebilen Kalite Özellikleri (variables) $\bar{X}$ -R Grafikleri

Bunlar uzunluk, ağırlık, hacim, vs gibi alet ve cihaz yardımıyla ölçülebilen ve rakamlarla ifade edilen özelliklerdir. Bu grafiklerde kontrol limitleri standartların belli olması ve olmaması halleri için ayrı ayrı eşitliklerle belirlenir.

### 2.2.7.1.1. Standartların Belli Olması Halinde Kontrol Grafikleri

Bir üretimde standartlar önceden belirlenmişse kontrol grafiklerinin çizimine esas olacak Orta Çizgi, Üst Kontrol Limiti ve Alt Kontrol Limitlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller tablo 2.6'da olduğu gibidir.

**Tablo 2.6 Standartların Belli Olması Halinde Kullanılan Formüller**

Grafik Türü	Orta Çizgi	AKL	ÜKL
$\bar{X}$ Grafiği	$\mu$	$\mu - A\sigma$	$\mu + A\sigma$
$\sigma$ Grafiği	$\bar{\sigma}$	$B_1\sigma$	$B_2\sigma$
R Grafiği	$\bar{R} = d_2\sigma$	$D_1\sigma$	$D_2\sigma$

Burada  $\mu$  ana kütle ortalaması,  $\sigma$  ise ana kütle standart sapmasıdır.

(A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, d<sub>2</sub>, C<sub>2</sub> değerleri için Ek Tablo C-D-E' ye bakınız.)

### 2.2.7.1.2. Standartların Belli Olmaması Halinde Kontrol Grafikleri

Standartlar önceden belirlenmemişse kontrol limitleri örnek verilerine dayanılarak hesaplanır. Ölçülebilen özellikler için kontrol limitlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller tablo 2.7' de verilmektedir.

**Tablo 2.7. Standartların Belli Olmaması Halinde Kullanılacak Formüller**

Grafik Türü	Orta Çizgi	Alt Kontrol Lim.	Üst Kontrol Lim.
Ortalama	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
Değişim Genişliği	$\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$D_4\bar{R}$
Standart Sapma	$\bar{\sigma}$	$B_3\bar{\sigma}$	$B_4\bar{\sigma}$

(A<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> katsayılarının değeri için Ek tablo C-D-E' ye bakınız.)

#### 2.2.7.1.2.1 $\bar{X}$ ve R Kontrol Grafiği

$\bar{X}$  grafiği ortalamadan sapmaları, R grafiği ise homojenlikten sapmaları gösterir.

$\bar{X}$  grafiğinde noktaların limitler dışına çıkması prosesin kontrol dışına çıktığını gösterir. Bunun başlıca sebepleri ;

1. Makine ayarının yanlış olması
2. Kullanılan malzemenin değişmiş olması

3.Kullanılan tekniğin değişmiş olması

4.Gereksiz veya yanlış operatör müdahalesi vs.dir.

R grafiği değişkenlik miktarının bir ifadesidir. Noktaların limitler dışına çıkması;

1.Makinede yetersiz bakım

2.Tecrübesiz makine operatörü gibi sebeplere dir.

**Örnek 2.3.** Bir silindir çekme prosesinde silindirin dış çapları ölçülerek bir  $\bar{X}$  ve R kontrol tablosu oluşturulmuştur. Silindirin dış çapını belirlemek için her saatte n=5 örnek ölçülmüştür. Aynı zaman periyodunda k=30 grupta veriler toplanmıştır. Kontrol tablosu üzerindeki 150 veriden prosese ait  $\bar{X}$  ve R kontrol grafiğini çizerek prosesin kontrol altında olup olmadığını inceleyelim.

**Tablo 2.8. Örnek Veri Tablosu**

7/16	1	27	24	28	27	26	132	26.4	4	
	2	25	26	29	28	23	131	26.2	6	
	3	23	27	25	24	27	126	25.2	4	
	4	26	25	28	25	27	132	26.2	3	
	5	25	29	25	26	24	129	25.8	5	
	6	22	23	29	24	23	121	24.2	7	
7/17	7	28	27	25	26	26	132	26.4	3	
	8	24	27	27	26	24	128	25.6	3	
	9	24	27	26	24	23	124	24.8	4	
	10	26	26	25	27	25	129	25.8	2	
	11	25	30	23	28	27	135	26.6	7	
	12	23	28	25	24	22	122	24.4	6	
7/18	13	25	26	23	26	24	124	24.8	3	
	14	25	27	23	26	27	128	25.6	4	
	15	24	24	25	25	23	121	24.2	2	
	16	24	27	23	28	27	129	25.8	5	
	17	28	29	25	26	24	132	26.4	5	
	18	26	28	27	25	28	134	26.8	3	
7/19	19	30	26	30	28	32	146	29.2	6	
	20	26	29	27	27	28	137	27.4	3	
	21	28	26	24	25	25	128	25.6	4	
	22	25	27	24	26	27	129	25.8	3	
	23	27	29	26	25	23	130	26.0	6	
	24	25	24	28	26	21	124	24.8	7	
7/20	25	26	25	26	27	25	129	25.8	2	
	26	23	24	27	24	28	126	25.2	5	
	27	25	26	30	20	27	128	25.6	10	
	28	23	27	24	28	22	124	24.8	6	
	29	27	23	24	25	24	123	24.6	4	
	30	25	25	26	24	28	128	25.6	4	
$\bar{X}$ Kontrol Grafiği	R Kontrol Grafiği						Toplam=771.6			
$ÜKL = \bar{X} + A_2 \bar{R}$	$ÜKL = D_4 \bar{R}$									
$AKL = \bar{X} - A_2 \bar{R}$	$AKL = D_3 \bar{R}$						$\bar{X} = 25.72 \quad \bar{R} = 4.53$			



**Adım 1:**  $\bar{X}$  'nin hesaplanması  $\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \dots + x_n}{n}$   $\bar{X} = \frac{27 + 24 + 28 + 27 + 26}{5}$

=26.4 diğer gruplarda aynı tarz hesaplanır.

**Adım 2:** R' nin Hesaplanması: R=(x'in Mak. değeri-x'in Min. değeri) R=28-24 diğer gruplarda benzer şekilde hesaplanır.

**Adım 3:** Merkez Çizginin Hesaplanması

$\bar{X}$  Kontrol Grafiği =  $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{x}}{k}$   $\bar{\bar{X}} = \frac{771.6}{30} = 25.72$

R Kontrol Grafiği =  $\bar{\bar{R}} = \frac{\sum R}{k}$   $\bar{\bar{R}} = \frac{136}{30} = 4.53$  k burada grupların sayısıdır.

A<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, ve D<sub>4</sub> değerleri gruplardaki n sayısına bağlı olarak Ek tablo C-D-E' den elde edilir.

**Adım 4:** Kontrol Limitlerinin Hesaplanması

$\bar{X}$  Kontrol Grafiği

Üst Kontrol Limiti (ÜKL) =  $\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{\bar{R}}$  = 25.72 + (0.577)(4.53) = 28.33

Alt Kontrol Limiti (AKL) =  $\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{\bar{R}}$  = 25.72 - (0.577)(4.53) = 23.11

**Adım 5:** R kontrol grafiği

Üst Kontrol Limiti (ÜKL) =  $D_4 \bar{\bar{R}}$  = (2.11)(4.53) = 9.56 ≈ 9.6

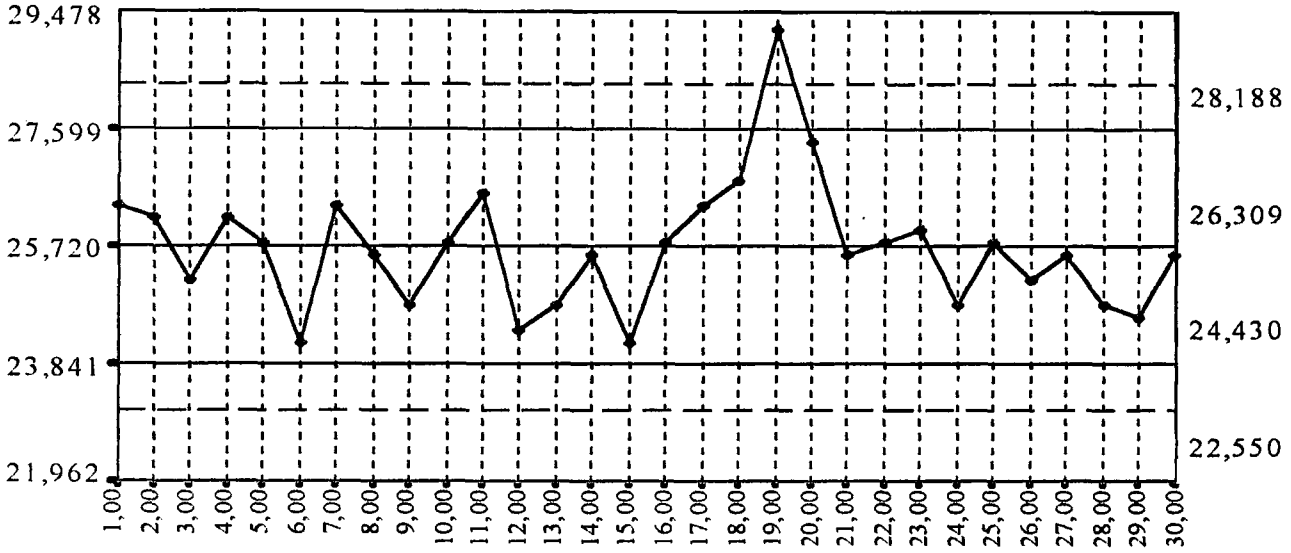
Alt Kontrol Limiti (AKL) =  $D_3 \bar{\bar{R}}$  = 0

**Adım 6:** Proses Hakkında Karar Verilmesi

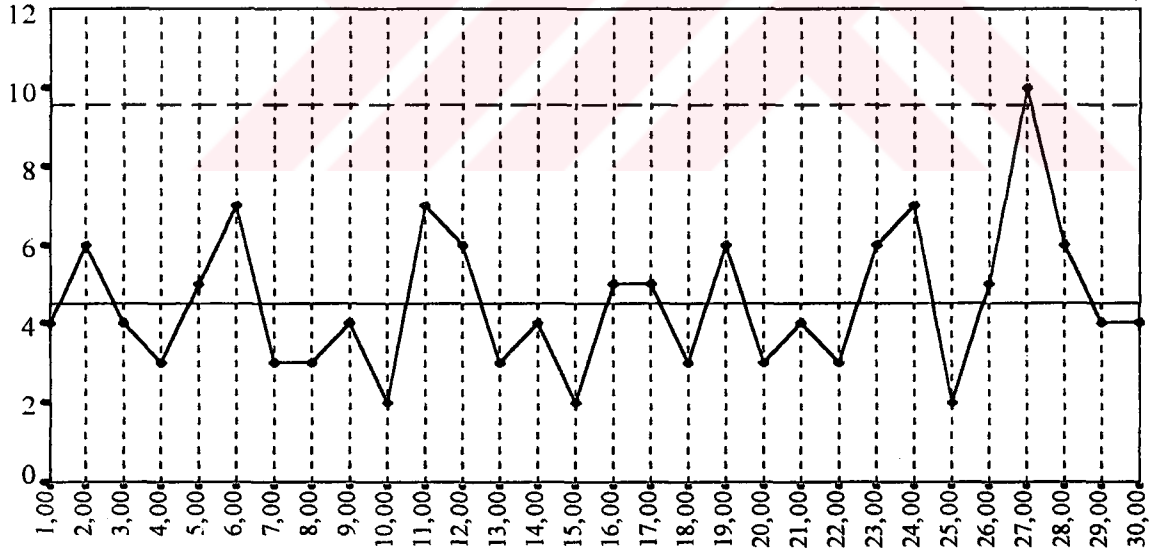
$\bar{X}$  grafiğinde 19. grup ÜKL'ni aşmaktadır ve R kontrol grafiğinde 27. grup

ÜKL' ni aşmaktadır. Bu prosesin kontrol altında olmadığını gösterir.

Bu prosese ait çizilen kontrol grafikleri şekil 2.10 ve 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.10  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği



Şekil 2.11. R Kontrol Grafiği

### 2.2.7.1.2.2 $\bar{X}$ , S Kontrol Grafikleri

Üretimden alınan örneklerin büyüklükleri 10 veya daha fazla ( $n \geq 10$ ) olduğunda R grafiği yerine S grafiği kullanılır.

Kontrol limitleri aşağıdaki biçimde hesaplanır.

m adet örneğin standart sapmalarının ortalaması  $\bar{S}$  olmak üzere,  $\frac{\bar{S}}{C_4}$ ,  $\sigma$ 'nın bir tahmin edicisidir. Bu durumda S grafiği için kontrol limitleri,

$$\text{ÜKL} = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2}$$

$$\text{OÇ} = \bar{S}$$

$$\text{AKL} = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2}$$

Bu eşitliklerde de,  $1 - 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} = B_3$  ve  $1 + 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} = B_4$  yazılırsa S grafiği için kontrol limitleri aşağıdaki gibi olur.

$$\text{Ü.K.L.} = B_4 \bar{S}$$

$$\text{O.Ç.} = \bar{S}$$

$$\text{A.K.L.} = B_3 \bar{S}$$

$B_3$ ,  $B_4$  katsayıları da çeşitli  $n$  değerleri için Ek Tablo E' de verilmiştir.

$\bar{X}$  Grafiği için limitler şöyledir.

$$\text{Ü.K.L.} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{S}}{C_4 \sqrt{n}}$$

$$\text{O.Ç.} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{A.K.L.} = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{S}}{C_4 \sqrt{n}} \text{ olur. (Kartal, 73; 1999)}$$

Bu eşitliklerde  $A_3 = \frac{3}{C_4 \sqrt{n}}$  yazılırsa bu sınırlar

$$\text{Ü.K.L.} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$$

$$O.Ç = \bar{\bar{X}}$$

A.K.L =  $\bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$  olur. Burada çeşitli n değerleri için  $A_3$  ün alacağı değerler Ek Tablo C'den elde edilir.

**Örnek 2.4** Bir üretim prosesinden 10 ar birimlik 15 örnek şansa bağlı olarak alınmış ve kontrol edilecek kalite özelliğine ait ölçüm değerleri belirlenerek aşağıdaki tablo düzenlenmiştir. (Kartal, 76; 1999)

**Tablo 2.9 Örneğe Ait Veri Tablosu**

Örnek No	Ölçüm Değerleri										$\bar{X}$	S
1	54	56	56	56	55	51	52	54	56	49	53.9	2.47
2	54	52	50	57	55	56	55	56	53	50	53.8	2.49
3	53	54	57	56	52	53	47	58	55	54	53.9	3.07
4	52	55	54	55	56	56	53	53	54	55	54.3	1.34
5	55	52	53	56	55	50	54	53	55	55	53.8	1.81
6	57	54	53	52	53	52	52	54	53	55	53.5	1.58
7	54	53	55	52	52	54	55	54	53	55	53.7	1.16
8	56	53	57	56	54	58	57	56	54	54	55.5	1.65
9	55	55	55	56	53	54	57	54	55	54	54.8	1.14
10	54	53	56	53	55	53	53	57	54	53	54.1	1.45
11	53	55	57	56	55	59	54	53	54	55	55.1	1.85
12	54	55	58	55	54	56	53	51	55	59	55	2.31
13	56	55	55	55	55	54	53	54	55	54	54.6	0.84
14	53	52	55	54	53	53	52	53	57	53	53.5	1.51
15	53	51	55	50	55	57	54	56	54	55	54	2.16

$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$  ve  $S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$  eşitlikleri kullanılarak bu 15 örneğe ait  $\bar{X}$  ve S değerleri

hesaplanır. Bulunan değerler yukarıdaki tabloda en sağ sütuna yazılır.

$\bar{\bar{X}}$  ve  $\bar{S}$  ise şu şekilde hesaplanır.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{x}}{k} = \frac{53.9 + 53.8 + \dots + 54}{15} = \frac{813.5}{15} = 54.23$$

$$\bar{S} = \frac{\sum S}{k} = \frac{2.47 + 2.49 + \dots + 2.16}{15} = \frac{26.83}{15} = 1.789$$

#### $\bar{X}$ Grafiği İçin Kontrol Sınırları

$$\text{Ü.K.L.} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} = 54.23 + (0.975)(1.789) = 55.97$$

$$\text{O.Ç.} = \bar{\bar{X}} = 54.23$$

$$\text{A.K.L.} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} = 54.23 - (0.975)(1.789) = 52.49$$

#### S Grafiği İçin Kontrol Sınırları

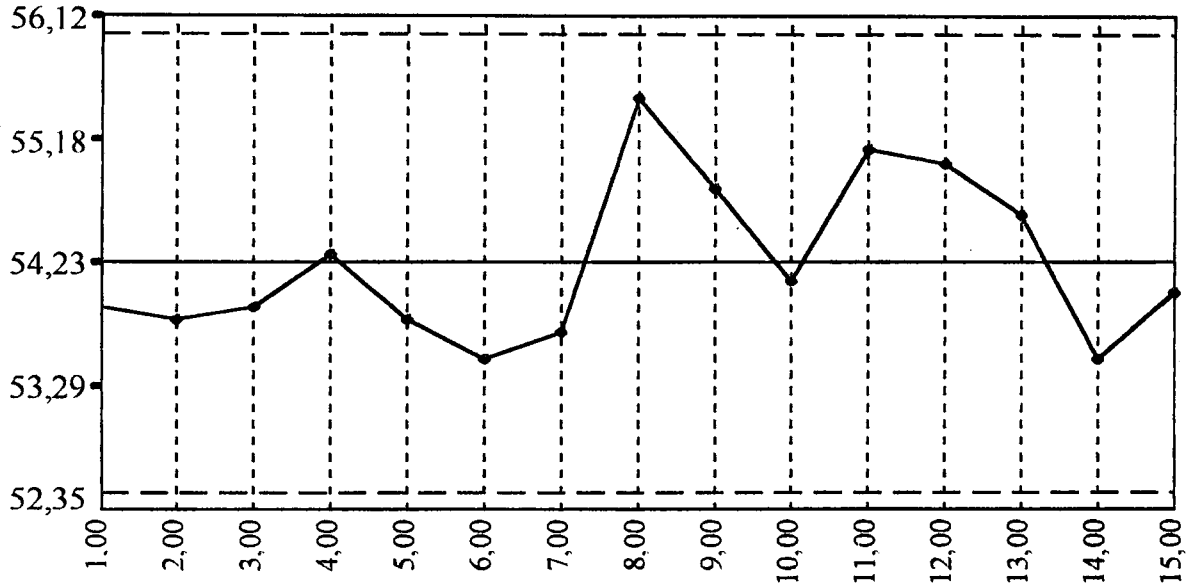
$$\text{Ü.K.L.} = B_4 \bar{S} = (1.716)(1.789) = 3.070$$

$$\text{O.Ç.} = \bar{S} = 1.789$$

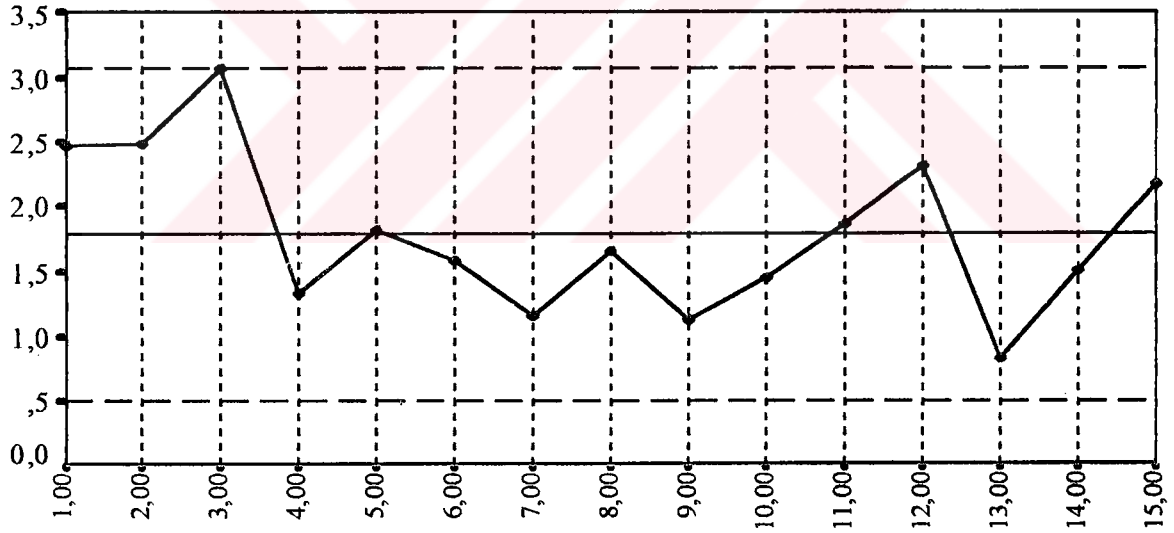
$$\text{A.K.L.} = B_3 \bar{S} = (0.284)(1.789) = 0.508$$

$A_3$ ,  $B_3$  ve  $B_4$  değerleri Ek Tablo C ve E'den elde edilir.

Bu sonuçlara göre çizilen  $\bar{\bar{X}}$  ve  $\bar{S}$  grafikleri şekil 2.12 ve 13' de gösterilmektedir.



Şekil 2.12.  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği



Şekil 2.13. S Kontrol Grafiği

S Grafiğinde 3 nolu grafiğe ait S değeri üst kontrol sınırına tekabül etmiştir. Örnek içindeki bu değişkenliğin sebebinin tespit edilmesi ve gerekli düzeltmenin yapılması gerekir.

### 2.2.7.2. Ölçülemeyen Özelliklerin Hesaplanmasında Kullanılan Kontrol Grafikleri

-Ölçülemeyen kalite özellikleri (attributes): Bunlar kırık, çatlak, bozuk, kokulu, lekeli, pürüzlü, vs. gibi duyu organlarımız aracılığıyla değerlendirilebilen özelliklerdir.

Tablo 2.10. Ölçülemeyen Özellikler İçin Kontrol Limitleri Tablosu

Grafik Türü	Orta Çizgi	Kullanıldığı Yer	A.K.L	Ü.K.L
p	$\bar{p}$	Kusurlu oranı	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
np	$n\bar{p}$	Kusurlu sayısı	$n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
c	$\bar{c}$	Kusur sayısı	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$\bar{u}$	Birim başına kusur sayısı	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

p ve np kontrol grafikleri hatalı parça adetlerinin takibinde u ve c kontrol grafikleri ise bir parçadaki hata adedinin takibinde kullanılmaktadır. Bu grafikler için kabul edilen istatistiksel dağılımlar şöyledir. (Juran,1979:23-19)

p grafiği: Binomial

np grafiği: Binomial

u grafiği: poisson

c grafiği: poisson

#### 2.2.7.2.1. p Kontrol Grafiği

p grafikleri kontrol edilen özelliklerin ortalamasını belirler.  $\bar{X}$  grafiklerine göre daha az ayrıntılı kontrol cihazları kullanılır. Daha ucuzdur. Tek kart kullanılır. Daha az

sıkıcı hesaplamalar gerektirir.  $\bar{p} = \frac{\text{Kusurlu Birim Sayısı}}{\text{Kontrol Edilen Birim Sayısı}}$  formülü ile elde edilir.

**Örnek 2.5** Bir fabrikanın ürettiği ürünlerden 20 haftalık üretim dönemi boyunca alınan örnekler üzerinde yapılan incelemelerde belirlenen kusurlu parça sayıları ve oranları tabloda 2.11’de yer almaktadır.

**Tablo 2.11. Örneğe Ait Veri Tablosu**

Haftalar	Örnek Hacmi ( $n_i$ )	Kusurlu Parça Sayısı	Kusurlu Parça Oranı ( $p_i$ )
1	820	55	0.067
2	860	67	0.078
3	832	71	0.085
4	840	82	0.098
5	845	49	0.058
6	852	51	0.060
7	855	53	0.062
8	853	56	0.066
9	849	61	0.072
10	848	65	0.077
11	850	66	0.078
12	838	62	0.074
13	841	63	0.075
14	839	70	0.083
15	846	39	0.046
16	842	57	0.068
17	841	55	0.065
18	828	52	0.062
19	833	58	0.070
20	834	60	0.072
Toplam	16846	1192	
Ortalamalar	842.3	59.6	0.071

Tablodaki bilgilerden hareketle kusurlu parça oranı  $\bar{p} = \frac{1192}{16846} = 0.071$  ve

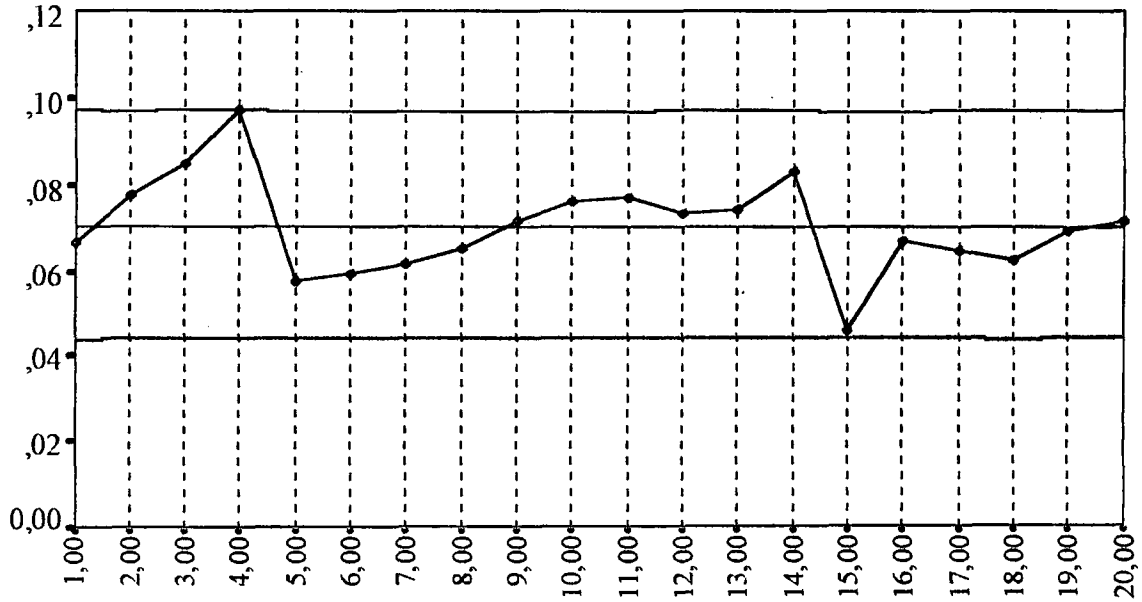
$$\bar{n} = \frac{16846}{20} = 842.3 \text{ hesaplanarak formüllerde yerine konursa}$$

$$\text{ÜKL} = 0.071 + 3(0.00885) = 0.098$$

$$\text{AKL} = 0.071 - 3(0.00885) = 0.0445$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0.071)(1 - 0.071)}{842.3}} = 0.0085$$





**Şekil 2.14 p Kontrol Grafiği**

Grafik incelendiğinde görüleceği üzere 4 hafta ÜKL'ni aşmaktadır. Proses kontrol altında değildir.

Nitelikler için hazırlanan diğer bir grafik türü np kontrol grafiğidir. Burada üretim seyrini izlemek ve proses kontrolü yapabilmek için alınan örnek gruplarının eleman sayıları birbirinin aynısı olup örneklem hacimlerine eşittir.

**Örnek 2.6.** Aks mili üreten bir fabrikada her gün 100 adetten oluşan örnek grupları üretimden alınmakta ve gözle muayene edilerek kusurlu sayısı tespit edilmektedir. On beş gün süreyle bu fabrikanın üretiminden alınan örneklere ait kusurlu sayıları tablo2.12'de verilmiştir.

**Tablo 2.12. Örneğe Ait Veri Tablosu**

Örnek No:	Örnek Büyüklüğü	Kusurlu Sayısı
1	100	9
2	100	8
3	100	13
4	100	6
5	100	16
6	100	10
7	100	17
8	100	14
9	100	7
10	100	12
11	100	14
12	100	15
13	100	11
14	100	16
15	100	12
Toplam		180

Tablodaki verileri kullanarak kusurlu oranı ( $\bar{p}$ ) hesaplandıktan sonra ÜKL ve AKL

hesaplanarak np kontrol grafiği çizilir.  $\bar{p} = \frac{\text{Kusurlu Sayısı}}{\text{Toplam Örnek Büyüklüğü}} = \frac{180}{(15)(100)} = 0.12$

$$n\bar{p} = (100)(0.12) = 12 \text{ Ortalama Kusur Sayısı}$$

$$\sigma = \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} = \sqrt{(100)(0.12)(0.88)} = 3.25$$

$$\text{ÜKL} = n\bar{p} + 3\sigma = (100)(0.12) + 3(3.25) = 21.75$$

$$\text{AKL} = n\bar{p} - 3\sigma = (100)(0.12) - 3(3.25) = 2.25$$



**Şekil 2.15 np Kontrol Grafiği**

Kontrol grafiğine göre limitler dışında hiçbir nokta yoktur. Proses kontrol altındadır.

#### 2.2.7.2.2. c Kontrol Grafiği

İstatistiki olarak veriler poisson dağılımı gösteriyorsa c ve u grafikleri kullanılır. Çıktı başına düşen hatalı sayısını kontrol etmek için c grafiği kullanılır. Birim başına hatalı sayısı c olduğundan standart sapması  $\sqrt{c}$  ye eşittir.  $\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$  formülü elde edilir. Öyleyse

$$c = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k c_i \quad \text{Var}\sigma^2 = \text{Ortalama geliş sayısı } \sigma_c = \sqrt{c} \text{ olur.}$$

**Örnek 2.7.** Paslanmaz çelik levhaların yüzeyindeki kırıklar için (c) kontrol grafiği düzenlenecektir. K=30 için her bir gruptaki kusurluların sayısı tablo 2.13'de verilmiştir. (Asaka,1990:224)

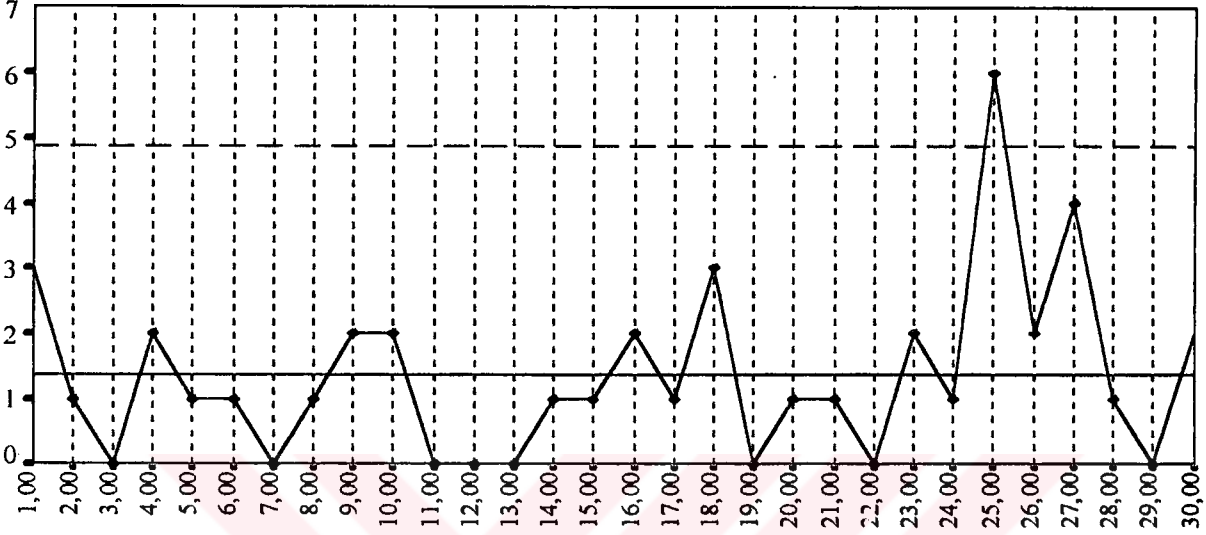
**Tablo 2.13. Örneğe Ait Veri Tablosu**

No	c	No	C	No	c	No	c	No	C	No	C
1	3	6	1	11	2	16	2	21	1	26	2
2	1	7	0	12	0	17	1	22	0	27	4
3	0	8	1	13	0	18	3	23	2	28	1
4	2	9	0	14	1	19	0	24	1	29	0
5	1	10	2	15	1	20	1	25	6	30	2
<b>Toplam</b>											<b>41</b>

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{k} \text{ dan Merkezi Çizgi} = 41/30 = 1.37 \quad 3\sqrt{\bar{c}} = 3.51$$

$$\text{ÜKL} = 1.37 + 3.51 = 4.88 \approx 4.9$$

$$\text{AKL} = 1.37 - 3.51 = -2.14 \Rightarrow \text{A.K.L} = 0$$



**Şekil 2.16 c Kontrol Grafiği**

Prosesle ait grafik incelendiğinde 25. nokta kontrol limitlerinin dışında olduğundan, proses kontrol altında değildir.

### 2.2.7.2.3. u Kontrol Grafiği

u kontrol grafiği örnek genişliğinin sabit olmadığı durumlarda, bir birim başına düşen kusur sayısındaki değişimleri incelemeye kullanılır.(Akın,92;1996) Kısaca c çizelgeleri örnek genişliği sabit olduğu durumlarda, u çizelgeleri ise farklı genişliklerdeki örnekler için kullanılır.

**Örnek 2.8.** Halı yapımında kullanılan kumaş üretim prosesinde malzeme yüzeyleri görsel olarak kontrol edilmektedir. Farklı büyüklüklerde halılar olmasından dolayı birim alan başına kusur sayısı kullanılmaktadır.  $k=27$  için c ve n verileri aşağıdaki tabloda verilmektedir. (Asaka,1990:225)

**Tablo 2.14 Örneğe Ait Veri Tablosu**

Malzeme No	Malzeme Boyutu	Hata Sayısı C	Parça Başına Hata Sayısı u	$1/\sqrt{n}$	ÜKL	AKL
1	180	1	0.006	0.006	0.0745	-
2	180	0	0			
3	180	2	0.011			
4	180	1	0.006			
5	180	3	0.017			
6	180	3	0.017			
7	150	2	0.013	0.0816	0.0407	-
8	150	0	0			
9	150	4	0.027			
10	150	2	0.013			
11	150	0	0			
12	150	3	0.020			
13	150	1	0.007			
14	150	0	0			
15	200	3	0.015	0.0707	0.0370	-
16	200	5	0.025			
17	200	1	0.025			
18	200	4	0.020			
19	200	3	0.015			
20	120	2	0.017	0.0913	0.0440	-
21	120	0	0			
22	120	5	0.042			
23	120	1	0.008			
24	120	1	0.008			
25	200	6	0.030	0.0707	0.0370	
26	200	3	0.015			
27	200	2	0.010			
Toplam	4480	58				

$$\bar{u} = \frac{c}{n} \text{ ise } = \frac{1}{180}$$

$$\text{Merkezi Çizgi} = \bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{58}{4.480} = 0.0129 \quad \bar{n} = \frac{\sum n}{k} = \frac{4480}{27} = 165.9$$

Kontrol limitleri;

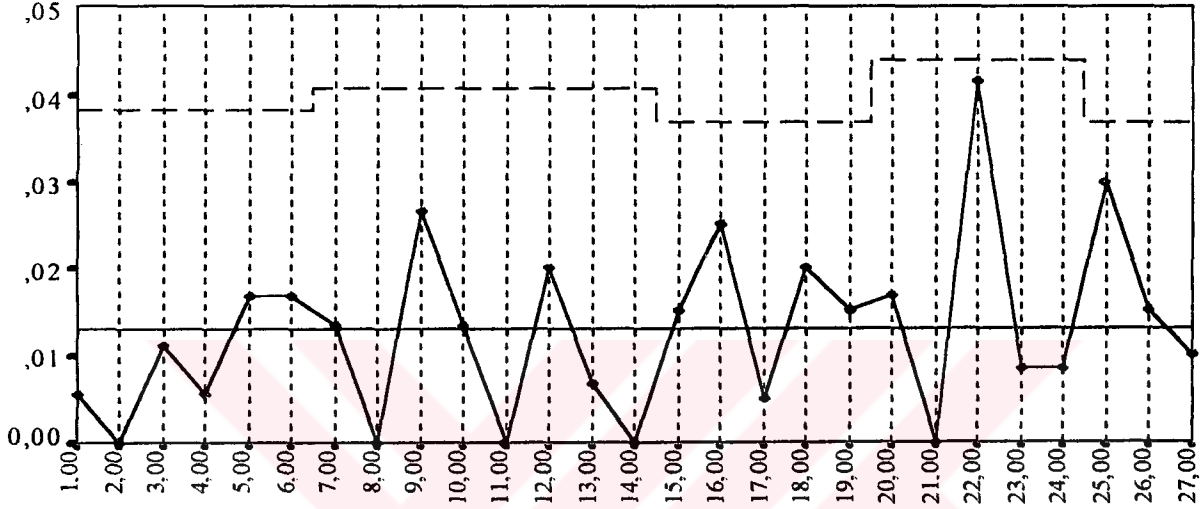
$$\text{ÜKL} = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}\left(\frac{1}{\bar{n}}\right)} \quad 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} = 3\sqrt{\frac{0.0129}{165.9}} = 0.0264 \text{ ise}$$

$$\text{AKL} = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}\left(\frac{1}{\bar{n}}\right)}$$

$$\text{ÜKL} = 0.0129 + 0.0264 = 0.0393$$

$$AKL=0.0129-0.0264=-0.0135 \Rightarrow A.K.L=0$$

Kontrol grafiğinde ayrıca önemli bulunan  $n=120$ ;  $n=150$ ;  $n=180$ ;  $n=120$  değerleri için tabloda yer alan kontrol limitleri hesaplanmış tabloda gösterilmiştir. Tablo 2.13'deki verileri kullanarak çizdiğimiz kontrol grafiğinde limitlerinin dışında bir nokta (22 nolu nokta) görülmektedir. Proses 22 nolu nokta için gerekli tedbirler alınmak suretiyle kontrol altına alınabilir.



Şekil 2.17. U Kontrol Grafiği

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. PROSES YETERLİLİK ANALİZİ

#### 3.1 Genel Açıklamalar

Kontrol altındaki prosesler her zaman için spesifikasyonları karşılamada yeterli olmayabilir. Prosesler aşağıdaki durumlardan birinde bulunabilirler. (Garrity, 97)

1-Proses kontrol altında ve spesifikasyonları karşılamada yeterli. Şekil 3.1-a

2-Proses kontrol altında ve spesifikasyonları karşılamada yeterli değil. Şekil

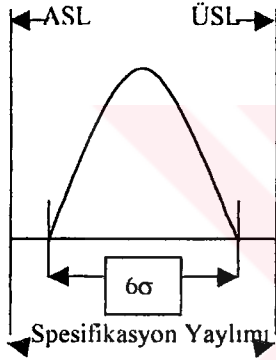
3.1-b

3-Proses kontrol dışında fakat spesifikasyonları karşılamada yeterli. Şekil 3.1-c

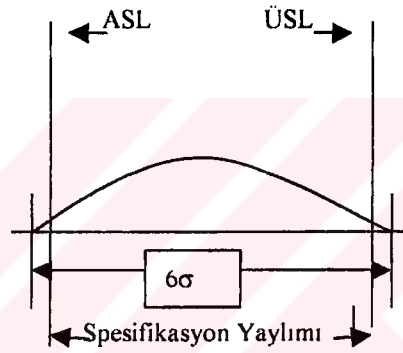
4-Proses kontrol dışında ve spesifikasyonları karşılamada yeterli değil. Şekil

3.1-d

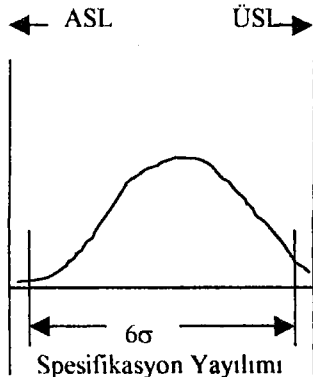
Bu durum aşağıdaki şekiller üzerinde açıklanmaktadır.



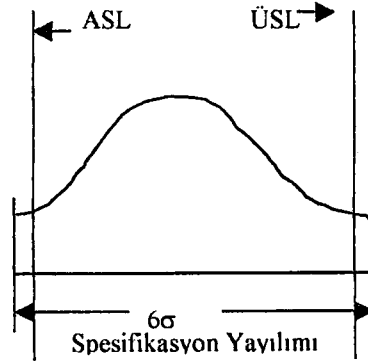
a) Kontrol Altında ve Yeterli



b) Kontrol Altında ve Yeterli Değil



c) Kontrol Dışı ve Yeterli



d) Kontrol Dışı ve Yeterli Değil

Şekil 3.1 Toplanan Verilere Bağlı Olarak Proseslerin Yayılımları

Herhangi bir proseste, istatistiki proses kontrolünü sürdürmek için iki şart söz konusudur.

1-Proses kontrol altında olmalı, başka bir ifadeyle prosesteki değişkenlik  $6\sigma$ 'yı aşmamalıdır.

2-Proses yeterli olmalı yani değişkenlik spesifikasyon aralığına düşmelidir.

### 3.2 Proses Yeterlilik İndisleri

Yeterlilik indisleri prosesin spesifikasyonları karşılayıp karşılamadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Yeterlilik indisleri prosesin yeterliliğini bir tek sayı olarak izah eder. Dolayısıyla bu indisler yardımıyla kolayca prosesin yeterliliği tespit edilebilir.

Herhangi bir prosesin yeterliliğini belirlemede aşağıdaki üç indis kullanılmaktadır. (Garrity,98)

1-Yeterlilik Rasyosu ( $C_r$ )

2-Prosesin Potansiyel Yeterliği ( $C_p$ )

3-Prosesin performansı ( $C_{pk}$ )

#### 3.2.1 Yeterlilik Rasyosu

Yeterlilik rasyosu, prosesteki genel değişkenliğin ( $6\sigma$ ), spesifikasyon yayılımına oranıdır. Yeterlilik rasyosu =  $\frac{(6\sigma)}{\text{Spesifikasyon Yayılımı}}$

Yeterlilik rasyosu verilen herhangi bir proses için %75 veya daha az olmalı.(Garrity,99)

**Örnek 3.1:** Kontrol altında faaliyet gösteren bir proses için  $\bar{U}SL=1,2$  ve  $ASL=-1,2$  ve  $s=0.30$  olsun.

Proses istekleri karşılamada yeterli olabilir mi?

Bu soruyu cevaplandırmak için yeterlilik rasyosu kullanılır.

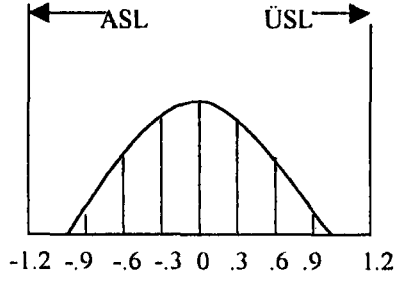
Proses Yeterliliği =  $6s=6(0.30)=1.8$

Spesifikasyon Yayılımı =  $1,2+1,2=2,4$

Yeterlilik Rasyosu =  $\frac{(6\sigma)}{\text{Spesifikasyon Yayılımı}} = \frac{1.8}{2.4} = 0.75$

Böylece proses belirlenmiş spesifikasyonları karşılamada yeterlidir.Bu bilgiye göre proses kontrol altındadır ve ihtiyaçları karşılamada yeterlidir. Proses istatistiksel olarak kontrol altındadır.





Şekil 3.2 Örnek Olaya Ait Prosesin Yayılımı

### 3.2.2 Cp İndisi

Cp daha önce de anlatıldığı üzere prosesin potansiyel yeterliliğidir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} = \text{(Oakland,1992:133)} \quad \text{Standart sapmayı hesaplamak uzun}$$

işlemler gerektirdiğinden onun tahmini olan  $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_n}$  kullanılır.  $d_n$  ise çeşitli örnek büyüklüğüne göre Ek Tablo C'den bulunur.

X normal bir dağılıma sahipse X'in beklenen değeri  $E(X) = \frac{1}{2}(\text{ÜSL} + \text{ASL})$  ye yani spesifikasyonların ortasına eşittir. Bu durumda limit dışı parçaların beklenen değeri  $2\phi(-d/\sigma)$  dir. d ise  $\frac{1}{2}(\text{ÜSL} - \text{ASL})$  dir. Spesifikasyon aralığının yarım boyudur. Bu durumda  $C_p = d/3\sigma$  olduğunu gösterebiliriz.  $C_p = 2d/6\sigma$  dan  $C_p = d/3\sigma$  dir. Dolayısıyla limit dışı mamulün beklenen değeri  $2\phi(-3C_p)$  dir. Eğer  $C_p = 1$  ise beklenen değer 0,0027 dir. Gerçekte ÜSL-ASL farkı  $6\sigma, 8\sigma$  veya  $9\sigma$  ye karşılık olarak  $c=1-1,33-1,5$  değerlerine bağlı olarak  $C_p \leq c$  olması kabul için gerekmektedir. Aşağıda  $C_p$ 'nin seçilen değerlerine bağlı olarak spesifikasyon dışı parçaların  $\{2\phi(-3C_p)\}$  minimum beklenen oranı verilmektedir.

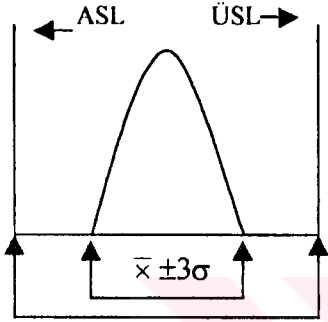
$C_p$	-----	0.1	-----	0.3	-----	0.6	-----	0.9	-----	1.2	-----	1.33	-----	1.67	-----	2.0
% $2\phi(-3C_p)$	---	76.4	---	36.8	---	7.2	---	0.69	---	0.318 <sup>a</sup>	---	0.63	---	0.57	---	0.2 <sup>b</sup>

a=her milyondaki parçalar    b=her milyardaki parçalar

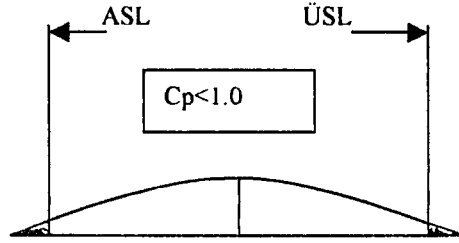
$C_p$  değerlerine bağlı olarak bir proses hakkında karar vermek için  $C_p$ 'nin değerleri Tablo 3.1'deki gibi yorumlanır.(Asaka,1990;197)

**Tablo 3.1 Yeterliliğin Kabulü İçin Proses Yeterlilik Rasyosunun Kabul Sınırları**

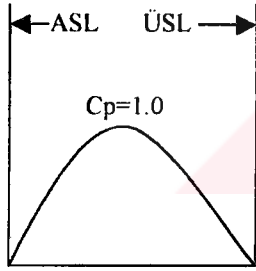
$C_p$	Değerlendirme	Yorumu
$C_p \leq 1$	Yetersiz	Proses yetersizdir. İyileştirmeler yapılmalı.
$1 < C_p \leq 1,33$	Kabul edilebilir	Proses spesifikasyonları karşılamaz. Proses kontrol sürdürülmelidir
$C_p \geq 1,33$	İyi	Proses spesifikasyonları karşılar.



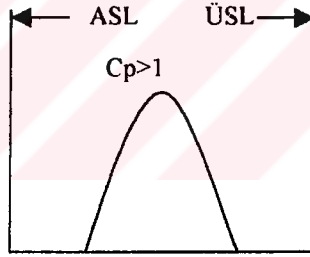
Şekil 3.3-a) İstenilen Proses Yayılımı



Şekil 3.3-b) Proses Yeterli Değil



Şekil 3.3-c) Proses az yeterli



Şekil 3.3-d) Proses Yeterlidir.

### Şekil 3.3 Yeterlilik Rasyosuna Bağlı Olarak Proses Yayılımları

#### 3.2.2.1 $C_p$ 'nin Tahmin Edilmesi

$C_p = \frac{ÜSL - ASL}{6\sigma}$  dan anlaşılacağı üzere tahmin edilmesi gereken tek parametre

$x$ 'in standart sapması ' $\sigma$ 'dır.  $\sigma$ 'nın bir tahmin edicisi  $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}}$  dır.

Burada  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j$  dir. Normal dağılan bir ana kütleden tesadüfi olarak çekilen örnek

ortalamları normal dağılırken, bu örneklerin varyansları sağa çarpık bir dağılım gösterirler. Örnek varyansları dağılımı da örnek ortalamaları gibi, ana kütle varyansının ve örnek büyüklüğünün fonksiyonudur. Örnek varyansı ve ana kütle varyansı arasındaki bağlantı, ana kütle varyansının tarafsız tahminliyi olarak hesaplanan örnek varyansının, (n-1) serbestlik derecesiyle çarpımının, ana kütle varyansına oranı şeklindedir.

Bu oran  $\chi^2$  (Ki-Kare) adını alır ve  $\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$  dağılımı da (n-1) serbestlik dereceli  $\chi^2$  (Ki-Kare) dağılımıdır. (Orhunbilge,83;1997)

$\hat{C}_p^r$  'nin sıfır etrafındaki r.momentini

$$E(\hat{C}_p^r) = f^{r/2} C_p^r E[x_r^{-r}] = (f/2)^{r/2} \frac{\Gamma\{1/2(f-r)\}}{\Gamma(f/2)} C_p^r \text{ dir. } f=n-1 \text{ 'dir}$$

$$\text{Özelde ise } E(\hat{C}_p) = (f/2)^{1/2} \frac{\Gamma(f/2)}{\Gamma(f/2)} C_p = \frac{1}{b_f} C_p$$

$$E(\hat{C}_p^2) = \frac{f}{f-2} C_p^2 \text{ ve } \text{var}((\hat{C}_p)) = \left(\frac{f}{f-2} - b_f^{-2}\right) C_p^2$$

$$\text{Burada } b_f = (2/f)^{1/2} \frac{\Gamma(f/2)}{\Gamma\{1/2(f-1)\}} \text{ dir.}$$

Tahmin edici  $\hat{C}_p = b_f \hat{C}_p$   $C_p$  nin beklenen değeridir ve dolayısıyla  $C_p$  'nin yansız

tahminidir. Onun varyansı  $\text{Var}(\hat{C}_p) = \left(\frac{fb_f^2}{f-2} - 1\right) C_p^2$  dir.

Aşağıdaki tabloda  $b_f$  'nin birkaç sayısal değeri verilmektedir.

**Tablo 3.2 Örneğe Bağlı Olarak  $b_f$  'nin Değerleri**

$b_f = (2/f)^{1/2} \Gamma(f/2) / \Gamma(1/2(f-1))$												
f	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59
b <sub>f</sub>	0.798	0.914	0.945	0.960	0.968	0.974	0.978	0.981	0.983	0.985	0.986	0.987

14' den büyük f değerleri için yaklaşık bir formül  $b_f \cong 1 - \frac{3}{4} f^{-1}$  dir.

$$\text{Bu yaklaşım ile } \text{Var}(\hat{C}_p) \cong \frac{f(8f+9)}{(f-2)(4f-3)^2} C_p^2 \quad \text{Var}(\hat{C}_p') \cong \frac{8f+9}{16f(f-2)} C_p^2$$

Aşağıdaki tabloda tablo 3.2' de olduğu gibi  $f$ 'nin aynı değerleri için  $\hat{C}_p$ 'nin standart sapma ve beklenen değerlerini sayısal olarak verir. Burada  $d = \frac{1}{2} (\bar{U}/SL - ASL)$  olduğu bilinmelidir. (Kotz,1993:50)

**Tablo 3.3 Farklı Örnek Büyüklükleri İçin  $\hat{C}_p$ 'nin Beklenen Değeri Ve Standart Sapması**

$\hat{C}_p$ 'nin momentleri :=E[ $\hat{C}_p$ ] Standart Sapma=( $\hat{C}_p / C_p$ )										
d/ $\sigma$										
2		3		4		5		6		
$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	
f=n-1										
4	0.836	0.437	1.253	0.655	1.671	0.874	2.089	1.092	2.507	1.310
9	0.729	0.198	1.094	0.297	1.459	0.396	1.824	0.496	2.189	0.594
14	0.705	0.145	1.058	0.218	1.410	0.291	1.763	0.364	2.116	0.436
19	0.694	0.120	1.042	0.180	1.389	0.240	1.736	0.300	2.083	0.360
24	0.688	0.104	1.033	0.156	1.377	0.209	1.721	0.261	2.065	0.313
29	0.685	0.094	1.027	0.140	1.369	0.187	1.711	0.234	2.054	0.281
34	0.682	0.086	1.023	0.128	1.364	0.171	1.705	0.214	2.046	0.257
39	0.680	0.079	1.020	0.119	1.360	0.159	1.700	0.198	2.039	0.238
44	0.678	0.074	1.017	0.111	1.357	0.148	1.696	0.186	2.035	0.223
49	0.677	0.070	1.016	0.105	1.354	0.140	1.693	0.175	2.031	0.210
54	0.676	0.067	1.014	0.100	1.352	0.133	1.690	0.166	2.028	0.199
59	0.675	0.063	1.013	0.095	1.351	0.127	1.688	0.158	2.026	0.190
$\infty(C_p)$	0.667	-	1.000	-	1.333	-	1.667	-	2.000	-

$E[\hat{C}_p]/C_p$  ve  $\text{var}(\hat{C}_p)/C_p^2$  ye bağlı olmadanda  $C_p=1$  ve  $\frac{d}{\sigma}$  için tablodaki bütün değerler anlaşılabilir.

$f=24$  olması durumunda ( $n=25$ ,  $f=n-1$ )  $C_p$ 'nin standart sapması beklenen değerin yaklaşık olarak %14-15 dir. Bu tamamen önemli bir dağılma miktarını gösterir.

$C_p$ 'nin 1.33 değerini inceleyelim.  $\frac{d}{\sigma}$ 'nin yerini tutan değer 4'dür.

Eğer 20 ölçüsünde bir örnek mevcut ise tablodan  $f=n-1=20-1=19$ 'dan  $C_p=1.33$  ise  $C_p$ 'nin beklenen değerinin 1.389 ve standart sapması 0.24 olduğunu görürüz. Eğer örnek büyüklüğü 5 ise ( $f=4$  ve  $C_p=1.33$ ) o zaman  $\hat{C}_p$ 'nin standart sapması 0.87 dir.  $C_p$ 'nin yarısının üzerindedir. Bu durumdaki tahmin çok az kullanılır. Fakat örnek büyüklüğü 50 ve yukarısı olduğunda daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

### 3.2.2.2. Cp 'nin Güven Aralığı

Cp'nin tahmininde kullanılan formüllerden Cp için bir aralık tahmini yapabiliriz.

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \Rightarrow \sigma^2 = \frac{(n-1)s^2}{\chi^2} \text{ dir. Buradan } \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{(1-\alpha/2)(n-1)}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\alpha/2,(n-1)}} \sigma^2$$

için güven aralığı elde edilir. Cp için güven aralığı,

$$\frac{\bar{ÜSL} - ASL}{6s} \sqrt{\frac{X^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq \text{P}YR \leq \frac{\bar{ÜSL} - ASL}{6s} \sqrt{\frac{X^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}} \text{ veya}$$

$$\text{P}\hat{Y}R \sqrt{\frac{X^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq \text{P}YR \leq \text{P}\hat{Y}R \sqrt{\frac{X^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}} \text{ dir. (Montgomery,375;1991) Burada}$$

X<sup>2</sup> değerleri çeşitli serbestlik dereceleri için Ek Tablo B'den bulunur.

**Örnek3.2** ASL=38 ve ÜSL=62 olan bir prosesi düşünelim. Proses ortalamasının tolerans aralığının ortasında merkezlendiği bu prosteden n=20 büyüklüğünde bir örnek alalım. Örnek standart sapması s=1.75 dir. PYR'nun nokta tahmini

$$\text{PYR} = \frac{\bar{ÜSL} - ASL}{6s} = \frac{62 - 38}{6(1.75)} = 2.29 \text{ dir. PYR'nun \%95 ihtimalle güven aralığı ise}$$

$$\text{şöyle bulunur. } 2.29 \sqrt{\frac{8.91}{19}} \leq \text{PYR} \leq 2.29 \sqrt{\frac{32.85}{19}} = 1.57 \leq \text{PYR} \leq 3.01 \text{ Burada } \chi^2$$

değerleri Ek Tablo B'den  $\chi^2_{0,975;19} = 8.91$  ve  $\chi^2_{0,025} = 32.85$  bulunur.

### 3.3. Prosesin Ortasının Tespit Edilmesi

Proses ortalaması spesifikasyonun orta noktası ile çakışmadığında Cr ve Cp proses yeterliliğinin yetersiz bir ölçüsüdür. Bu durumda proses ortalaması merkezlenmelidir. Böyle durumlarda kullanılmak üzere geliştirilen Cpk indisi bir sonraki konuda anlatılacaktır.

Proses ortalamasının spesifikasyon aralığı üzerinde nasıl yerleştiğini bulmada kullanacağımız formül aşağıdaki gibidir.

$$k = \frac{\text{prosesortalaması} - \text{prosesmerkezi}}{\text{tolerans}/2} \text{ veya } k = \frac{2|m - \bar{x}|}{\bar{ÜSL} - ASL} \text{ dir. } m = \frac{\bar{ÜSL} + ASL}{2}$$

dir. (Kane,1989:286)

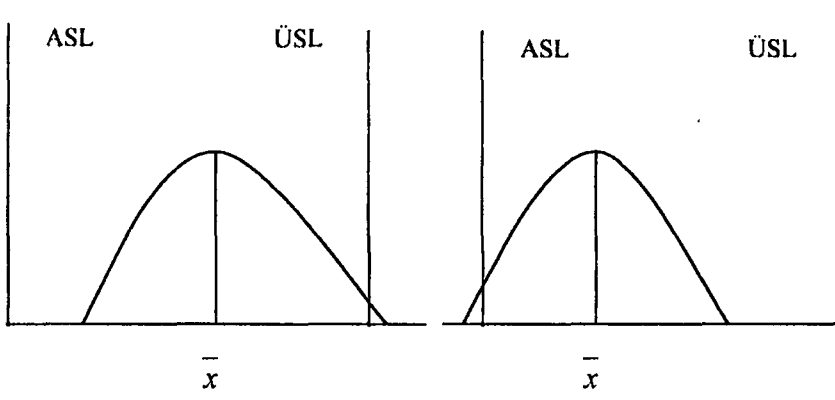
k prosteki değişkenliğin spesifikasyon limitleri içinde nasıl yerleştiğini gösterir.

k'nın değeri pozitif bir sayı ise proses ortalaması spesifikasyonların orta noktasının yukarisındadır. Şekil 3.4-1

k' nın değeri negatif bir sayı ise proses ortalaması spesifikasyonların orta noktasının aşağısındadır. Şekil 3.4-2

k' nın değeri '0' ise proses ortalaması spesifikasyonların merkezi ile çakışır.

k' nın değeri proses yeterliliğini anlatmaz. O basitçe verilerin nasıl merkezlendiğini anlatan bir ölçüdür.



Şekil 3.4-1 .k>0

Şekil 3.4-2 .k<0

### Şekil 3.4 k' ya Bağlı Olarak Prosesin Yerleşiminin Tespit Edilmesi

#### 3.4 Cpk İndisi

Verilerin yayılımının  $6\sigma$  ve tolerans uzunluğunun  $12\sigma$  olduğu dolayısıyla Cp'nin 2 olduğu bir procesi düşünelim. Böyle bir durumda bile gözlenen değerlerin tamamı tolerans limitlerinin dışında yer alabilir. Bir prosesin potansiyel yeterliliğini ölçen bir indis olarak Cp'nin kullanımı proses merkezlenmediğinde elverişsiz olur. Böyle bir durumda değişkenlik miktarını ve merkezlenmenin her ikisini de hesaplayan bir diğer indise ihtiyaç vardır. Bu indis Cpk'dır. Cpk proses ortalamasının ÜSL ve ASL arasındaki uzaklığı ölçer ve dağılımın yarısının bir rasyosu olarak ifade edilir.

$$Cpk = \min\left(\frac{\text{ÜSL} - M}{3\sigma} \text{ veya } \frac{M - \text{ASL}}{3\sigma}\right) \quad (\text{Oakland, 1992:134})$$

Cpk bu avantajından dolayı endüstrilerin çoğunda ortak bir yeterlilik ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

**Örnek 3.3:** n=4 büyüklüğünde 20 örneklemeden elde edilen proses parametleri şöyledir:

Ortalama değişim aralığı ( $\bar{R}$ )=91mg,

Proses ortalaması ( $\bar{x}$ )= 2500 mg

Spesifikasyonlar ÜSL=2650mg, ASL=2350 mg

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_n} = \frac{91}{2.059} = 44.2 \text{mg}$$

$$C_p = \frac{\bar{ÜSL} - \bar{ASL}}{6\sigma} = \frac{2650 - 2350}{265.2} = 1.13$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{ÜSL} - \bar{x}}{3\sigma} \text{ veya } \frac{\bar{x} - \bar{LSL}}{3\sigma}\right) = \min\left(\frac{2650 - 2500}{(3)(44.2)} \text{ veya } \frac{2500 - 2350}{(3)(44.2)}\right) = 1.13$$

İndis 1'den çok az büyük olduğundan yeterlilik düşüktür.

**Örnek 3.4** n=4 büyüklüğünde 20 örneklemden proses parametleri şöyle bulunmuştur.

Ortalama değişim aralığı ( $\bar{R}$ )=91mg, Proses ortalaması ( $\bar{x}$ )=2650mg

Spesifikasyonlar  $\bar{ÜSL}$ =2750mg,  $\bar{ASL}$ =2250mg

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_n} = 91/2.059=44.2 \quad C_p = \frac{\bar{ÜSL} - \bar{ASL}}{6\sigma} = \frac{2750 - 2250}{6(44.2)} = \frac{500}{265.2} = 1.89$$

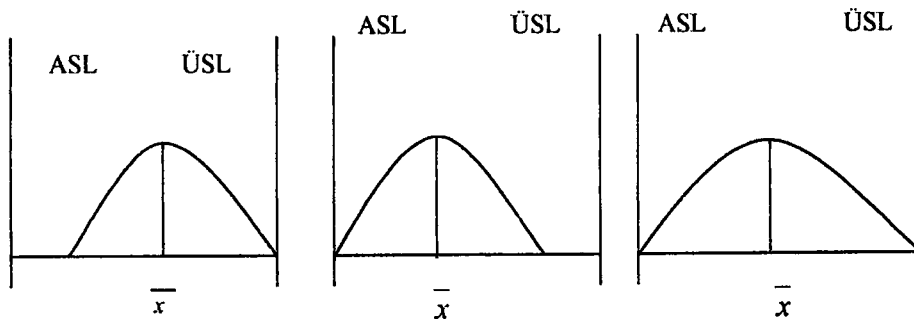
$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{ÜSL} - \bar{x}}{3\sigma} \text{ veya } \frac{\bar{x} - \bar{LSL}}{3\sigma}\right) = \min\left(\frac{2750 - 2650}{3(44.2)} \text{ veya } \frac{2650 - 2250}{3(44.2)}\right)$$

$$= \min(0.75 \text{ veya } 3.02) = 0.75$$

$C_p=1.89$  'dur 1'in çok üzerindedir ve yüksek bir potansiyel yeterliliği gösterir fakat  $C_{pk}$  prosesin merkezlenmediği için bu potansiyel yeterliliğin gerçekçi olmadığını gösterir. Genelde yeterliliğin kabulü için  $C_{pk} \leq C_p$  aranmaktadır.

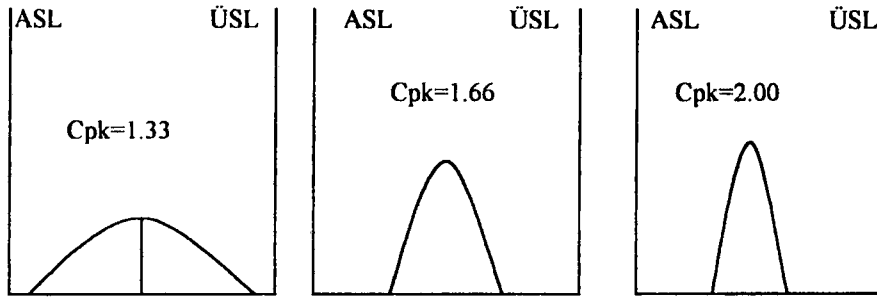
$C_{pk}$ 'nın çeşitli değerleri için proses yerleşimini aşağıdaki şekiller üzerinde gösterelim.

$C_{pk}$ 'nın değeri 1 ise verilerin bir kısmı spesifikasyonlara yaklaşır.



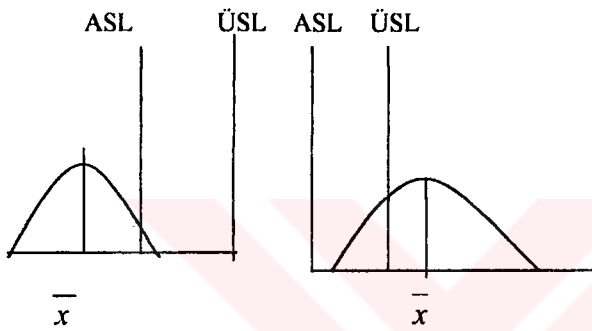
Şekil 3.5-1  $C_{pk} = 1$  ise Verilerin Yayılımı

Cpk'nın değeri 1'den büyükse verilerin tamamı spesifikasyon limitleri içine düşer.



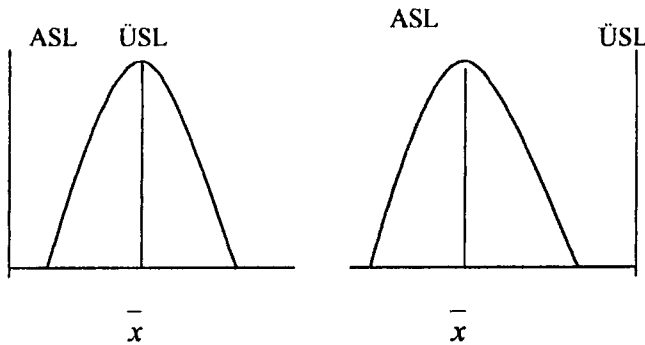
Şekil 3.5-2 Cpk>1 ise Verilerin Yayılımı

Cpk'nın negatif değeri proses ortalamasının spesifikasyon limitlerinin dışında olduğunu gösterir.



Şekil 3.5-3 Cpk<0 ise Verilerin Yayılımı

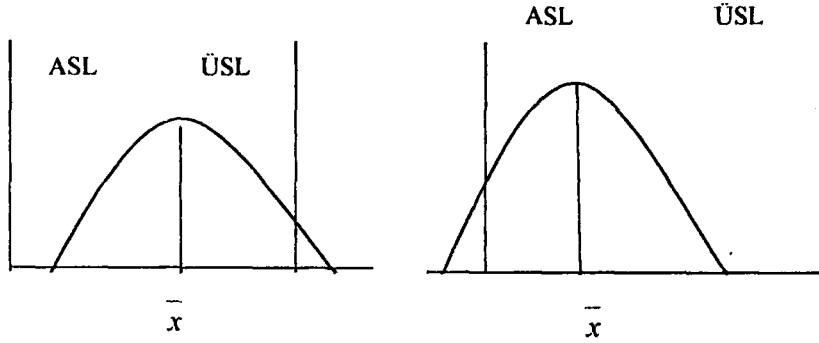
Cpk'nın değeri 0 ise proses ortalaması spesifikasyon limitlerinin birisine eşittir.



Şekil 3.5-4 Cpk=0 ise Verilerin Yayılımı



Cpk'nın değeri 0 ve 1 arasında ise proses ortalaması spesifikasyon limitleri içindedir bununla birlikte bir miktar varyasyon spesifikasyon limitleri dışına düşecektir.



Şekil 3.5-5  $0 \leq Cpk \leq 1$  ise Verilerin Yayılımı

### Şekil 3.5 Cpk'nın Çeşitli Değerleri İçin Prosesin Yerleşimi

Tablo3.4 Çift Yanlı Spesifikasyon Durumunda Cpk İndisine Bağlı Olarak Limit Dışı Mamulün Oranı (Kane,1989:283)

Yeterlilik	Spesifikasyon Limitleri Dışındaki Parçalar	Yeterlilik	Spesifikasyon Limitleri Dışındaki Parçalar
0.1	76.4	1.2	318 <sup>a</sup>
0.2	54.9	1.3	96 <sup>a</sup>
0.3	36.8	1.33	63 <sup>a</sup>
0.4	23.0	1.4	27 <sup>a</sup>
0.5	13.4	1.5	6.8 <sup>a</sup>
0.6	7.2	1.6	1.6 <sup>a</sup>
0.7	3.6	1.67	.57 <sup>a</sup>
0.8	1.6	1.7	.34 <sup>a</sup>
0.9	.69	1.8	67 <sup>b</sup>
1.0	.27	1.9	12 <sup>b</sup>
1.1	.097	2.0	2 <sup>b</sup>

a)Her Milyondaki b)Her milyardaki Parçalar

#### 3.4.1. Cpk'nın Tahmini

Yukarıda da belirttiğimiz gibi Cp indisi proses ortalamasının proses yeterlilik rasyosu üzerindeki etkilerini göstermediği için Cpk geliştirilmiştir.

$$\text{Bu indis } Cpk = \min\left(\frac{\bar{ÜSL} - M}{3\sigma} \text{ veya } \frac{M - \bar{ASL}}{3\sigma}\right) \text{ veya } = \frac{d - \left| M - \frac{1}{2}(\bar{ASL} + \bar{ÜSL}) \right|}{3\sigma}$$

$$= \left\{ 1 - \frac{\left| M - \frac{1}{2}(\bar{ASL} + \bar{ÜSL}) \right|}{d} \right\} C_p \text{ dir. Burada } M = \frac{1}{2}(\bar{ASL} + \bar{ÜSL}) \text{ dir.}$$

$C_p = \frac{d}{3\sigma}$  'dan  $Cpk \leq C_p$  olmalıdır. M'nün  $ASL \leq M \leq ÜSL$  olduğunu farz edeceğiz.

(M spesifikasyon aralığının dışında olduğunda Cpk negatif olur ve bu durumda proses yetersiz olur.)

Verilerin dağılımı normal ise o zaman limit dışı mamulün beklenen oranı

$$\Phi\left(\frac{ASL - M}{\sigma}\right) + 1 - \Phi\left(\frac{\bar{ÜSL} - M}{\sigma}\right) \text{ dir. } C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{ÜSL} - M}{3\sigma} \text{ veya } \frac{ASL - M}{3\sigma}\right) \text{ dir.}$$

Cp ve Cpk'ya bağlı olarak limit dışı mamulün beklenen oranı  $\Phi(-3(2Cp - Cpk)) + \Phi(-3Cpk)$ 'dır. Diğer taraftan limit dışı mamulün beklenen oranı  $2\Phi(-3Cpk)$  dan daha az fakat  $\Phi(-3Cpk)$  dan daha büyüktür.

$$C_{pk}'\text{nin tahmin edicisi } \hat{C}_{pk} = \frac{d - \left| \bar{X} - \frac{1}{2}(\bar{ÜSL} + ASL) \right|}{3\hat{\sigma}} \text{ dir. (Kotz,55:1993) Burada}$$

$$\hat{\sigma}, \sigma'n \text{ in bir tahmin edicisidir ve } \hat{\sigma} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ dir.}$$

**Tablo3.5 Prosesin Merkezlenmesi ve Merkezden Uzaklaşması Durumunda Proses Yeterliliği**

$(\bar{X} - M)/\sigma$ →	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
d/σ ↓					
2	2/3	1/2	1/3	1/6	0
3	1	5/6	2/3	1/2	1/3
4	4/3	7/6	1	5/6	2/3
5	5/3	3/2	7/6	1	1
6	2	11/6	5/3	3/2	4/3

$$M = \frac{1}{2}(ASL + \bar{ÜSL})$$

Cpk'nın farklı örnek büyüklüklerine bağlı olarak beklenen değeri ve standart sapması tablo 3.6'da verilmektedir. (Kotz,1993:63)

**Tablo 3.6 Farklı Örnek Büyüklükleri İçin Cpk'nın Beklenen Değeri Ve Standart Sapması**

$ \bar{X} - M $	0		0.5		1		1.5		2	
	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s
<b>d/σ n=10</b>										
2	0.638	0.188	0.542	0.184	0.365	0.155	0.182	0.129	0.000	0.119
3	1.002	0.282	0.906	0.270	0.729	0.231	0.547	0.191	0.365	0.155
4	1.367	0.378	1.271	0.362	1.094	0.320	0.912	0.275	0.730	0.231
5	1.732	0.476	1.636	0.458	1.459	0.414	1.277	0.367	1.094	0.320
6	2.096	0.574	2.001	0.554	1.824	0.510	1.641	0.462	1.459	0.414
<b>d/σ n=15</b>										
2	0.633	0.142	0.527	0.141	0.353	0.118	0.176	0.100	0.000	0.093
3	0.985	0.211	0.880	0.202	0.705	0.173	0.529	0.143	0.353	0.118
4	1.338	0.281	1.232	0.269	1.058	0.237	0.882	0.204	0.705	0.173
5	1.690	0.353	1.585	0.339	1.410	0.305	1.234	0.271	1.058	0.237
6	2.043	0.425	1.938	0.409	1.763	0.375	1.587	0.340	1.411	0.305
<b>d/σ n=20</b>										
2	0.633	0.119	0.520	0.119	0.347	0.099	0.174	0.084	0.000	0.079
3	0.980	0.176	0.867	0.169	0.694	0.144	0.521	0.120	0.347	0.099
4	1.327	0.234	1.215	0.224	1.042	0.196	0.868	0.169	0.695	0.143
5	1.674	0.293	1.562	0.281	1.389	0.253	1.215	0.224	1.042	0.196
6	2.022	0.352	1.909	0.330	1.736	0.310	1.563	0.281	1.389	0.252
<b>d/σ n=25</b>										
2	0.634	0.105	0.516	0.104	0.344	0.087	0.172	0.074	0.000	0.070
3	0.978	0.154	0.860	0.148	0.688	0.126	0.516	0.105	0.344	0.087
4	1.322	0.205	1.204	0.195	1.032	0.171	0.861	0.148	0.688	0.126
5	1.666	0.256	1.549	0.245	1.377	0.220	1.205	0.195	1.033	0.171
6	2.010	0.307	1.893	0.295	1.721	0.270	1.549	0.245	1.377	0.220
<b>d/σ n=30</b>										
2	0.635	0.095	0.513	0.094	0.342	0.078	0.171	0.067	0.000	0.063
3	0.977	0.139	0.856	0.133	0.685	0.113	0.513	0.094	0.342	0.079
4	1.319	0.184	1.198	0.175	1.027	0.154	0.856	0.133	0.685	0.113
5	1.662	0.230	1.540	0.220	1.369	0.198	1.198	0.176	1.027	0.154
6	2.004	0.277	1.882	0.265	1.711	0.242	1.540	0.220	1.369	0.198
<b>d/σ n=35</b>										
2	0.636	0.087	0.511	0.086	0.341	0.072	0.171	0.062	0.000	0.058
3	0.977	0.127	0.852	0.122	0.682	0.103	0.511	0.087	0.341	0.072
4	1.318	0.169	1.193	0.161	1.023	0.141	0.852	0.122	0.682	0.103
5	1.659	0.211	1.534	0.201	1.364	0.181	1.193	0.161	1.023	0.141
6	2.000	0.253	1.875	0.242	1.705	0.222	1.534	0.201	1.364	0.181

d/σ n=40										
2	0.637	0.081	0.500	0.080	0.340	0.067	0.170	0.058	0.000	0.054
3	0.977	0.119	0.850	0.113	0.680	0.096	0.510	0.080	0.340	0.067
4	1.317	0.157	1.190	0.149	1.020	0.131	0.850	0.112	0.680	0.096
5	1.657	0.196	1.530	0.186	1.360	0.168	1.190	0.149	1.020	0.131
6	1.991	0.235	1.870	0.225	1.700	0.200	1.530	0.186	1.360	0.168
d/σ n=45										
2	0.638	0.076	0.509	0.075	0.339	0.063	0.170	0.054	0.000	0.051
3	0.977	0.111	0.848	0.106	0.678	0.090	0.509	0.075	0.339	0.063
4	1.316	0.147	1.187	0.139	1.018	0.122	0.848	0.106	0.678	0.090
5	1.655	0.184	1.526	0.175	1.357	0.157	1.187	0.139	1.017	0.122
6	1.995	0.220	1.865	0.210	1.696	0.192	1.526	0.175	1.357	0.157
d/σ n=50										
2	0.639	0.072	0.508	0.071	0.339	0.060	0.169	0.051	0.000	0.048
3	0.977	0.105	0.846	0.100	0.677	0.085	0.508	0.071	0.339	0.060
4	1.316	0.139	1.185	0.132	1.016	0.116	0.846	0.100	0.677	0.085
5	1.655	0.174	1.524	0.165	1.354	0.148	1.185	0.132	1.016	0.116
6	1.993	0.208	1.862	0.198	1.693	0.182	1.523	0.165	1.354	0.148
d/σ n=55										
2	0.640	0.069	0.507	0.068	0.338	0.057	0.169	0.049	0.000	0.046
3	0.978	0.100	0.845	0.095	0.676	0.081	0.507	0.068	0.338	0.057
4	1.316	0.132	1.183	0.125	1.014	0.110	0.845	0.095	0.676	0.081
5	1.654	0.165	1.521	0.156	1.352	0.141	1.183	0.125	1.014	0.110
6	1.992	0.198	1.859	0.188	1.690	0.172	1.521	0.156	1.352	0.141
d/σ n=60										
2	0.641	0.066	0.506	0.065	0.338	0.054	0.169	0.047	0.000	0.044
3	0.978	0.096	0.844	0.091	0.675	0.077	0.506	0.065	0.338	0.054
4	1.316	0.126	1.182	0.119	1.013	0.105	0.844	0.091	0.675	0.077
5	1.653	0.157	1.519	0.149	1.351	0.134	1.182	0.119	1.013	0.105
6	1.991	0.189	1.857	0.180	1.688	0.164	1.519	0.149	1.350	0.134

( $\hat{C}_{pk}$ ) değerleri incelendiğinde  $d/\sigma$  artarken standart sapmanın arttığını fakat

$\left| \bar{x} - \frac{1}{2}(ASL + ÜSL) \right|$  artarken azaldığını kaydedelim. Örnek büyüklüğü  $n$  artarken

standart sapmanın azalması beklenilir. Örneğin; ( $\hat{C}_{pk}$ )'nın standart sapması  $d/\sigma=3$

( $C_p=1$ ) olduğunda  $\sigma^{-1}|1/2(ASL + ÜSL)|$ 'nin çeşitli değerleri için ( $\hat{C}_{pk}$ )'nin

değişkenliği tablo 3.7'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.7  $C_{pk}$ 'nin Değişkenliği ( $C_p=1$ )**

$\left  \bar{x} - \frac{1}{2}(ASL + ÜSL) \right  / \sigma$	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
$C_{pk}$	1.00	0.83	0.67	0.50	0.33
$S(C_{pk})(n=10)$	0.28	0.27	0.23	0.19	0.155
$S(C_{pk})(n=40)$	0.12	0.11	0.095	0.08	0.07

### 3.5 Tek Yanlı Spesifikasyon Durumunda Proses Yeterlilik İndisi

İmal edilen mamullerin belli bir değerden az veya yukarıda olması istenmesi durumunda proses yeterliliğini hesaplamak için aşağıdaki yöntemler kullanılır.

#### 3.5.1 Üst Proses Performansı (PYR<sub>Ü</sub>)

Yalnızca ÜSL' nin mevcut olduğu bir proseste proses yeterliliği  $PYR_{\text{Ü}} = \frac{\bar{x} - \text{ÜSL}}{3\hat{\sigma}}$

dir.  $PYR_{\text{Ü}} < 1$  olduğunda prosesin yetersiz olduğu düşünülmelidir. Prosesteki değişkenlik miktarı azaltılmalıdır. Tek yanlı üst spesifikasyon limiti için toplam proses yeterliliği  $PYR_{\text{Ü}}$  tarafından ölçülebilir.

#### 3.5.2 Alt Proses Performansı (PYR<sub>A</sub>)

Alt spesifikasyon limitine bağlı olarak hesaplanan indis  $PYR_{\text{A}} = \frac{\bar{x} - \text{ASL}}{3\hat{\sigma}}$  dir.

$PYR_{\text{A}} < 1$  olduğunda prosesin yetersiz olduğu düşünülmelidir. Tek yanlı spesifikasyon limitleri olması durumunda limit dışı mamulün beklenen oranı tablo 3.8'de verilmektedir.

**Tablo 3.8 Tek Yanlı Spesifikasyon Limiti Olması Durumunda Çeşitli Yeterlilik Değerleri İçin Spesifikasyonlar Dışındaki Parçaların Sayısı**

Yeterlilik	Spesifikasyon Limitleri Dışındaki Parçalar	Yeterlilik	Spesifikasyon Limitleri Dışındaki Parçalar
0.1	38.2	1.2	159 <sup>a</sup>
0.2	27.4	1.3	48 <sup>a</sup>
0.3	18.4	1.33	32 <sup>a</sup>
0.4	11.5	1.4	13 <sup>a</sup>
0.5	6.7	1.5	3.4 <sup>a</sup>
0.6	3.6	1.6	.79 <sup>a</sup>
0.7	1.8	1.67	.29 <sup>a</sup>
0.8	.82	1.7	.17 <sup>a</sup>
0.9	.35	1.8	33 <sup>b</sup>
1.0	.14	1.9	6 <sup>b</sup>
1.1	.048	2.0	1 <sup>b</sup>

a)Her Milyonda b)Her milyardaki Parçalar

### 3.6 Proses Yeterliliği Analizinde Kullanılan İstatistikî Proses Kontrol Teknikleri

Bir prosesin yeterli olup olmadığını yukarıda anlatılan üç indis vasıtasıyla kolayca hesaplayabileceğimiz görüldü. Bununla birlikte biz istatistiksel proses kontrol

teknikleri ile de bir prosesin yeterli olup olamayacağına karar verebiliriz. Şimdi bu teknikleri sırayla inceleyelim.

### 3.6.1 Histogramdan Proses Yeterliliğinin Elde Edilmesi

Frekans dağılımı proses yeterliliğinin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Bir histogram düzenlemek için en az 100 veya daha fazla gözlem yapılması gereklidir. (Montgomery,1991;367) Bu durumda oldukça güvenli proses yeterliliği tahmini elde edilebilir. Veri toplama öncesinde aşağıdakiler yapılmalıdır.

1-Kullanılacak tezgah yada tezgahlar seçilmelidir. Seçilen tezgahlar daha büyük tezgah ana kütesine genişletilecekse seçilen tezgahlar bu ana kütesine temsil etmelidir.

2- Proses çalışma şartları seçilmelidir.Kesme hızları, besleme oranları ve sıcaklık gibi şartlar dikkatlice tarif edilmeli .Bu faktörlerin değişmesinin etkilerinin proses yeterliliği üzerine olan etkilerini incelemek önemli olabilir.

3- Bir temsili operatör seçilmelidir.Bazı durumlarda operatör değişkenliğini tahmin etmek önemli olabilir. Bu durumda operatörler, operatörler ana kütesinden tesadüfi olarak seçilmelidir.

4- Veri toplama süreci dikkatlice izlenmeli ve üretilen her ünite zamanında kaydedilmeli.

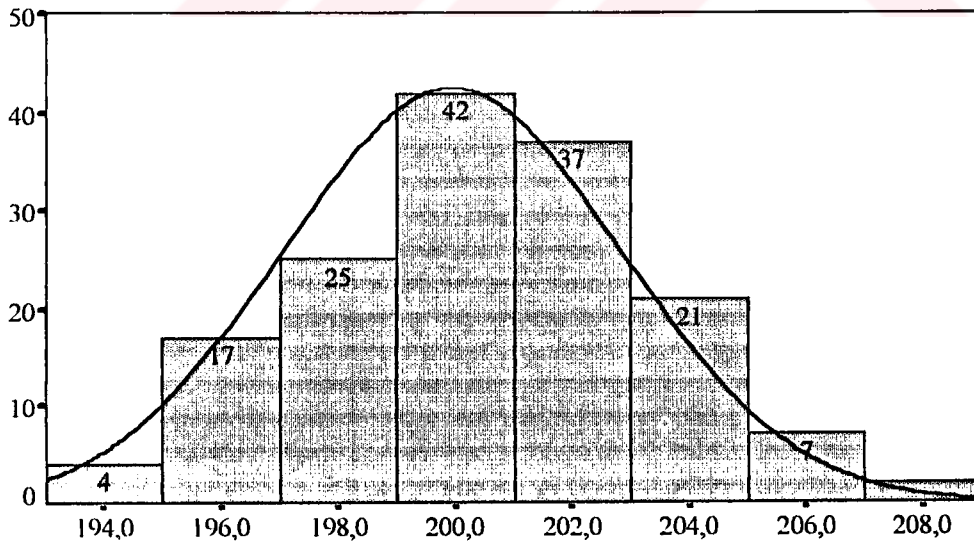
Histogram yalnız örnek ortalaması ve örnek standart sapması ile proses yeterliliği hakkında bilgi sağlar.

Proses yeterliliğinin tahmininde histogram kullanımını anlatmak için aşağıdaki örneği ele alalım.

**Örnek 3.5:**Bir delik sistemi için spesifikasyonlar  $3.5199 \pm 0.0004$  dir.  $n=5$  büyüklüğünde 31 örnek grubuna ait sonuçlar aşağıda gösterilmektedir. 3.5205, 3.5204, 3.5202 şeklindeki ölçümlerin son üç rakamları tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9 Örnek Veri Tablosu**

Örnek	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	R
2	202	196	201	198	202	199.8	6
3	201	202	199	197	196	199	6
4	205	203	196	201	197	200.4	9
5	199	196	201	200	195	198.2	6
7	202	202	198	203	202	201.4	5
8	197	196	196	200	204	198.6	8
9	199	200	204	196	202	200.2	8
10	202	196	204	195	197	198.8	9
12	200	201	199	200	201	200.2	2
13	205	196	201	197	198	199.4	9
14	202	199	200	198	200	199.8	4
15	200	200	201	205	201	201.4	5
17	202	202	204	198	203	201.8	6
18	201	198	204	201	201	201	6
19	207	206	194	197	201	201	13
20	200	204	198	199	199	200	6
21	203	200	204	199	200	201.2	5
22	196	203	197	201	194	198.2	7
23	197	199	203	200	196	199	7
24	201	197	196	199	207	200	10
25	204	196	201	199	197	199.4	5
26	206	206	199	200	203	202.8	7
27	204	203	199	199	197	200.4	7
28	199	201	201	194	200	199	6
29	201	196	197	204	200	199.6	8
30	203	206	201	196	201	201.4	10
31	203	197	199	197	201	199.4	6
32	197	194	199	200	199	197.8	6
33	200	201	200	197	200	199.6	4
34	199	199	201	201	201	200.2	2
35	200	204	197	197	199	199.4	7



**Şekil 3.6 155 Veriye Ait Histogram**

Histogramın şekli dağılımın normal olduğunu göstermektedir. Yeterlilik  $\bar{x} \pm 3\sigma$  olarak tahmin edildiğinde noktalar  $199.9 \pm (3)(2.90)$  aralığında olacaktır. Buradan verilerin %99.73 'ünün  $191.2 \leq x \leq 208.6$  arasında olacağını tahmin edebiliriz. Spesifikasyonlardan bağımsız olarak, verilerden prosesin yeterliliğini tahmin edebildiğimizi belirtelim. Proses yeterliliğinde histogram kullanımının bir avantajı prosesin performansının görülmesini o an için sağlayabilmesidir.

### 3.6.2 İhtimal Dağılım Diyagramı(Çizgisi)

İhtimal dağılım diyagramı, verilerin yayılımını, biçimini ve toplanmasını tarif etmek için kullanılan histograma alternatiftir. Değişkenliği sınıf aralığına göre ayırmak gerekmez. Bir ihtimal dağılım diyagramı, özel kağıtlar üzerine, kümülatif frekanslar yerine verilerin dizildiği bir grafikdir. Bir normal dağılım verileri normal ihtimaliyet kağıdı üzerine çizildiğinde noktaların çoğu doğru hattının üzerine düşecektir.

**Örnek 3.6:**Aşağıdaki tablodaki 20 adet verinin dağılım diyagramını çizelim.

**Tablo3.10 Örnek Veri Tablosu**

Sıralama J	Veriler $X_j$	Diyagram Pozisyonu	Sıralama J	Veriler $X_j$	Diyagram Pozisyonu
1	197	0.025	11	271	0.525
2	200	0.075	12	275	0.575
3	215	0.125	13	277	0.625
4	221	0.175	14	278	0.675
5	231	0.225	15	280	0.725
6	242	0.275	16	283	0.775
7	245	0.325	17	290	0.825
8	258	0.375	18	301	0.875
9	265	0.425	19	318	0.925
10	265	0.475	20	346	0.975

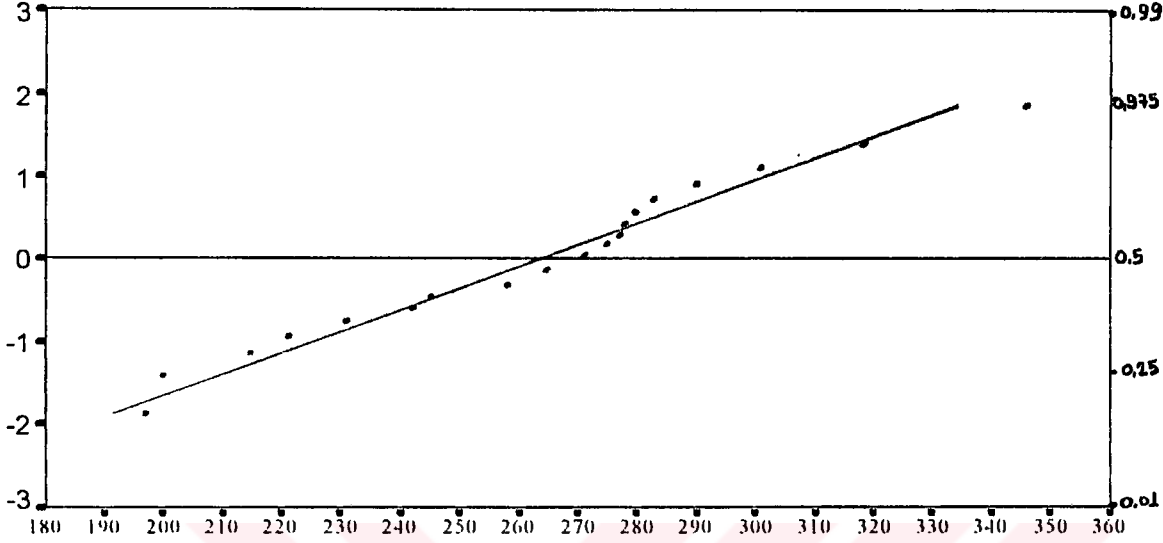
J sırasına göre dizilen  $P_j$ 'nin diyagram pozisyonu şöyle

hesaplanmaktadır.  $P_j = \left( \frac{j - \frac{1}{2}}{n} \right)$  dir. n burada örnek ölçüsüdür. Örneğin 1 noktasının

diyagram pozisyonu  $P_j = \left( \frac{j - \frac{1}{2}}{n} \right) = 0,025$



Şekil 3.7 de normal ihtimal kağıdı üzerine  $X_j$  dayanıklılığı yerine  $P_j$ 'nin diyagramı çizilmiştir. Verilerin sıralanması büyük miktarda çizgi hattının üzerinde olduğundan verilerin dağılımının normal olduğunu gösterir. Hat (diyagram) çizildiğinde uç noktalardan ziyade merkezi noktalar üzerinde yoğunlaşmak en iyisidir.



**Şekil 3.7 Örneğe Ait Dağılım Diyagramı**

### 3.6.3 Kontrol Grafiği ve Proses Yeterliliği

Histogramlar ve ihtimal dağılım diyagramı prosesin performansını özetler. Prosesin potansiyel yeterliliğini göstermez. Çünkü kalite karakteristiğinde değişkenlik azaltıldığında hatta elimine edildiğinde bile proses çıktısındaki örnekleri sistematik bir şekilde göstermez. Bu durumda kontrol grafiği çok etkilidir. Kontrol grafiğine proses yeterlilik analizinin asli teknikleri olarak da bakılabilir.

Niteliksel ve değişken kontrol grafiği proses yeterliliğinde kullanılmaktadır. Bu grafiklerin yapısı ve kullanılması hakkında ki bilgiler bölüm 2’de anlatıldığından burada sadece uygulaması anlatılacaktır.

$\bar{x}$  ve R grafiği spesifikasyonlara bakmadan süreci inceleme fırsatı verir. Ancak p grafiğini kullanmak için mamul karakteristiğinin spesifikasyonları olmalı.

$\bar{x}$  ve R kontrol grafiği kısa dönem proses yeterliliği (anlık değişkenliği) ve uzun dönem proses yeterliliği (zamandan zamana değişkenlik) analiz etme fırsatı verir.

Yukarıdaki 3.5 nolu örneğimizdeki verilerden bu prosesin yeterliliğini kontrol grafiği ile inceleyelim.  $\bar{x}$  ve R değerleri hesaplandığında aşağıdaki değerler elde edilir.

R Grafiği

Merkezi Hat=  $\bar{R}=6.8387$

ÜSL= $D_4 \bar{R}=14.4604$

ASL= $D_3 \bar{R}=0.0000$

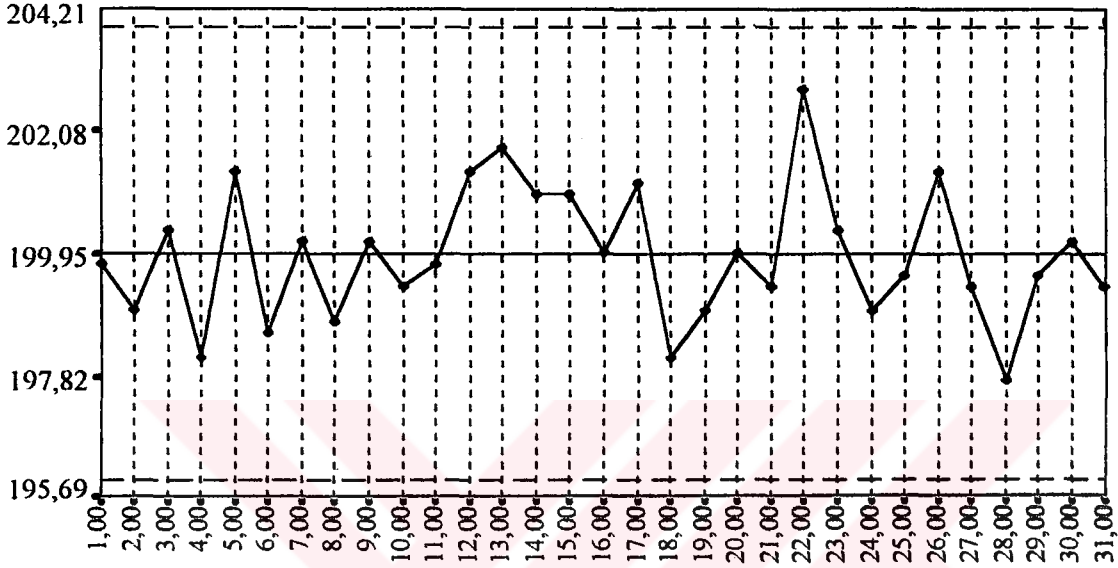
Buradan kontrol grafiklerini çizebiliriz

$\bar{x}$  Grafiği

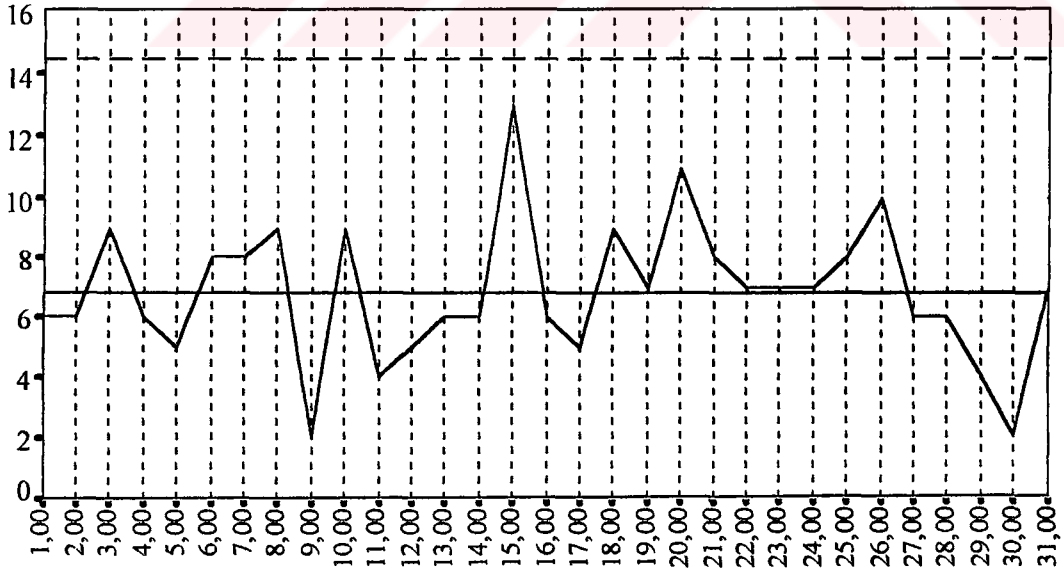
Merkezi Hat=  $\bar{x}=199.9484$

ÜSL=  $\bar{x}+A_2 \bar{R}=203.8931$

ASL=  $\bar{x}-A_2 \bar{R}=196.0037$



Şekil 3.8  $\bar{x}$  Kontrol Grafiği



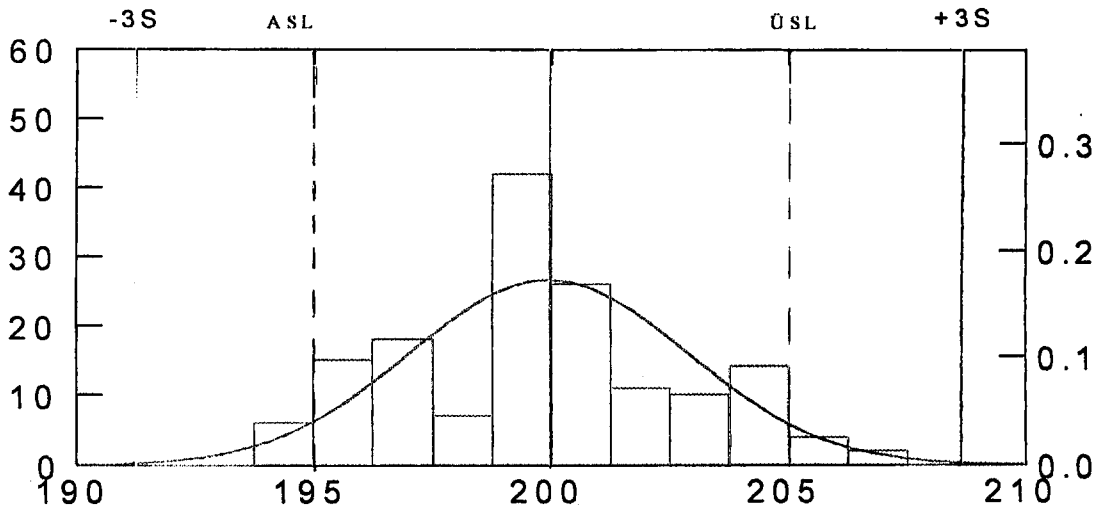
Şekil 3.9 R Kontrol Grafiği

Kontrol grafikleri incelendiğinde limit dışını gösteren hiçbir nokta yoktur. Proses kontrol altındadır.  $\bar{x}=199.95$  ve  $\sigma = \bar{R}/d_2=6.8387/2.326=2.90$  Burada proses yeterliliğini hesapladığımızda  $C_{pk}=\min \left[ \left( \frac{195-199.95}{2.9} \right) \left( \frac{203-199.95}{2.9} \right) \right] \min (1.7, 1.05)$

Proses yeterliliği kabul edilemez. Çünkü kabul için  $C_{pk} \geq 1.33$  olmalı.

Açıkça proses yetersizdir. Bu örnek bize prosesin kontrol altında olduğunu fakat faaliyetin kabul edilemez seviyede olduğunu anlatır. Limit dışı üretimi işaret eden bir delil yoktur fakat proses kendisi için belirlenmiş spesifikasyon limitlerini karşılamamaktadır. Kalite ile ilgili problemler çözülecekse ya süreci iyileştirmeli ya da spesifikasyonlar değiştirilmeli. Bundaki amaç proses yeterliliğini en az minimum kabul edilebilir seviyeye çıkarmaktır.

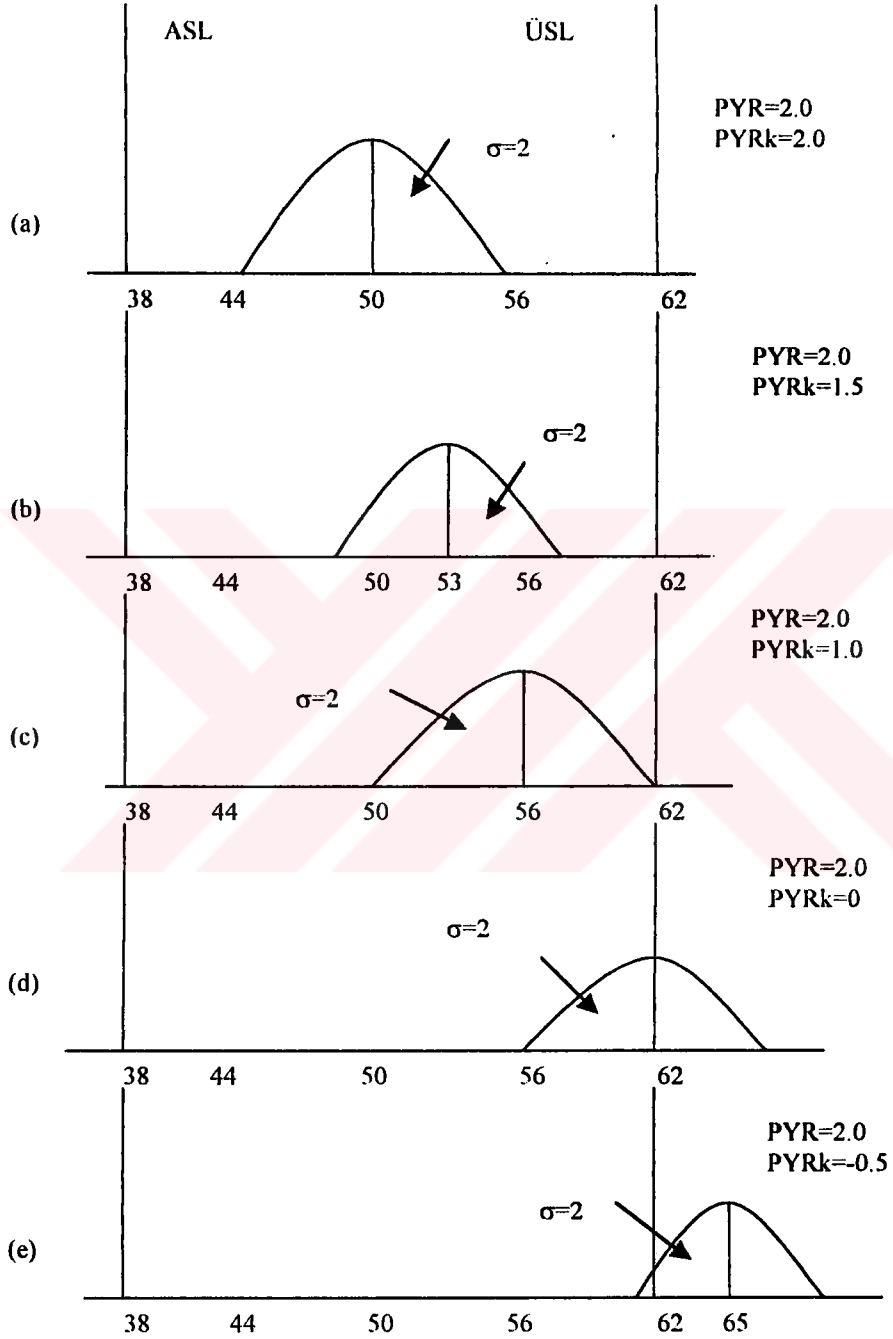
Bazı zamanlar proses yeterlilik analizi, prosesin kontrol dışında olduğuna işaret eder. Bu durumda proses yeterliliğini tahmin etmek güvenli değildir. Güvenli bir proses yeterliliği sağlamak için proses kararlı bir düzen içinde olmalıdır. Proses yeterlilik analizinin ilk safhasında proses kontrol dışında ise süreci kontrollü hale getirmek için ilk amaç düzeltilmesi mümkün durumlar bulunmalı ve ortadan kaldırılmalıdır. Prosesle ait proses yeterlilik grafiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Proses Yeterliliği Grafiği

### 3.6.4 $C_p$ ve $C_{pk}$ Arasındaki İlişki

$C_p$  proses ortalamasının yerleşimini hesaplamada dikkate almadığını belirmiştik.  $C_p$  basitçe prosesin  $6\sigma$  aralığında yayılımını ölçer. Örneğin  $PYR = 2$  olduğu Şekil 3.10'daki normal dağılımları ele alalım.



Şekil 3.10  $C_p$  ve  $C_{pk}$  Arasındaki ilişki

Bu şekillerden ilk ikisi incelendiğinde b şeklindeki proses a'dan daha az yeterliliğe sahiptir. Çünkü şekil b'deki proses spesifikasyonların merkezinde faaliyette bulunmuyor. Bu durum hesaplama proses merkezini de katan yeni bir PYR tanımlamak suretiyle daha iyi anlatılabilir. Bu PYR daha öncede belirttiğimiz gibi  $PYR_k = \text{Min}(PYR_{\bar{u}}, PYR_a)$  dır. Şekil b'de gösterilen proses için;

$$PYR_k = \text{Min}(PYR_{\bar{u}}, PYR_a) \\ = \text{min}\{PYR_{\bar{u}} = (\bar{U}SL - M) / 3\sigma, PYR_a = (M - ASL) / 3\sigma\} = \text{min}\{PYR_{\bar{u}} = (62 - 53) / 3(2) = 1.5, \\ PYR_a = (53 - 38) / 3(2) = 2.5\}$$

Genellikle  $PYR = PYR_k$  ise proses spesifikasyonun ortasında merkezdedir ve  $PYR_k < PYR$  olduğunda proses merkezden sapmıştır. PYR'na nispeten  $PYR_k$ 'nın boyu prosesin faaliyetlerinin merkezden sapmasının bir ölçüsüdür. Şekil 3.11'de çok karşılaşılan durumlar gösterilmektedir.

$PYR = 1$ 'i ele alalım. Tablo 3.4'den tek yanlı spesifikasyon kolonundan spesifikasyon dışına çıkanları okuyalım. Böylece gerçek SDM 1350 her milyonda olarak tahmin edebiliriz. Bununla birlikte prosesi merkezlenebilirse yani  $PYR = 2$  yapılırsa tablo 3.4'den çift yanlı spesifikasyon kolonundan SDM potansiyelinin her milyonda 0.0018 olacağını ileri sürebiliriz.

PYR prosesdeki potansiyel yeterliliği ölçerken  $PYR_k$  gerçek yeterliliği ölçer. Şekillerde ki 'd' ve 'e' durumlarını inceleyelim.

(d) şeklinde proses merkezinin spesifikasyon limitlerinin biriyle tam çakıştığı bu durumda  $PYR_k = 0$ 'dır.

(e) şeklinde ise  $PYR_k < 0$  durumu proses merkezinin spesifikasyon limitlerinin dışında yer alır. Bu durumda  $PYR_k$  sıfır olarak kabul edilir.

### 3.6.5 PYR İçin Geliştirilen Hipotez Testi

Endüstrilerde gittikçe artan genel bir uygulama antlaşmanın bir maddesi gibi prosesin yeterli olduğunu göstermek üreticiden istenmektedir. Belirli bir hedef değeri geçen veya karşılayan proses yeterlilik oranını göstermek gerekmektedir. Problem bir hipotez testi problemi olarak formüle edilebilir. (Montgomery, 1991:375))

$$H_0 : PYR < PYR_0 \text{ (Proses yeterli değildir)}$$

$$H_1 : PYR \geq PYR_0 \text{ (Proses yeterlidir.)}$$

**Tablo 3.11 Hipotez Testi İçin Geliştirilmiş Bir Çalışma Tablosu**

PYR'nun testi için belirlenen örnek sayısı ve kritik değerler				
Örnek Sayısı(n)	(a) $\alpha=\beta=0.10$		(b) $\alpha=\beta=0.05$	
	PYR(Yüksek)/PYR(az)	C/PYR(Az)	PYR(Yüksek)/PYR(az)	C/PYR(Az)
10	1.88	1.27	2.26	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

$H_0$  kabul edilmezse prosesin yeterli olduğu ispatlanır.  $\hat{PYR}$  dayanarak test istatistiğini formüle edebiliriz. Eğer  $\hat{PYR}$  kritik değer  $C'$  yi geçerse  $H_0$  kabul edilmeyecek. Proses yeterliliği testine yardımcı olacak  $C$  kritik değeri ve örnek ölçülerine ait tablo 3.11'e bakınız.

$1-\alpha$  ihtimali ile kabul edilen proses yeterliliği yüksek

$1-\beta$  ihtimali ile rededilen proses yeterliliği ise düşük olarak tanımlanır.

$\alpha=\beta=0.05$  veya  $\alpha=\beta=0.10$  ve çeşitli örnek ölçüleri için  $C/PYR(Az)$  ve

$PYR(Yüksek)/PYR(Az)$  ın değerleri yukarıdaki tabloda verilmektedir. Bu tablonun kullanımını bir örnekle izah edelim.

Bir müşteri üreticiden proses yeterliliğinin 1.33 değerini geçmesini isteyebilir. Bu durumda üretici

$H_0: PYR \leq 1.33$

$H_1: PYR > 1.33$  hipotezlerini oluşturarak bu problemi test etti.

Üretici proses yeterliliği 1.33'ün altında ise bunun yüksek bir ihtimalle yetersiz olacağını (0.90) proses yeterliliği 1.66'yı aşarsa prosesin yeterliliğine yüksek bir ihtimalle hükmedileceğinden emin olmak ister. Bu  $PYR(az)=1.33$ ,  $PYR(Yüksek)=1.66$  ve  $\alpha=\beta=0.10$  olarak ifade edilir. Örnek sayısını ve kritik değer  $C'$ yi bulmak için tablo 3.11 den  $PYR(Y)/PYR(a)=1.66/1.33=1.25$  olarak hesaplanır.  $\alpha=\beta=0.10$  ve a sütunundan  $n=70$  olarak bulunur.  $C/PYR(a)=1.10$ 'dan  $C=PYR(a) \times 1.10=1.33 \times (1.1)=1.46$  elde edilir. Böylece prosesin yeterliliğini ispat etmek

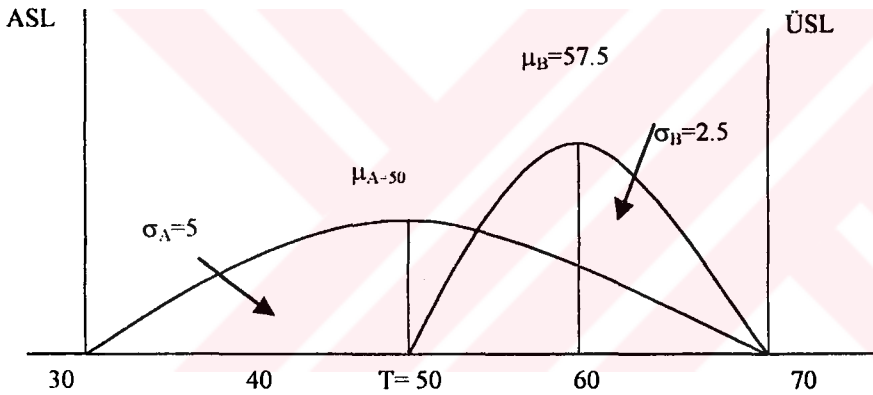
için üretici n=70 büyüklüğünde örnek almalı ve örnek proses yeterlilik rasyosu PYR, C=1.46'yı geçmeli.

### 3.6.6 Proses Merkezinin İki Tane Olması Durumunda PYR

Biz daha önceki kısımlarda  $PYR_k$  anlattık. Çünkü ortalamanın spesifikasyon limitlerinin arasında merkezlenmediği proses durumlarını PYR yeterince anlatamaz. Bununla birlikte  $PYR_k$  yalnız başına proses merkezinin yetersiz bir ölçüsüdür.

Örneğin; Aşağıda gösterilen iki prosesi düşünelim. A ve B proseslerinin her ikisinde de  $PYR_k=1.0$  dir. Ancak merkezleri birbirinden farklıdır.

Proses merkezini memnun kalınacak şekilde tanımlamak için  $PYR_k$ , PYR'na benzetilmeli. A prosesi için  $PYR_k = PYR = 1.0$  prosesin merkezde olduğunu ifade ederken B prosesi için  $PYR = 2.0 > PYR_k = 1.0$  prosesin merkezden sapmasını ifade eder. ÜSL ile ASL aralığında M' ün herhangi bir sabit değeri için  $PYR_k$ ,  $\sigma$  ile ters orantılı olur ve  $\sigma$  sifıra yaklaşıyorken büyük değerler alır.



Şekil 3.12 Cpk=1 durumunda iki proses

Bu tanımlama merkezin bir ölçüsü olan  $PYR_k$  'yı elverişsiz yapabilir. Böylece  $PYR_k$  'nın büyük değeri spesifikasyon aralığında ortalamanın yerleşimi hakkında hiç bir şey anlatmaz.

Bu zorluğu aşmanın bir yolu merkezi en iyi gösteren bir proses rasyosu

kullanmaktır. Böyle bir rasyo  $PYR_{km} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\tau}$  dir.  $\tau$  burada  $T = 1/2(\text{ÜSL} - \text{ASL})$

hedef değerinden sapmanın karesinin beklenen değerinin karesidir.

(Montgomery, 1991:379)

$$\tau = E[(x-T)^2] = [(x-M)^2] + (M-T)^2 = \sigma^2 + (M-T)^2$$

$$\text{Böylece } \text{PYR}_{\text{km}} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{\text{PYR}}{\sqrt{1 + \xi^2}} \quad \xi = \frac{T - \mu}{\sigma}$$

$$\text{PYR}_{\text{km}} \text{'i tahmin etmek için mantıklı bir yol } \hat{\text{PYR}}_{\text{km}} = \frac{\text{PYR}}{\sqrt{1 + V^2}} \text{ ve } V = \frac{T - \bar{x}}{S} \text{ dir.}$$

$\text{PYR}_k$  ve  $\text{PYR}_{\text{km}}$   $\mu = T$  olduğunda  $\text{PYR}$  ile çakıştığını ve  $\mu$ 'ün hareketleri  $T$ 'den uzaklaştığında azaldığını belirtelim. Bununla birlikte  $\text{PYR}_k < 0$ ,  $\mu > \text{ÜSL}$  veya  $\mu < \text{ASL}$  iken  $\text{PYR}_{\text{km}} \rightarrow \infty$  asimptotik olarak yaklaşır.

$$\text{PYR}_{\text{km}} \geq 1 \text{ için gerekli şart } |\mu - T| < \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6} \text{ dir. } \text{PYR}_{\text{km}} \text{ ın değeri } M \text{ ve hedef}$$

değer  $T$  arasındaki farklar üzerinde kısıtlı bir şekilde yerleşir.

Örneğin  $\text{PYR}_{\text{km}}$ 'ın kullanımını izah etmek için verilen A ve B prosesini düşünelim .A prosesi için (A prosesi hedef değer  $T=50$ 'de merkezlendiğinden )  $\text{PYR}_{\text{km}} = \text{PYR} / \sqrt{1 + \varepsilon^2} = 1.0 / \sqrt{1 + 0} = 1.0$  olarak buluruz. Yalnız  $\text{PYR}_{\text{km}} = \text{PYR}_k$  olduğunu belirtelim. Şimdi B prosesini hesaplayalım.  $\text{PYR}_{\text{km}} = \text{PYR} / \sqrt{1 + \varepsilon^2} = 2.0 / \sqrt{1 + (-3)^2} = 0.63$

### 3.6.7 Normal Dağılım Tablosunun Kusurlu Yüzdesinin Tahmininde Kullanılması

$\text{PYR}$  si çok küçük olduğu durumlarda limit dışı mamülün tahminin de  $Z$  tablosunu kullanabiliriz. (Devor,1992;261) Burada kullanılacak formül aşağıdaki gibidir.

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\hat{\sigma}_x}$$

Burada  $X$ , alt ve üst spesifikasyon limitlerinin değeridir.  $\bar{X}$  Proses ortalamasının tahminidir.  $\hat{\sigma}_x$  = proses standart sapmasının tahminidir.

**Örnek3.6:**  $\text{ASL}=195$  ve  $\text{ÜSL}=203$  olan bir prosesi ele alalım. Bu proseste  $\bar{X}=199.95$  ve  $\hat{\sigma}_x=2.8418$  bulunmuştur. Limit dışı mamulün oranını bulmak için  $Z_A = \frac{195 - 199.95}{2.8418} = -1.742$  Normal dağılım tablosundan  $Z=-1.72$ 'nin değeri  $0.0407$ 'dür.

Bu ölçülen her birimin alt spesifikasyon limitleri dışına düşme şansının  $\%4.07$  olduğunu ifade eder.



$$Z_u = \frac{203 - 199.95}{2.8418} = 1.073 \quad Z=1.073 \text{ değeri için normal eğri tablosundaki değer } 0.8586$$

dir. Bu ÜSL' nin solundaki alanın tamamını kapsar. ÜSL' nin yukarısındaki ihtimaliyet  $1.0 - 0.8586 = 0.1414$  tür. Spesifikasyonları karşılamayan mamulün yüzdesi  $\%4.07 + \%14.14 = \%18.21$  dir.

### 3.6.8.Ölçme Hataları ve Yeterlilik

şu ana kadar yeterlilik indislerinin hesaplanmasında ölçüm hatalarının olmadığını ve ölçüm aletlerinin her birim için duyarlı sonuçlar vereceğini kabul ettik. Bununla birlikte sezgisel olarak ölçme değişkenliğinin proses değişkenliğine bir miktar katkıda bulunacağı açıktır. Bunun için yeterlilik indislerinin hesaplanmasında bu değişkenlik miktarı da dikkate alınmalıdır.

Herhangi bir prosesin ölçümü  $x_m$ ,  $x$  karakteristik değeri ve ölçüm hatalarının ( $\epsilon$ ) toplamıdır.  $x_m = x + \epsilon$  dir. Burada yalnızca  $x_m$ 'in sayısal değerleri mevcuttur. Bununla birlikte  $\epsilon$  'nın büyüklüğü tahmin edilebilirse ölçüm hatalarından prosesin değişkenliğini ayırmak mümkün olabilir. Ölçüm hatalarını ölçülmüş değerlerin bağımsız istatistiği olarak farz ediyoruz. Ölçülmüş değerlerdeki değişkenlik için  $\sigma_m^2 = \sigma^2 + \sigma_\epsilon^2$  yazılabilir. Burada  $\sigma_\epsilon^2$  ölçüm hatalarının değişkenliğini gösterir ve  $\sigma^2$  gerçek değişkenliktir. Yani mamullerin değişkenliği.

Ölçüm hatalarının etkisini belirlemenin bir yöntemi ölçüm hatalarının kullanılan toleranslara yüzdesini bulmaktır. Yeterlilik indislerinin oluşturulmasında mantıki bir tarz  $\hat{\sigma}_m$  in kullanılmasıdır.(Farnum,1994:232)  $C = \frac{6\hat{\sigma}_\epsilon}{\text{ÜSL} - \text{ASL}}$  dir.  $c$  ölçüm hatalarının toleranslara bir yüzdesidir.  $c$ 'yi tahmin etmek için gerekli bilgi ölçüm cihazları tarafından sağlanmaktadır. Yukarıdaki eşitlik  $\sigma_\epsilon = \frac{c(\text{ÜSL} - \text{ASL})}{6}$  şeklinde

yazılır ve  $\sigma_m^2 = \sigma^2 + \left\{ c \left( \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6} \right) \right\}^2$  bulunur.

Ölçülmüş değerlere bağlı olarak hesaplanan yeterlilik indisini  $\hat{C}_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sqrt{\sigma^2 + \left\{ c \left( \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6} \right) \right\}^2}}$  ve  $C_p = \frac{1}{\sqrt{(1/C_p)^2 + c^2}}$  dir. Eğer ölçüm hataları

sıfır ise ( $\sigma_c = 0$ ) o zaman  $c=0$  ve  $\hat{C}_p = C_p$  olduğunu görürüz. Proses değişkenliği '0'a azaltılsa bile ölçüm hataları yeterlilik indisini sınırlar ve ikisi arasında şöyle bir eşitlik vardır. Yukarıdaki denkleme bağlı olarak  $\hat{C}_p \leq \frac{1}{c}$

$$C_p = \frac{1}{\sqrt{(1/\hat{C}_p)^2 - c^2}} = \frac{1}{\sqrt{(CR)^2 - c^2}} \text{ dir. Yeterlilik rasyosu} = CR = \frac{1}{\hat{C}_p} \text{ dir.}$$

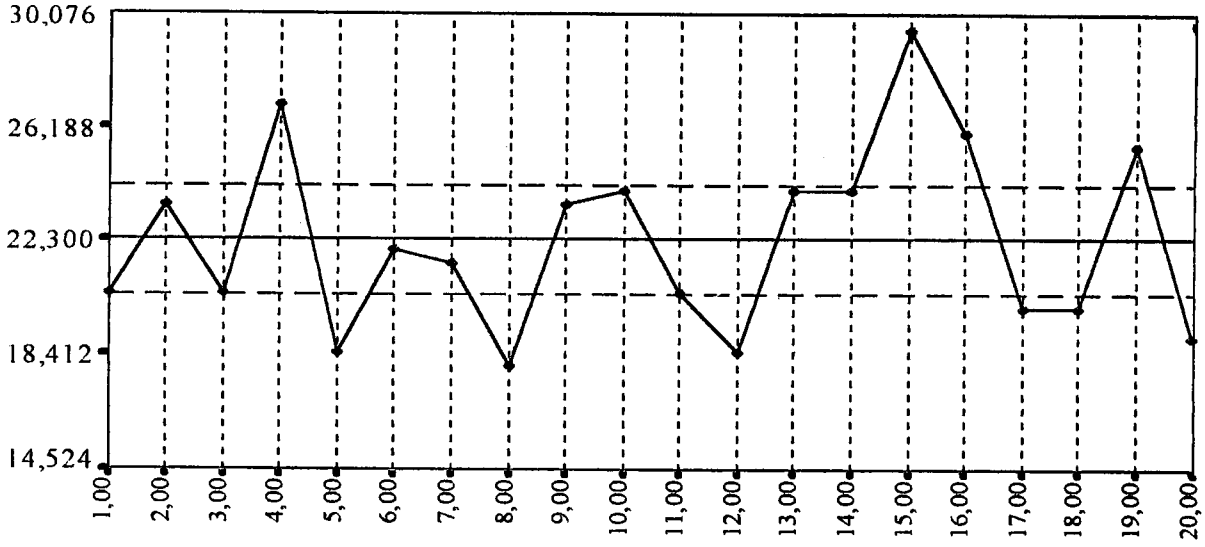
Bu eşitlik ölçme hatalarının sayısı hesaplandıktan sonra gerçek proses yeterliliğini tahmin etmede kullanılır.

**Örnek 3.7:** Bir üretimden alınan mamule ilişkin ölçme değerleri tablo 3.12'de verilmiştir. Buna göre ölçme aletlerinin yeterliliğini araştıralım.(Montgomery,1991:391)

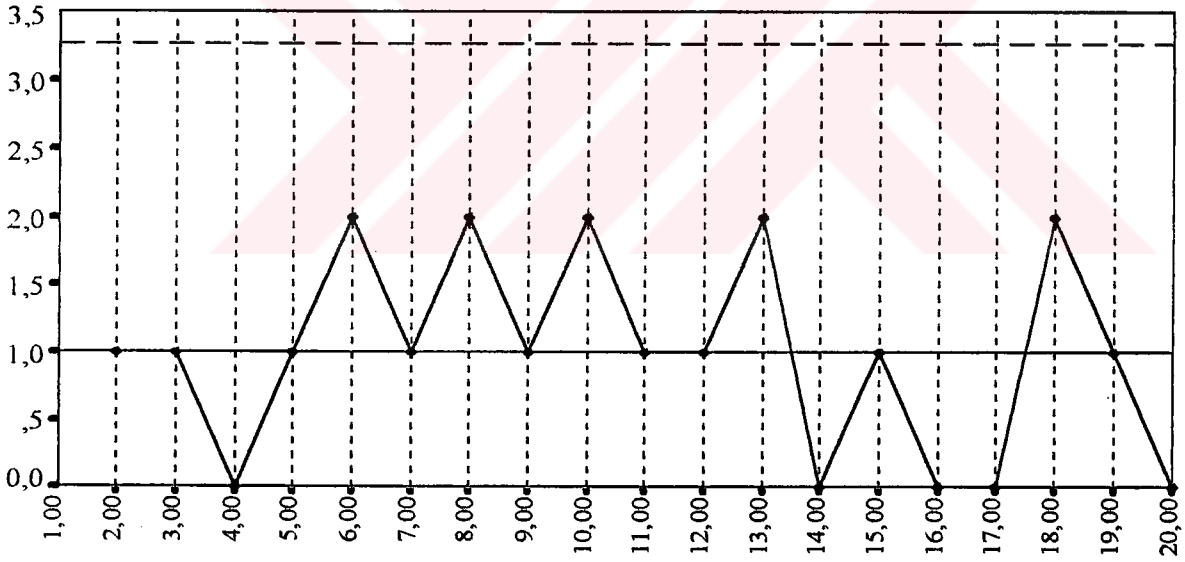
**Tablo 3.12 Örnek Veri Tablosu**

Parça Sayısı	Ölçümler			
	1	2	$\bar{x}$	R
1	21	20	20.5	1
2	24	23	23.5	1
3	20	21	20.5	1
4	27	27	27.0	0
5	19	18	18.5	1
6	23	21	22	2
7	22	21	21.5	1
8	19	17	18	2
9	24	23	23.5	1
10	25	23	24	2
11	21	20	20.5	1
12	18	19	18.5	1
13	23	25	24	2
14	24	24	24	0
15	29	30	29.5	1
16	26	26	26	0
17	20	20	20	0
18	19	21	20	2
19	25	26	25.5	1
20	19	19	19	0
			$\bar{x} = 22.3$	$\bar{R} = 1.0$

Bu verilerden elde edilen  $\bar{x}$  ve R grafikleri şekil 3.13 ve 3.14 de gösterilmektedir.



Şekil 3.13  $\bar{x}$  Kontrol Grafiği



Şekil 3.14 R Kontrol Grafiği

$\bar{x}$  grafiğinde birkaç nokta kontrol dışına çıkmaktadır. Bu örnekte  $\bar{x}$  grafiği ölçme cihazlarının ölçme gücünün farklı olduğunu gösterir. R grafiği doğruca ölçüm hatalarının büyüklüğünü veya ölçme aletinin yeterliliğini gösterir.

$$\text{Ölçüm hatasının standart sapması } \sigma_e = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{1}{1.128} = 0.887$$

$6\hat{\sigma}_e$  = ölçme yeteneğinin iyi bir tahminidir. Bu problemde  $6\hat{\sigma}_e = 6(0.887) = 5.32$

$C = \frac{6\hat{\sigma}_e}{\text{ÜSL} - \text{ASL}}$  dir. Bu örnekte kullanılan parçalarda ÜSL=60 ve ASL=5'dir.

$$C = \frac{6(0.887)}{60 - 5} = \frac{5.32}{55} = 0.097$$

$C \leq 0.1$  değeri ölçme aletlerinin yeterli olduğunu belirtir. Ölçme cihazlarının yeterliliği ile ilgili verilerden toplam varyansı tahmin edebiliriz. Gerçek örneklem ölçümlerinden  $s=6.2$  bulunur.

Bu toplam değişkenliğin standart sapmasının bir tahminidir. Mamül değişkenliği ve ölçme yeteneğinin her ikisini de dahil etmek suretiyle

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = (6.2)^2 = 38.44 \quad \sigma_{\text{toplam}}^2 = \sigma_{\text{mamül}}^2 + \sigma_{\text{ölçmealet}}^2$$

$$\sigma^2 = (0.887)^2 = 0.79$$

Buradan mamul varyansının bir tahminini elde edebiliriz.

$$\sigma_{\text{mamül}}^2 = \sigma_{\text{toplam}}^2 - \sigma_{\text{ölçmealet}}^2 = 38.44 - 0.79 = 37.65$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{37.65} = 6.14$$

Ölçme hataları mamul karakteristiğinin bir yüzdesi gibi de açıklanabilir.

$$\frac{\hat{\sigma}_e}{\hat{\sigma}_m} \times 100 = \frac{0.887}{6.14} \times 100 = 14.4\%$$

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. TEKSTİL SANAYİNDE BİR UYGULAMA

#### 4.1 Uygulamanın Yapıldığı Yer

Uygulama Malatya'da kurulu bulunan Güntaş İplik Fabrikalarında yapılmıştır. Güntaş Fabrikası 1986 yılında kurulmuştur. Kurulduğu yıldan itibaren fabrika kapasitesini artırmak suretiyle faaliyetlerini sürdürmektedir.

İlk fabrika 25.440 İĞ'lik Vater Makinaları ile günde 11 ton iplik üretmekteydi. 1993 yılında ikinci fabrikasıyla da 2880 Rotorluk 12 Open End Makinası ile günde 25 ton iplik üretim kapasitesine ulaşmış oldu. 1998 Eylül ayında da üçüncü fabrikasıyla da 37.000 İĞ'lik Vater Makinalarını işletmeye açarak günde 45 ton iplik çalışabilecek kapasiteye ulaşmış oldu. Halen dördüncü fabrikasının da inşaatı bitmiş olup, global kriz nedeniyle şu an beklemeye alınmıştır. Eğer önümüzdeki 1-2 yıl içinde o fabrikada işletmeye alınırsa günlük 60 ton iplik üretim kapasitesine ulaşmış olacaktır.

Fabrikada halen 15 teknik eleman ve 450 işçi çalışmaktadır. Fabrikalar Malatya'da olup Genel Müdürlük-Muhasebe ve de Satın Alma İstanbul'da bulunmaktadır.

#### 4.2 Fabrikanın Üretim Alanı Ve Üretim Akışı

Fabrikada pamuk ipliği üretilmektedir. Balyalar halinde gelen pamuk elyafları Şekil 4.1 de görüldüğü üzere çeşitli aşamalardan geçerek ipliğe dönüştürülmektedir.

Bu üretim aşamaları şöyledir.

-Tarak Makinesi

-Cer Makinesi

-Fitil Makinesi

-Vater Makinesi

-Bobin Makinesi

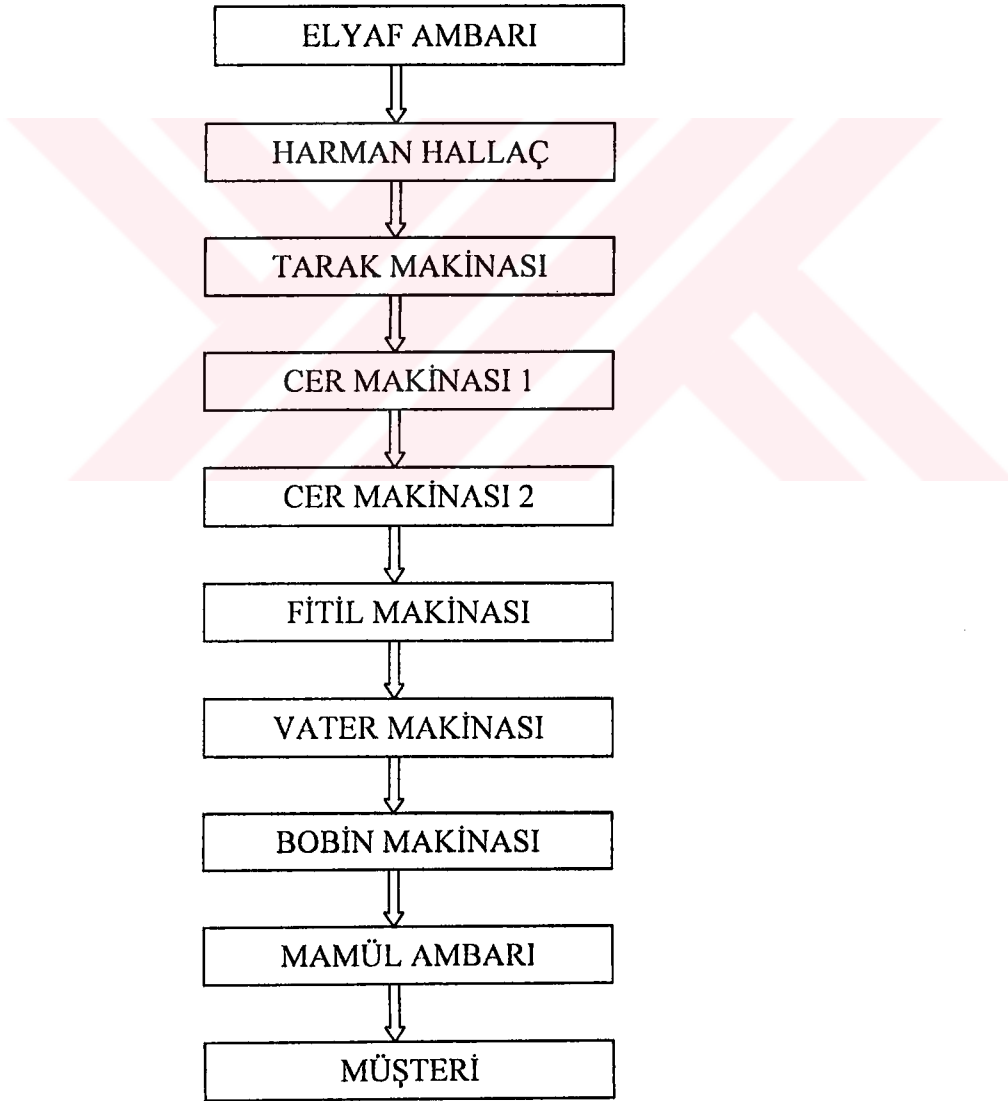
1-Tarak Makinası: Vatka halinde beslenen elyaf tutamlarını; açma-temizleme işlemleri ile düzgün bir şerit elde edilmesini sağlar.

2-Cer Makinası: Tarak Makinasından gelen şeritler arasındaki numara ve %cv dengesizliklerini; çekme işlemi ile daha homojen hale getirerek kaliteli şerit elde edilmesini sağlar.

3-Fitil Makinası: Cer makinasından gelen şeritleri kısmi büküm ve çekim işlemi ile inceltmek üzere vater makinasında kullanılmak üzere uygun fitil hazırlar.

4-Vater Makinası: Fitil Makinasından gelen fitiller belirli bir çekim ve büküm işlemi ile müşterilerin istediği kalite ve numara bazında ipliğin elde edilmesini sağlar.

5-Bobin Makinası: Vater makinasından kops halinde çıkan iplikler üzerinde kaliteye etki eden hatalar mevcuttur. Bu hatalar belirli limitler arasında kalmak şartı ile; limit dışı gelen hatalar temizlenerek, müşteriye sevk edilmek üzere patronlara sarılır.



Şekil 4.1 Proses Akış Diyagramı

### 4.3 Uygulamanın Yapılma Şekli

Uygulama Şekil 4.1’de görüldüğü üzere Vater Makinasının çıktıları üzerinde yapılmıştır. Vater makinası elyafların işlenip müşteriye sevk edilmeden önceki son aşamadır. Burada ipliğe dönüşen elyaflar kopslara sarılmakta ve bu kopslar üzerinde son kontroller yapılmaktadır. Kopslar üzerinde yapılan kontrolleri ikiye ayırabiliriz;

#### 1- İplerin Nm kontrolü

Burada her kopstan bir gram iplik alınarak uzunluğu ölçülmektedir. Bizim çalışma yaptığımız dönemde 30 No ile tanımlanan mamul üretildiğinden, dolayısıyla her bir gram ipliğin 30 metre gelmesi istenmektedir.

$$Nm = \frac{\text{metre}}{\text{gram}} \text{ veya } \frac{\text{uzunluk}}{\text{ağırlık}} \text{ 'tır.}$$

Çalışma yaptığımız makinada, makina 29.50’ye göre ayarlanmıştı. Bu ipliğe ait kalite spesifikasyonları ise ASL=29 ve ÜSL=30 ‘dur. Prosesten beklenen ise sonuçların 29.50 şeklinde çıkmasıydı.

#### 2- Uster Testi

Buna hata sayımı da diyebiliriz. Yani ipliğin üzerindeki düzgünsüzlük miktarını veren rakam. Düzgünsüzlük dediğimiz ise ipliğin üzerindeki kalın, ince noktaların ve nepslerin sayısal değerlerinin belli bir katsayıyla çarpımından elde edilen %u değerleridir. Nepsler ise iplik üzerindeki ölü elyafların, çeper ve diğer yabancı maddelerin toplamıdır.

Uster testinde kabul edilecek kalite seviyeleri, dünyada iplik kalitesine yön veren Uster Firmasının her beş senede bir yayınladığı Uster İstatistikleri kitabındaki grafiğe göre belirlenir ve tüm dünya bu verilere göre kendi ipliğinin kalitesini görür.

**Tablo 4.1 Uster Değerleri**

	Alt Sınır	Üst Sınır
%5 Sınırı	-	11.5
%25 Sınırı	11.5	12.8
%50 Sınırı	12.80	13.90
%75 Sınırı	13.90	14.90
%95 Sınırı	14.90 ve Daha Yukarısı	

Burada iyiden kötüye doğru bir sıralanış vardır. Örneğin % 5 sınırı Dünyada aynı elyaf dan bu ipliği üreten firmalar arasında bizim ipliğin kalitesi ilk %5'e giriyor demektir. Yani ipliğimiz dünya kalitesinde ilk %5 içersindedir.

Çalıştığımız işletmenin kendisi için belirlediği hedef %25 sınırdır. Dolayısıyla bu işletme için  $ASL=11.5$  ve  $ÜSL=12.8$  dir.

#### **4.4 Örneklerin Alınması ve Örnek Sayısı**

Örnekler 4 gün boyunca Vater makinasından saat 10.00 ile 12.00 arasında tesadüfi olarak alınmıştır. Yapılan örnekleme  $n=5$  büyüklüğünde 30 örnekten ibarettir.

#### **4.5 Örneklerin Ölçülmesi**

Nm kontrolü için alınan her kops otomatik ölçüm makinasına takılmakta ve burada bir gram ipliğin kaç cm geldiği bu makine tarafından kaydedilmektedir. Tablo 4.2-3-4-5'da bu sonuçlar verilmektedir.

Yine aynı şekilde hata sayımı amacıyla alınan her örnek Uster makinasına takılmakta ve burada otomatik olarak iplikler üzerindeki hatalar sayılmaktadır. Bunun için toplam uzunluğu 5.000 mt olan her kops'un 450 mt'sindeki hataları sayılmaktadır. Tablo 4.6'da buna ait sonuçlar verilmektedir.



**Tablo 4.2 Nm Kontrolü İçin Birinci Gün Alınan Örnekler**

Örnek No	Ölçülen Değerler					$\Sigma X$	$\bar{X}$	R
1	30	30	30.42	29.86	30.42			
2	30	30.14	29.60	29.86	30.14			
3	30	30.14	29.58	29.86	30.14			
4	30	30.14	29.60	29.70	29.45			
5	30	30.14	30.56	29.72	29.72			
6	29.72	29.67	28.42	28.80	28.92			
7	29.32	29.45	29.86	28.80	29.45			
8	29.32	29.45	28.54	30.42	29.45			
9	29.32	29.58	29.05	28.95	29.40			
10	29.72	29.55	29.32	29.58	29.72			
11	29.32	30	29.20	29.20	29.18			
12	29.42	29.45	29.50	28.90	29.58			
13	29.60	30.28	29.80	29.58	30.28			
14	29.40	29.45	29.32	29.20	28.95			
15	29.45	30.42	28.80	29.58	29.58			
16	29.60	29.72	29.86	29.32	29.45			
17	29.32	29.72	29.58	29.32	29.58			
18	29.58	29.58	29.86	29.58	29.58			
19	29.86	29.72	29.45	29.05	29.86			
20	29.72	29.74	30.14	29.45	29.58			
21	29.20	29.86	30	29.05	29.72			
22	29.18	29.80	30.14	29.58	29.58			
23	30.28	29.86	30.14	30.14	29.72			
24	30.28	29.98	30	30.42	29.58			
25	29.59	29.64	29.82	29.93	29.74			
26	30.28	29.72	29.86	29.45	29.45			
27	30	29.70	30	30	29.32			
28	29.20	29.45	29.86	29.45	29.50			
29	30.14	29.72	29.72	30.56	29.60			
30	29.45	29.45	28.92	29.72	29.45			

$$\bar{x} \text{ için } \bar{ÜKL} = \bar{x} + A_2 \bar{R}$$

$$AKL = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

$$R \text{ için } \bar{ÜKL} = D_4 \bar{R}$$

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

**Tablo 4.3 Nm Kontrolü İçin İkinci Gün Alınan Örnekler**

Örnek No	Ölçülen Değerler					$\Sigma X$	$\bar{X}$	R
1	29.58	30.14	29.45	29.58	29.45			
2	28.80	29.05	29.45	29.40	29.45			
3	29.86	29.45	29.58	29.45	29.58			
4	30	29.32	30	30	30.28			
5	29.18	29.32	29.45	29.20	29.45			
6	29.60	30.14	29.72	29.58	29.58			
7	29.58	30	29.70	29.45	29.86			
8	29.80	30	30	30	29.80			
9	29.58	29.72	29.58	30	29.58			
10	30	29.80	30.42	29.86	29.20			
11	29.05	29.72	29.05	29.18	29.20			
12	29.40	29.45	29.15	29.20	28.42			
13	29.10	29.58	29.05	29.25	28.95			
14	29.05	29.32	29.32	29.20	30.42			
15	29.95	29.58	29.15	29.42	29.10			
16	29.45	30	30	30.42	30			
17	30.60	30.80	30.28	30	30			
18	30.28	30.85	30.28	30.50	30.56			
19	29.18	30.28	29.32	29.40	29.67			
20	30.56	31	30.42	30.56	30.27			
21	29.18	30.14	29.20	29.20	29.75			
22	30	29.80	30	29.20	29.10			
23	29.20	30	29.45	30.42	29.64			
24	29.45	30.14	29.60	30.14	29.48			
25	29.72	30.20	29.20	30.56	29.74			
26	29.86	29.72	29.58	29.58	30			
27	29.45	30.14	29.58	29.72	29.86			
28	29.86	29.86	30.14	29.05	28.92			
29	29.80	29.80	30	29.18	29.18			
30	29.45	30.42	28.92	29.18	29.18			

$$\bar{x} \text{ için } \bar{ÜKL} = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad \bar{AKL} = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

$$R \text{ için } \bar{ÜKL} = D_4 \bar{R} \quad \bar{AKL} = D_3 \bar{R}$$

**Tablo 4.4 Nm Kontrolü İçin Üçüncü Gün Alınan Örnekler**

Örnek No	Ölçülen Değerler					$\Sigma X$	$\bar{X}$	R
1	30.28	29.86	30.28	30	30.28			
2	30.14	29.32	30.42	30.28	30.42			
3	29.18	29.86	29.58	29.86	29.72			
4	29.58	29.32	30.14	29.45	29.45			
5	30.28	29.72	29.72	29.86	30			
6	29.58	29.32	29.86	29.58	29.72			
7	29.32	29.86	29.58	29.58	29.85			
8	29.58	29.32	29.72	29.72	29.72			
9	29.86	29.86	29.86	29.72	29.80			
10	29.05	30	29.32	30	30			
11	29.45	29.58	29.45	29.20	29.20			
12	29.45	29.45	29.45	29.72	29.58			
13	29.58	29.58	29.72	29.20	29.80			
14	30.42	29.72	29.18	28.90	30.14			
15	29.58	29.45	30	30	29.72			
16	29.20	29.45	29.86	29.32	29.58			
17	29.32	29.58	29.05	29.45	29.32			
18	29.58	28.92	29.45	30.14	29.05			
19	30.14	29.58	29.45	30	30.28			
20	29.45	30	29.45	29.18	29.58			
21	29.86	29.72	29.32	30.28	29.58			
22	29.20	29.32	29.30	29.86	29.86			
23	29.05	29.05	28.92	29.28	29.32			
24	29.20	29.18	28.80	29.45	29.72			
25	29.18	28.70	29.32	28.92	29.18			
26	29.32	30	29.45	29.45	29.45			
27	29.58	29.80	30	30.25	30			
28	29.86	28.90	29.32	29.72	29.40			
29	29.76	29.32	29.58	29.86	29.60			
30	29.72	28.92	29.72	29.58	29.45			

$$\bar{x} \text{ için } \bar{ÜKL} = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad \bar{AKL} = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

$$R \text{ için } \bar{ÜKL} = D_4 \bar{R} \quad \bar{AKL} = D_3 \bar{R}$$

**Tablo 4.5 Nm Kontrolü İçin Dördüncü Gün Alınan Örnekler**

Örnek No	Ölçülen Değerler					$\Sigma X$	$\bar{X}$	R
1	29.45	29.05	29.72	29.58	29.86			
2	30.14	30.05	30	30.14	30.14			
3	29.32	30	29.58	29.32	29.86			
4	28.92	30	29.45	30.14	29.86			
5	29.72	29.72	29.45	30	29.45			
6	30	29.86	30	30.42	29.58			
7	29.86	30.42	30.14	30.14	29.45			
8	29.32	30.14	30	29.72	29.58			
9	29.72	29.86	29.72	29.86	29.32			
10	29.72	30	29.45	29.32	29.72			
11	29.72	29.58	30.14	30	29.60			
12	29.60	29.58	30	30	29.60			
13	29.72	29.58	30.14	30	30			
14	29.72	30.26	30.14	30.28	30			
15	29.80	30.50	30.20	30	30.10			
16	29.60	30.42	29.60	29.60	30.20			
17	30.42	30	29.92	29.32	29.58			
18	29.40	29.45	30	29.72	30.40			
19	30.42	29.72	29.86	29.18	29.90			
20	29.58	29.60	29.58	29.45	30			
21	29.32	29.72	29.60	29.45	30.50			
22	29.70	29.75	29.60	29.70	29.50			
23	29.32	29.45	29.20	29.50	29.70			
24	29.20	29.20	29.86	29.40	29.15			
25	29.70	29.86	29.85	29.42	29.40			
26	29.45	29.45	29.72	29.58	29.86			
27	29.45	29.45	29.60	29.86	29.05			
28	29.45	29.58	29.72	29.86	29.72			
29	29.45	30	29.45	30	29.72			
30	29.45	29.45	29.72	29.86	29.15			

$$\bar{x} \text{ için } \bar{ÜKL} = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad \bar{AKL} = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

$$R \text{ için } \bar{ÜKL} = D_4 \bar{R} \quad \bar{AKL} = D_3 \bar{R}$$

**Tablo 4.6 Uster Kontrolü İçin Alınan Örnekler**

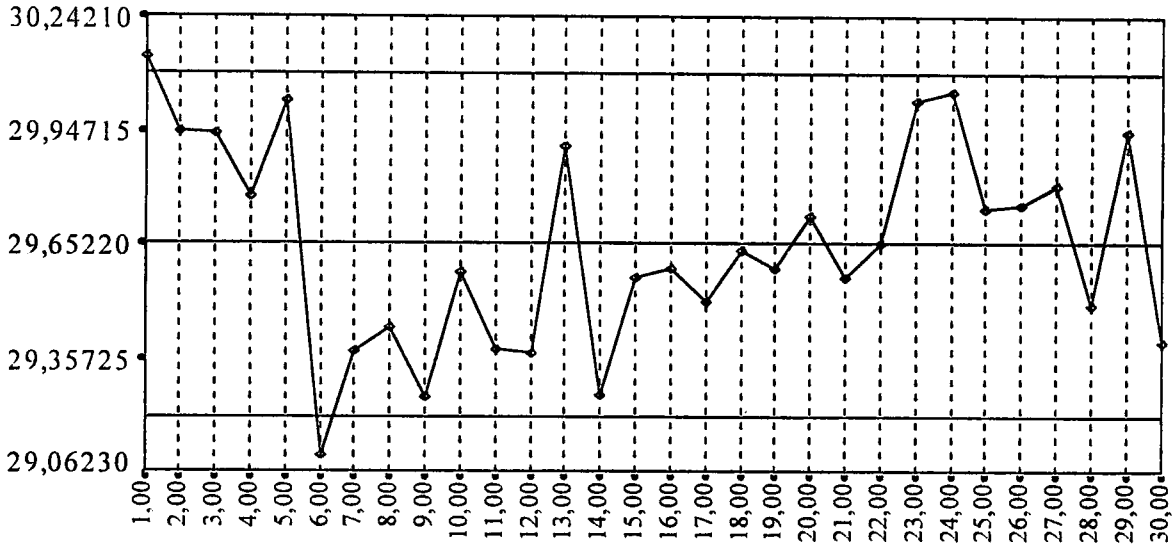
Örnek No	USTER TESTİ					$\Sigma X$	$\bar{X}$	R
	Ölçülen Değerler							
1	11.95	12.75	12.63	12.35	12.26			
2	12.36	12.10	11.82	11.99	12.01			
3	12.68	12.44	11.75	12.08	12.39			
4	12.00	11.65	12.23	11.83	11.57			
5	11.41	12.03	12.08	11.32	12.03			
6	11.97	12.27	12.64	11.96	12.58			
7	12.32	12.05	12.47	12.43	12.38			
8	12	12.05	12.38	12.52	12.59			
9	11.79	12.33	12.10	11.81	11.80			
10	12.40	12.19	12.43	12.69	12.35			
11	12.28	11.65	12.10	11.66	11.80			
12	12.80	11.88	11.90	12.45	12.54			
13	12.33	12.11	12.16	12.06	12.65			
14	11.95	12.12	12.35	12.07	12.29			
15	12.59	12.32	12.59	12.33	11.84			
16	12.28	12.37	12.64	12.25	12.58			
17	12.43	12.31	12.53	12.76	12.25			
18	12.65	12.40	12.45	12.60	12.50			
19	12.19	11.57	12.35	12.02	12.71			
20	12.51	12.82	12.39	12.15	11.88			
21	12.09	12.15	12.13	11.90	12.15			
22	11.94	12.25	12.35	11.72	11.34			
23	11.96	12.19	12.25	12.02	11.99			
24	12.48	12.80	12.51	12.70	12.80			
25	12.40	12.73	12.75	12.88	12.24			
26	11.75	12.10	12.28	12.13	12.19			
27	12.60	12.25	12.40	12.41	12.31			
28	12.25	12.26	12.13	11.90	12.10			
29	12.19	12.03	12.25	11.96	12.16			
30	12.27	12.06	12.56	12.20	11.95			

#### 4.6 Uygulanan Proses Kontrol Teknikleri

Fabrikada yapılan kontroller daha öncede bahsedildiği üzere iki türdür. Birisi Nm ve diğeri Uster testi. Nm kontrolünde mamulün uzunluğu esas alınmakta olup, bu durumda kullanılacak proses kontrol tekniği kontrol grafiklerinden niceliklerle ilgili olan  $\bar{x}$  ve R kontrol grafiği olup bu grafiğe göre kontroller gerçekleştirilmiştir. Bakınız Şekil 4.2-3-5-6-8-9-11-12

Kontrol grafikleri ile beraber proses yeterlilik grafikleri de incelenmiş mukayeseli olarak beraber verilmiştir. Bakınız Şekil 4.4-7-10-13-15

4.gün sonunda yapılan diğeri bir örneklemede ise mamuller üzerindeki hatalar sayılmış olup, bunun kontrolünde ise niteliklerle ilgili kontrol grafiklerinden u kontrol grafiği kullanılmıştır. Bakınız şekil 4.14

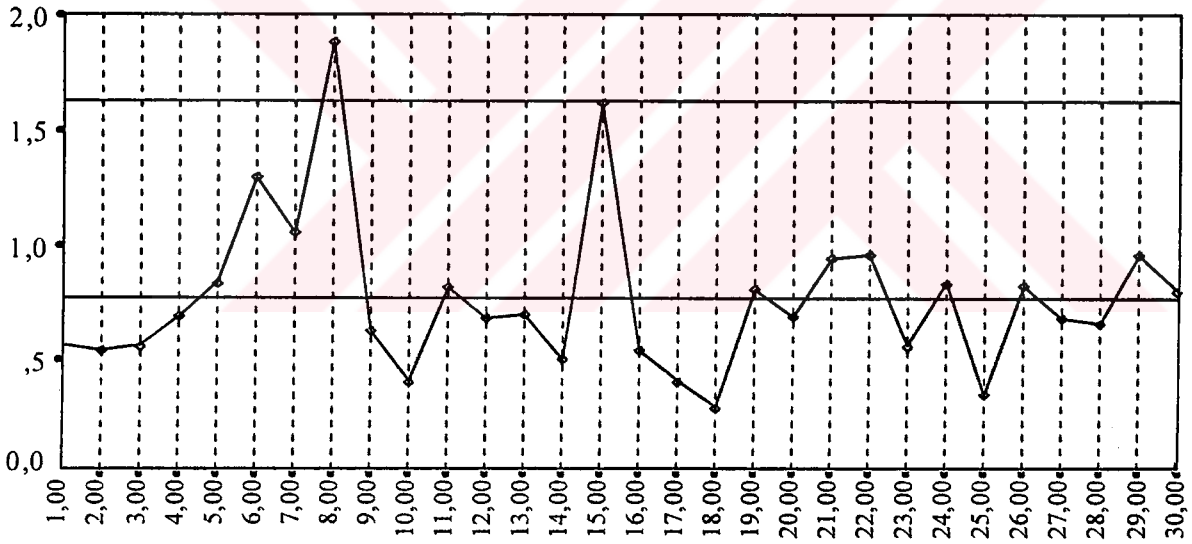


Şekil 4.2 Birinci Gün Alınan Örneklerle Ait  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği

ÜKL=30.09

AKL=29.21

Merkez Çizgi=29.65



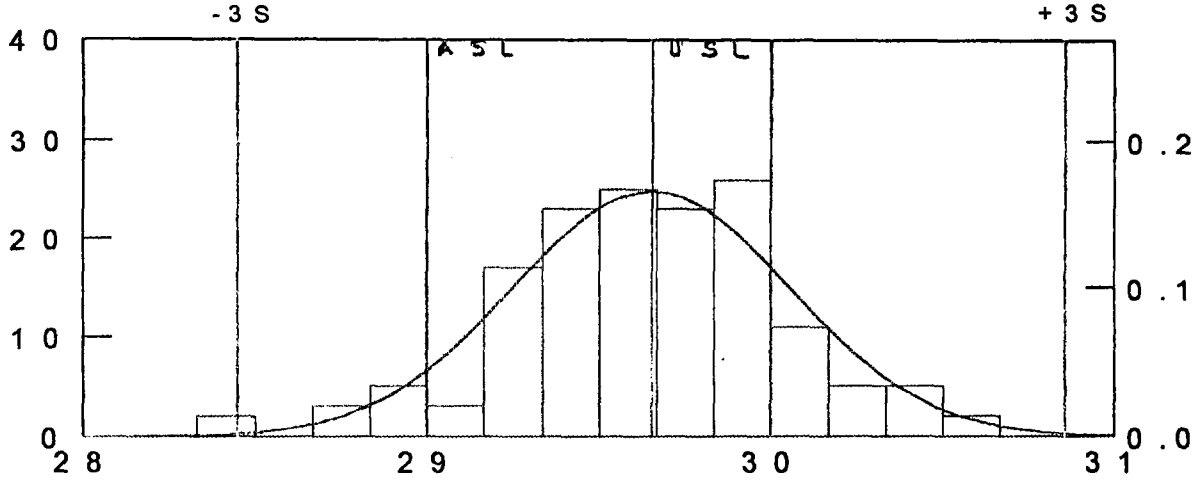
Şekil 4.3 Birinci Gün Alınan Örneklerle Ait R Kontrol Grafiği

ÜKL=1.63

AKL=0.00

Merkez Çizgi=0.77

Kontrol grafikleri incelendiğinde;  $\bar{X}$  grafiğinde 1.ve 6.grup,R grafiğinde 8. grup kontrol limitlerinin dışında olduğundan proses kontrol altında değildir.



**Şekil 4.4 Birinci Gün Alınan Örneklerle Ait Proses Yeterliliği Grafiği**

Kontrol grafiklerine göre kontrol altında olmayan prosesin, proses yeterliliği grafiği incelendiğinde yetersiz olduğu görülmektedir. Prosesteki verilerin yayılımı her iki spesifikasyon limitlerinin dışına taşmaktadır. Sayısal olarak yeterliliği hesapladığımızda;

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6s} = \frac{30 - 29}{(6 \times 0.40)} = \frac{1}{2.4} = 0.416$$

Prosesin ortalaması spesifikasyonların merkezi çakışmadığından  $C_{pk}$ 'nında hesaplanması gerekir.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{3\sigma}; \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{3\sigma} \right\} = \min \left\{ \frac{30 - 29.66}{(3 \times 0.40)}; \frac{29.66 - 29}{(3 \times 0.40)} \right\} = \min(0.283; 0.55)$$

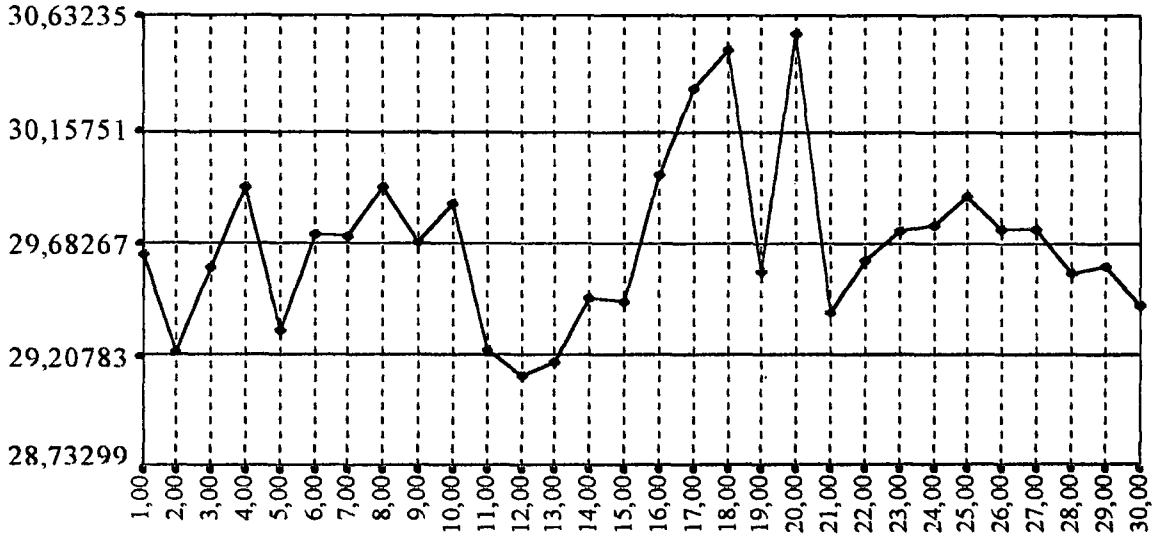
$C_{pk} = 0.283$  olduğundan proses yetersizdir.

Bu durumda limit dışı mamul miktarını tahmin edebiliriz.

$$Z_1 = \frac{\text{ÜSL} - \bar{x}}{s} = \frac{30 - 29.66}{0.40} = 0.85 \text{ nin } Z \text{ değeri } 0.1977$$

$$Z_2 = \frac{\bar{x} - \text{ASL}}{s} = \frac{29.66 - 29}{0.40} = 1.65 \text{ nin } Z \text{ değeri } 0.0495$$

Toplam 0.2472'dir. Yani üretilen mamullerin %24,72 si spesifikasyonları karşılamayacaktır.

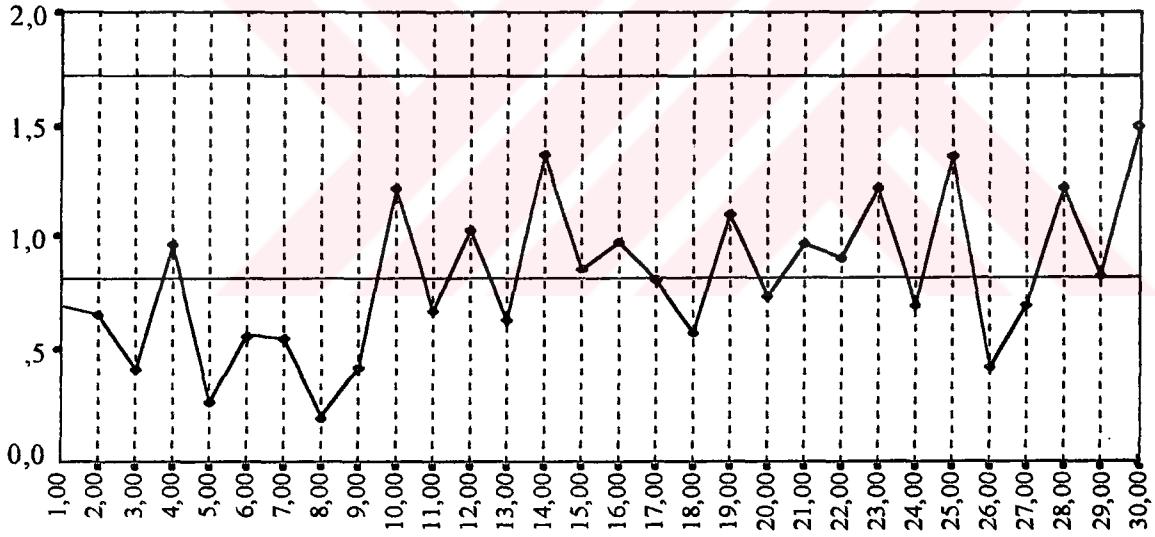


Şekil 4.5 İkinci Gün Alınan Örneklerle Ait  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği

ÜKL=30.15

AKL=29.21

Merkez Çizgi=29.68



Şekil 4.6 İkinci Gün Alınan Örneklerle Ait R Kontrol Grafiği

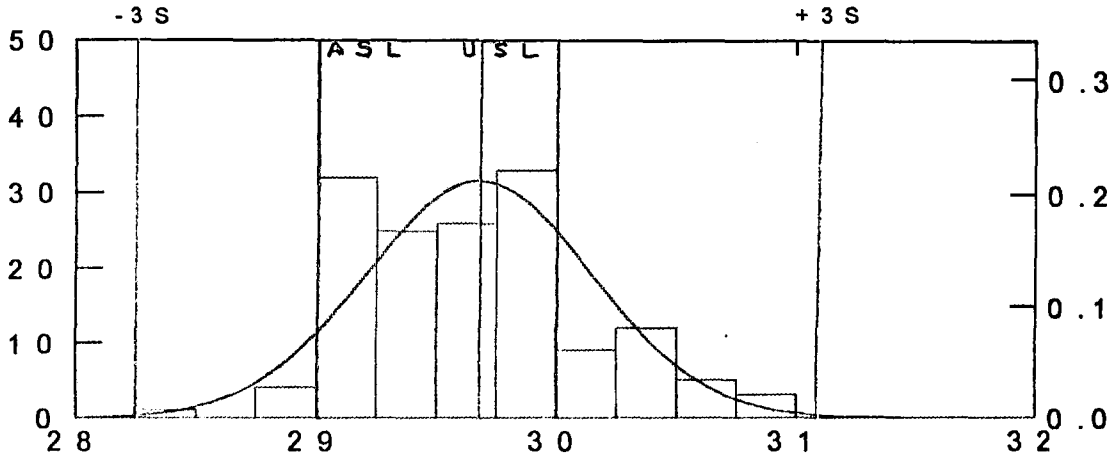
ÜKL=1.72

AKL=0.00

Merkez Çizgi=0.81

Kontrol grafikleri incelendiğinde prosesin kontrol altında olmadığı görülmektedir.





**Şekil 4.7 İkinci Gün Alınan Örneklerle Ait Proses Yeterliliği Grafiği**

Proses yeterliliği grafiğine göre de prosesin yetersiz olduğu görülmektedir. Yeterlilik hesaplandığında;

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6s} = \frac{3.0 - 2.9}{(6 \times 0.47)} = \frac{1}{2.82} = 0.354 \text{ bulunur.}$$

Prosesin ortalaması ile spesifikasyonların merkezi çakışmadığından  $C_{pk}$ 'ninde hesaplanması gerekir.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{3s}\right) = \min\left(\frac{3.0 - 29.68}{(3 \times 0.47)}, \frac{29.68 - 29}{(3 \times 0.47)}\right) = \min(0.226; 0.482)$$

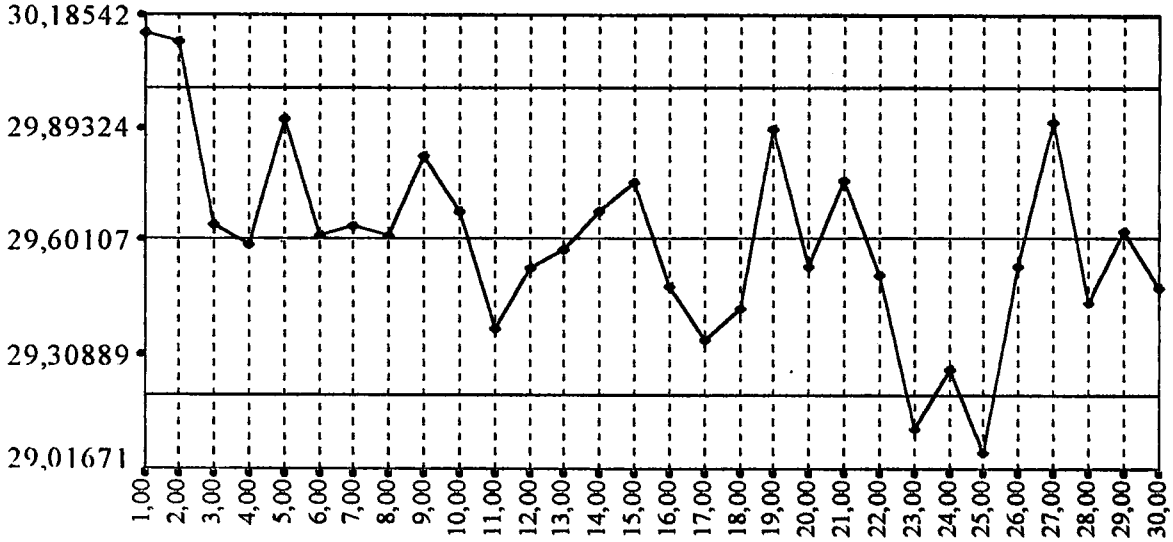
$C_{pk} = 0.226$  Proses yetersizdir.

Bu durumda limit dışı mamul miktarını tahmin edebiliriz.

$$Z_1 = \frac{\text{ÜSL} - \bar{x}}{s} = \frac{3.0 - 29.68}{0.47} = 0.68 \text{ nin Z değeri } 0.2483$$

$$Z_2 = \frac{\bar{x} - \text{ASL}}{s} = \frac{29.68 - 29}{0.47} = 1.45 \text{ nin Z değeri } 0.0735$$

Toplam 0.3218'dir. Yani üretilen mamullerin %32,18 si spesifikasyonları karşılamayacaktır.

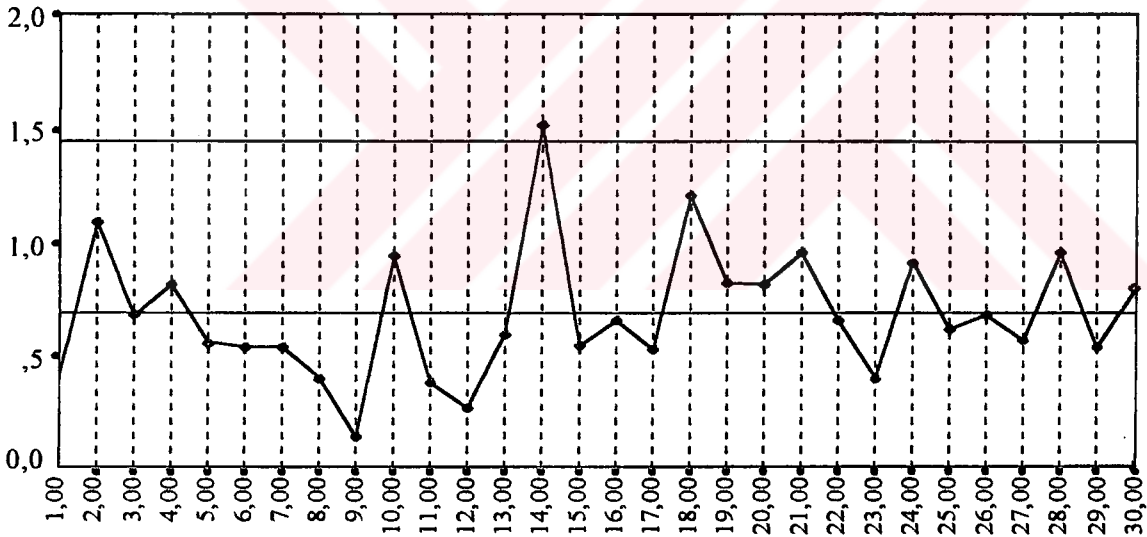


Şekil 4.8 Üçüncü Gün Alınan Örneklerle Ait  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği

ÜKL=29.99

Merkez Çizgi=29.60

AKL=29.20



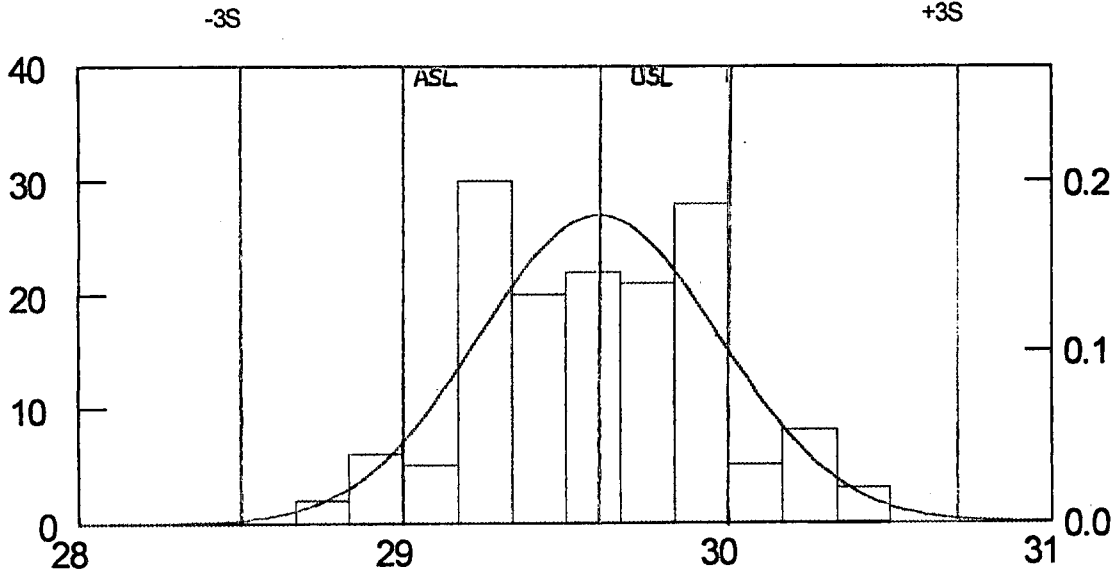
Şekil 4.9 Üçüncü Gün Alınan Örneklerle Ait R Kontrol Grafiği

ÜKL=1.45

AKL= 0.00

Merkez Çizgi=0.69

Kontrol grafiklerinden prosesin kontrol altında olmadığını görmekteyiz



**Şekil 4.10 Üçüncü Gün Alınan Örneklerle Ait Proses Yeterliliği Grafiği**

Proses yeterliliği grafiğinden prosesin yetersiz olduğu görülmektedir. Yeterlilik hesaplandığında ;

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6s} = \frac{30 - 29}{(6 \times 0.37)} = \frac{1}{2.22} = 0.450$$

Prosesin ortalaması ile spesifikasyonların merkezi çakışmadığından  $C_{pk}$ 'nında hesaplanması gerekir.

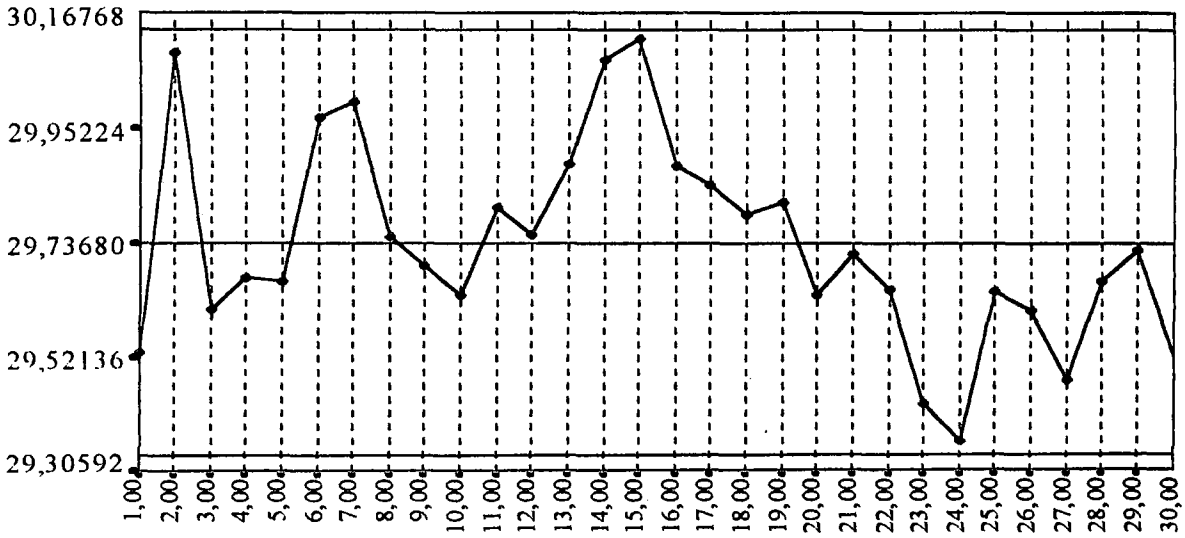
$$C_{pk} = \min\left(\frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{3s}; \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{3s}\right) = \min\left(\frac{30 - 29.60}{(3 \times 0.37)}; \frac{29.60 - 29}{(3 \times 0.37)}\right) = \min(0.360; 0.540)$$

$$C_{pk} = 0.360$$

$$\text{Limit dışı mamul miktarı ise; } Z_1 = \frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{s} = \frac{30 - 29.60}{0.37} = 1.08 \text{'in Z değeri } 0.1401$$

$$Z_2 = \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{s} = \frac{29.60 - 29}{0.37} = 1.62 \text{'nin Z değeri } 0.0526$$

Toplam 0.1927'dir. Yani üretilen mamullerin %19.27'si spesifikasyonları karşılamayacaktır.

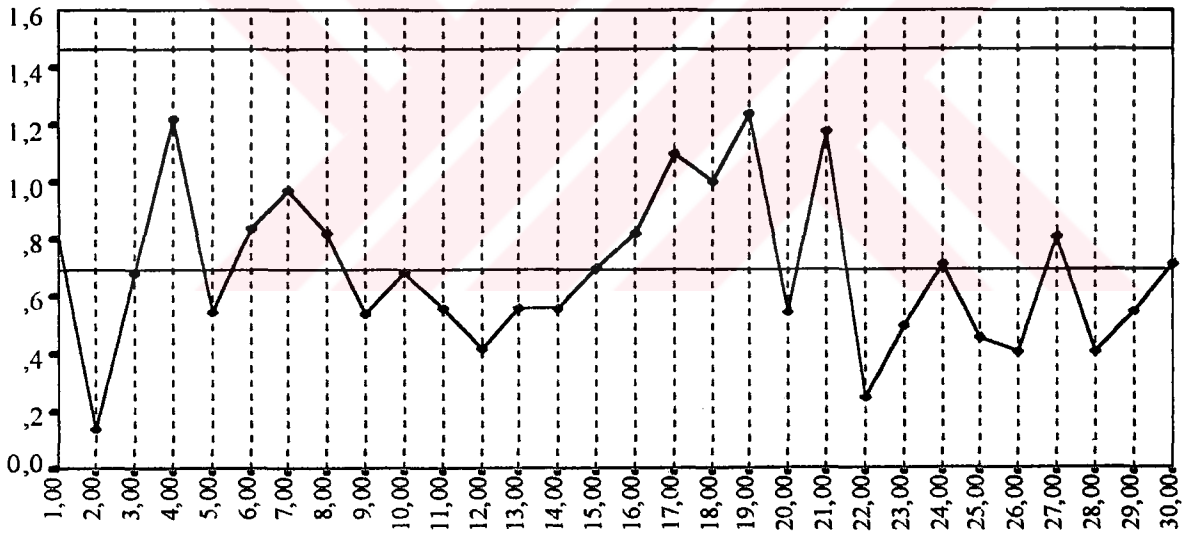


**Şekil 4.11 Dördüncü Gün Alınan Örneklerle Ait  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği**

ÜKL=30.16

AKL=29.31

Merkez Çizgi=29.73



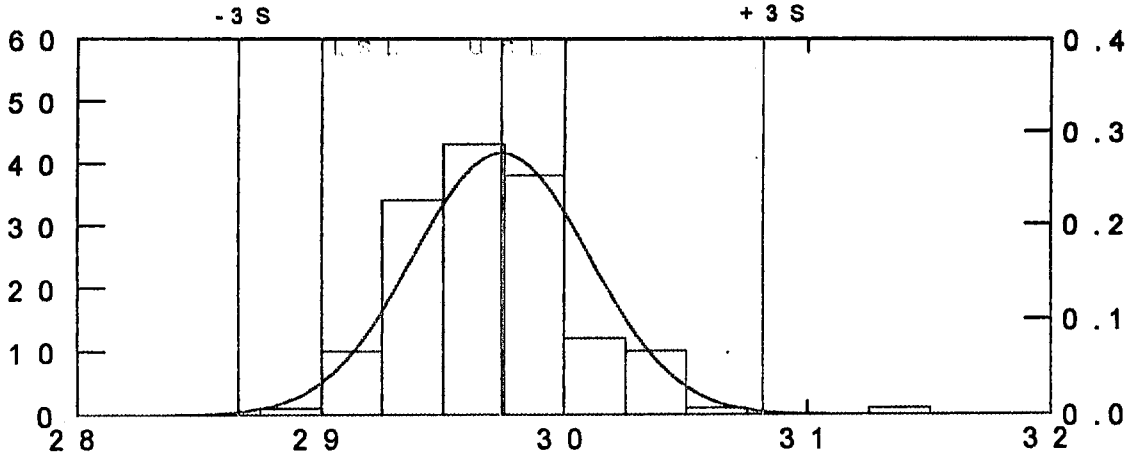
**Şekil 4.12 Dördüncü Gün Alınan Örneklerle Ait R Kontrol Grafiği**

ÜKL=1.46

AKL= 0.00

Merkez Çizgi=0.69

Proseste gerekli değişiklikler yapılmak suretiyle proses kontrol altına alınmıştır.



**Şekil 4.13 Dördüncü Gün Alınan Örneklerle Ait Proses Yeterliliği Grafiği**

Proses yeterliliği grafiğinden prosesin yetersiz olduğu görülmektedir. Yeterlilik hesaplandığında;

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6s} = \frac{30 - 29}{(6 \times 0.36)} = \frac{1}{2.16} = 0.462$$

Prosesin ortalaması ile spesifikasyonların merkezi çakışmadığından Cpk'ında hesaplanması gerekir.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{3s}\right) = \min\left(\frac{30 - 29.74}{(3 \times 0.47)}, \frac{29.74 - 29}{(3 \times 0.47)}\right) = \min(0.240; 0.685)$$

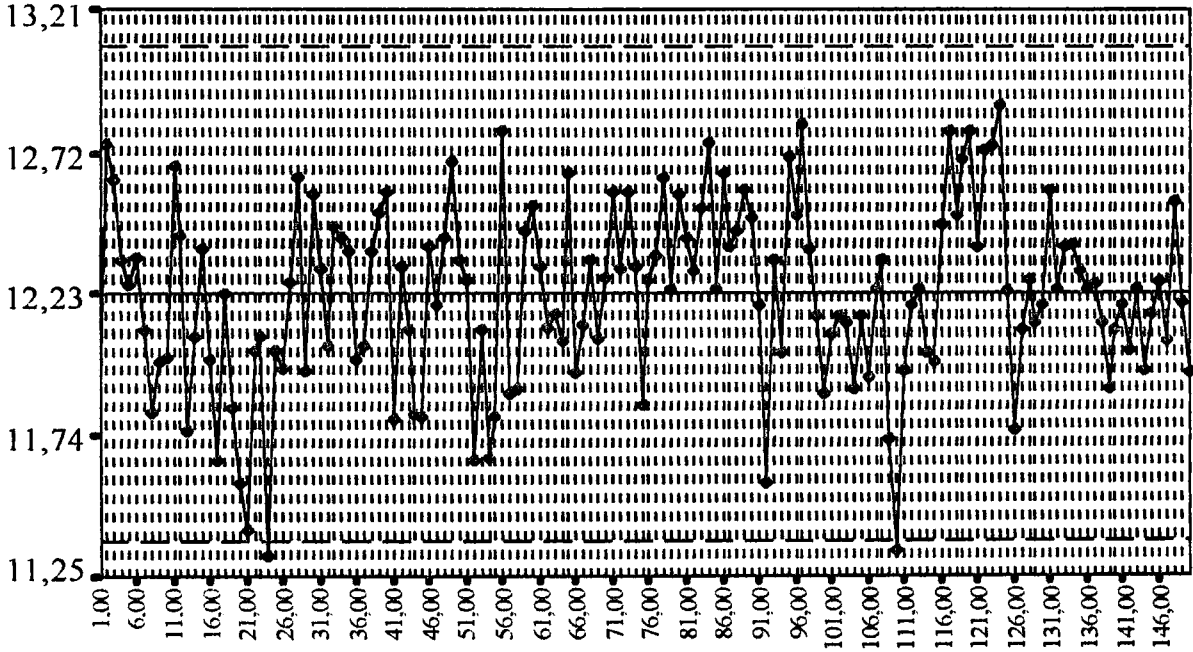
Cpk=0.240 Proses yetersizdir.

Bu durumda limit dışı mamul miktarını tahmin edebiliriz.

$$Z_1 = \frac{\text{ÜSL} - \bar{x}}{s} = \frac{30 - 29.74}{0.36} = 0.722 \text{ nin Z değeri } 0.2358$$

$$Z_2 = \frac{\bar{x} - \text{ASL}}{s} = \frac{29.74 - 29}{0.36} = 2.05 \text{ nin Z değeri } 0.0202$$

Toplam 0.256'dir. Yani üretilen mamullerin %25,6 si spesifikasyonları karşılamayacaktır



**Şekil 4.14 Uster Testinden Alınan Örneklerle Ait U Kontrol Grafiği**

Uster değerlerine ait kontrol limitleri şöyledir.

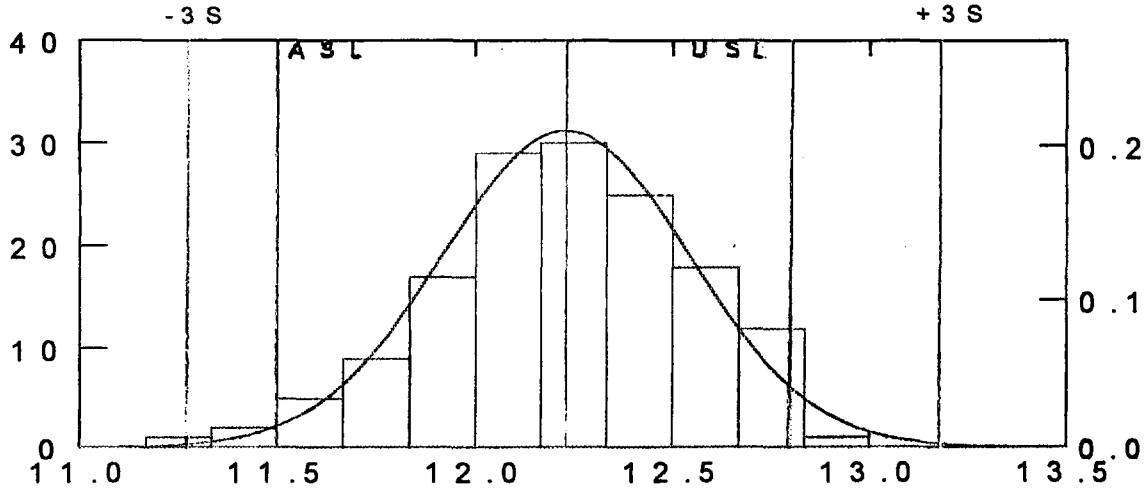
$$\text{ÜKL}=13,07$$

$$\text{Merkez Çizgi}=12,22$$

$$\text{AKL}=11,37$$

$$\text{S.S}=0,32$$

Kontrol Grafiği incelendiğinde prosesin kontrol altında olmadığı görülmektedir. Proses kontrol altında olmamakla birlikte limit dışına çıkma AKL'nin dışında olduğundan bu ise daha az hata sayısı demektir. Bu durumda prosesin AKL'ne yaklaşması işletme açısından iyiye doğru bir gidiş sayılabilir.



**Şekil 4.15 Uster Testinden Alınan Örneklerle Ait Proses Yeterlilik Grafiği**

Proses yeterliliği grafiği incelendiğinde, prosesin yetersiz olduğu görülmektedir. Yeterliliği hesapladığımızda;

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} = \frac{12.80 - 11.5}{6(0.32)} = \frac{1.3}{1.92} = 0.67 \text{ bulunur.}$$

Proses ortalaması ile spesifikasyonların merkezi çakışmadığından  $C_{pk}$ 'nin de hesaplanması gerekir.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{3s}; \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{3s}\right) = \min\left(\frac{12.8 - 12.22}{3(0.32)}; \frac{12.22 - 11.5}{3(0.32)}\right) = \min\{0.69; 0.75\}$$

$C_{pk}=0.69$  olduğundan prosesin yetersiz olduğuna karar verilir.

Bu durumda limit dışı mamul miktarını tahmin edebiliriz.

$$Z_1 = \frac{\text{ÜSL} - \bar{x}}{s} = \frac{12.8 - 12.23}{0.32} = 1.781 \quad \text{nin Z değeri } 0.0375$$

$$Z_2 = \frac{\bar{x} - \text{ASL}}{s} = \frac{12.23 - 11.5}{0.32} = 2.28 \quad \text{nin Z değeri } 0.0113$$

Toplam 0.0488 dir. Yani üretilen mamulün %4,8'nin spesifikasyon limitleri dışında olacağını söyleyebiliriz.

## SONUÇ

Uygulama yaptığımız fabrikada çeşitli pamuk ipliği üretilmektedir. Bu dönemde fabrika da 30 no ile tanımlanan pamuk ipliği üretilmekteydi. İplik üzerinde yapılan kontrolleri daha önce de bahsettiğimiz gibi ikiye ayırabiliriz. Birisi Numara kontrolü(yani her kopstan 1 gram iplik alınmakta uzunluğu ölçülmekte), bu ölçülen her bir gram ipliğin ortalama 29.5 cm gelmesi istenmektedir. Dolayısıyla mamulle ilgili spesifikasyon limitleri 30-29 cm olarak belirlenmiştir. Diğer kontrol ise hata sayımı (uster testi) dediğimiz kontroldür. Burada ise her kopstan (ki uzunluğu 5.000 mt) 450 mt'si iplik alınmakta ve Uster makinasında iplik üzerindeki kalın ve ince noktalar ile nepsler(ölü elyaf, çeper ve diğer yabancı maddeler) sayılmakta ve %u değerleri elde edilmektedir.

Uygulamaya 4 gün süresince fabrikadan örnekler alınmak suretiyle başlanmış ve alınan bu örnekler çeşitli istatistiksel proses kontrol tekniklerinden kontrol grafikleri metoduna göre incelenmiş, ayrıca prosesin yeterliliği hesaplanarak yetersiz olan prosesler için limit dışı mamulün miktarı tahmin edilmiştir.

Günler itibariyle alınan örneklerden bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Birinci gün alınan örneklere ait grafik incelendiğinde;

Proses kontrol altında değildir. Proses yeterliliği grafiğine göre de proses yeterli değildir. Yeterlilik indisi  $C_p=0.416$  ve  $C_{pk}=0.283$  dür. Proses yeterliliğinin kabulü için ise Yeterlilik indisi  $C_p$  veya  $C_{pk}$ 'nın en az 1.33 olması gerekir.

İkinci gün alınan örneklerin grafikleri incelendiğinde ;

$\bar{X}$  Kontrol grafiğine göre kontrol limitleri dışında noktalar vardır. Proses kontrol altında değildir . R Grafiğine göre prosesin dağılım aralığı kontrol limitleri içindedir.

Proses yeterliliği grafiğine göre proses yeterli değildir. Yeterlilik indisi  $C_p=0.416$  ve  $C_{pk}=0.226$  dir.

Üçüncü gün alınan örneklerin grafikleri incelendiğinde:



Hem  $\bar{X}$  ve hem de R Kontrol grafiklerinde kontrol limitleri dışında noktalar vardır. Proses kontrol altında değildir.

Proses yeterliliği grafiğine göre proses yeterli değildir. Proses yeterlilik indisi  $C_p=0.450$  ve  $C_{pk}=0.240$  dır.

Dördüncü gün alınan örneklerin grafikleri incelendiğinde;

$\bar{X}$  ve R Kontrol grafiklerinde kontrol dışında hiçbir nokta yoktur. Proses kontrol altındadır Kontrol altında faaliyette bulunan bu prosesin proses yeterliliği grafiği incelendiğinde yeterli olmadığı görülmektedir. Proses yeterliliği indisleri  $C_p=0.505$  ve  $C_{pk}=0.262$  dir.

Burada prosesin kontrol altında olması durumunda yeterli olmadığı görülmektedir. Dördüncü gün yapılan ikinci bir kontrol ise Uster Testidir.

Burada yapılan hata kontrolü testidir. Kullanılan grafik U Kontrol grafiğidir. Grafiğe göre prosesin kontrol altında olmadığı görülmektedir. Burada limit dışına çıkma daha çok alt kontrol limitine doğru olduğundan bu ise daha az hata anlamına geleceğinden istenen bir durumdur. Ancak proses kendisi için belirlenmiş spesifikasyon limitleri içinde faaliyette bulunmaktadır. Dolayısıyla yeterlilik düşük çıkacaktır. Proses yeterlilik indisleri  $C_p=0.67$  ve  $C_{pk}=0.59$  dur.

Kontrol altında kavramı istatistiki güven limitleri ile ilgiliyken, yeterlilik kavramı spesifikasyonlar ile ilgilidir. Bir proses ÜKL ve AKL arasında faaliyette bulunabilir. Ama prosesin değişkenliği yüksek olabilir yada mamule ait spesifikasyonlar yanlış tespit edilmiş olabilir. Yapılacak iş ya değişkenliği azaltmak yada spesifikasyonları değiştirmektir. Mamule ait spesifikasyonları değiştirmek her zaman mümkün olamayacağından prodesteki muhtemel değişkenlik kaynakları bulunup ortadan kaldırılmalıdır.

Prosesin değişkenliği azaltılırken prosesin ortalaması ile spesifikasyonların merkezinin çakışacak şekilde ayarlanması durumunda proses yeterliliği artınlacak, proses yeterli hale getirilmek suretiyle daha homojen mamuller üretilecektir. Bu şekilde üretilen

her mamul müşteri tarafından endişe duyulmadan satın alınacak ve mamulle ilgili şikayetler yok denecek kadar azalacaktır.

Günümüzde iletişim teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak ticarete mahalli olmaktan çıkmış ve dünya çapında gerçekleşmeye başlamıştır. Dünyanın bir ucundan diğerine internet sayesinde siparişler verilmeye ve de mal satın alınmaya başlanmıştır. Dolayısıyla tüketiciler ihtiyacı olan hammadde ve diğer malları istediği kalite ve standartta dünya pazarından satın alabilmektedir. Pazar bu durumda herkese açık olduğundan rekabet çok sert olmaktadır. Yani dünya standardında üretim yapan hayatiyetini sürdürecektir, buna dayanamayan ise belli bir süre sonunda piyasadan çıkacaktır. Bunun için üreticiler üretim proseslerini, dünya kalitesinde mal ve hizmeti üretecek şekilde kurmak zorundadırlar.



## KAYNAKLAR

- Akın, Besim., **İPK Teknikleri –Proses Yeterlilik ve Makine Yeterlilik Analizi**, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul,1996.
- Arslan, Metin., **T.K.K. ve Uygulamadan Bir Örnek**, İstanbul Üni.Sos.Bil.Enst., İstanbul,1994.
- Aslan, Demir., **İstatistiksel Kalite Kontrolü**, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Ankara, 1974.
- Çelikçapa,Feray Odman., **Endüstri İşletmelerinde Üretim Yönetimi ve Teknikleri**, Uludağ Üniversitesi.Yay.,No.117, Bursa,1995.
- Devor,Richard E., Chang, Tsong-How., **Statistical Quality Design and Control**, Macmillan Publishing Company, USA,1992.
- Doğan, Üzeyme., **Kalite Yönetimi ve Kontrolü**, İstiklal Matbaası, İzmir,1991.
- Donald,L.Dewar., **Kalite Çemberleri Eğitim El Kitabı(3 Adet)**, Şişe Cam Yayınları İstanbul, 1990.
- Enrick, Norbert Lloyd., **Quality Control And Reliability**, Industrial Press Inc., New York,1972.
- Ercan, Fevzi, **Makine Sanayinde Kalite Kontrolü**, Ankara,1987.
- Efil, İsmail., **T.K.Y ve T.K.Y Ulaşmada Bir Araç-ISO 900**, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1995.
- Feigenbaum,A.V., **Total Quality Control**, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1961.
- Garrity,Susan M., **Basic Quality Improvement**, Regent/Printice Hall., New Jersey,1990.
- Gümüšoğlu, Şevkinaz., **İstatistiksel Kalite Kontrolü**, Beta Basım Yayın., İstanbul,1996.
- Gürsakal, Necmi., **Bilgisayar Uygulamalı İstatistik1**, Marmara Kitapevi, Bursa,1997.
- Gürsakal, Necmi., **Bilgisayar Uygulamalı İstatistik2**, Marmara Kitapevi, Bursa,1998.
- Hansen, Bertrand L., **Quality Control-Theoryand Applications**, Prentice-Hall.Inc., Londra

- Hradesky, John L., **Productivity and Quality Improvement**, Mc Graw-Hill Book Company, New York,1988.
- İ.S.O., **ISO 9000 ve Kalite Sistemleri Semineri**, İstanbul,1993.
- İstatistiki Operasyon Kontrolü Uygulama Kılavuzu**, Çeviren;Serhan Dilbaz, Otosan İnönü Fabrikası.
- İşçil, Necati, **İstatistiksel Kalite Kontrolü**, Kalite Matbaası, Ankara,1976.
- Juran,J.M., Gryna, Frank M., **Quality Control Handbook**, Mc Graw-Hill Book Company, New York,1979.
- Journal of Quality Technology**.,Vol.27-28.No.1-2.USA,1995-96.
- Kalite Sempozyumu.**, Türkiye Şişe Cam Fabrikaları AŞ, İstanbul,1991.
- Kane,Victor E., **Defect Prevention-Use of Simple Statistical Tools** , Marcel Dekker Inc., New York,1989.
- Kartal, Mahmut., **İstatistiksel Kalite Kontrolü**, Şafak Yayınevi, Sivas, 1999.
- Kirkpatrick, E.G., **Quality Control for Managers and Engineers**, John Wiley-Sons Inc., Londra.
- Kobu, Bülent., **Üretim Yönetimi**, Avcıol Basım Yayın, İstanbul,1996.
- Kobu, Bülent., **Endüstriyel Kalite Kontrol**, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul,1987.
- KOSGEB., **ISO 9000 ve Kalite Güvence Sistemi**, Ankara,1993.
- KOSGEB., **Kalite Kontrolunda İstatistik Metodları**, Ankara,1994
- KOSGEB., **İstatistiksel Süreç Kontrol**, Ankara,1995.
- KOSGEB., **Kalite Maliyeti**, Ankara,1995.
- Kotz, Samuel., Johnson, Norman L., **Process Capability Indices**, Chapman-Hall, Londra,1993.
- MEB Yay., **Kalite Kontrol Sistemleri**, Komisyon. İstanbul,1994.
- Montgomery, Douglas C., **Introduction to Statistical Quality Control**, John Wiley-Sons, New York,1991.

- MPM., **Kalite Kontrol Grupları(QCC) Semineri**, Ankara,1985.
- MPM., **Kalite ve Verimlilik. Verimlilik Dergisi, Özel Sayı**,1990.
- Murdoch, J., **Control Charts**, The Macmillan Press Ltd., Londra,1979.
- Newbold, Paul., **Statistics for Business and Economics**, Prentice-Hall Inc., USA,1991.
- Oakland, John S., Followell,Ray F., **Statistical Proses Control**, Butterworth.Heinemann,1992.
- Orhunbilge, Neyran., **Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi**, Avcıol Basım-Yayım, İstanbul,1996.
- Orhunbilge, Neyran., **Örnekleme Yöntemleri**, Avcıol Basım-Yayım, İstanbul,1997.
- Ryan, ThomasP., **Statistical Methods For Quality Improvement**, John Wiley-Sons.Inc.,New York,1989.
- Sanders,Donald A., Sanders,J.A., **ISO 9000 Nedir?Niçin?Nasıl?**, Çeviren; Gönül Yenersoy, Rota Yay., İstanbul,1994.
- Quality Progress.**, Vol.26, Number. 9, USA,1993.
- Tan,Serdar., Peşkircioğlu,Nurettin., **Kalitesizliğin Maliyeti**, M.P.M., Ankara,1991.
- Tate, Robert G., **Proses Yeterlilik Analizi**, Şişe Cam Yayınları, İstanbul,1990.
- Walsh, Loren., Wurster, Ralph., Kimber,Raymond J., **Quality Management Handbook**, Marcel Dekker Inc., New York.
- Womack,James P., Jones,Daniel T., **Yalın Düşünce**, Çeviren;Nesime Acar, Sistem Yayıncılık, İstanbul,1996.
- Yağız, Ömer., **Kalite Planlaması ve Kontrolü**, Segem Yayınları, Ankara,1981.

## EK TABLOLAR LİSTESİ

Tablo A : Standart Normal Eğri Alanları (Z tablosu)

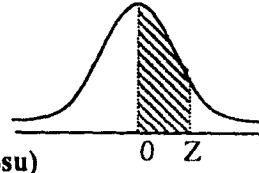
Tablo B : Kritik  $\chi^2$  Değerleri

Tablo C :  $\bar{X}$  Kontrol Grafiği Katsayıları

Tablo D : R Kontrol Grafiği Katsayıları

Tablo F : s Kontrol Grafiği Katsayıları





Standart Normal Eğri Alanları (Z-Tablosu)

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4986	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000									



### Kritik $\chi^2$ Değerleri

s.d	Önem Seviyesi, $\alpha$									
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.676	0.872	1.24	1.64	2.20	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.989	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67	23.56
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.53	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
34	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	51.80	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	85.53	90.53	95.02	100.4	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	96.58	101.9	106.6	112.3	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2
s $\alpha$	-2.58	-2.33	-1.96	-1.64	-1.28	+ 1.28	+ 1.64	+ 1.96	+ 2.33	+ 2.58



### $\bar{X}$ Kontrol Grafiği Katsayıları

n	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
2	2.121	3.760	1.880	2.159
3	1.732	2.394	1.023	1.954
4	1.500	1.880	0.729	1.628
5	1.342	1.596	0.577	1.427
6	1.225	1.410	0.483	1.287
7	1.134	1.277	0.419	1.182
8	1.061	1.175	0.373	1.099
9	1.000	1.094	0.337	1.032
10	0.949	1.028	0.308	0.975
11	0.905	0.973	0.285	0.927
12	0.866	0.925	0.266	0.886
13	0.832	0.884	0.249	0.850
14	0.802	0.848	0.235	0.817
15	0.775	0.816	0.223	0.789
16	0.750	0.788	0.212	0.763
17	0.728	0.762	0.203	0.739
18	0.707	0.738	0.194	0.718
19	0.688	0.717	0.187	0.698
20	0.671	0.697	0.180	0.680
21	0.655	0.679	0.173	0.663
22	0.640	0.662	0.167	0.647
23	0.626	0.647	0.162	0.633
24	0.612	0.632	0.157	0.619
25	0.600	0.619	0.153	0.606
>25	$\frac{3}{\sqrt{n}}$	$\frac{3}{(c_2\sqrt{n})}$	$\frac{3}{(d_2\sqrt{n})}$	$\frac{3}{(c_1\sqrt{n})}$

R Kontrol Grafiği Katsayıları

N	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	1.128	0.853	0	3.686	0	3.269
3	1.693	0.888	0	4.358	0	2.574
4	2.059	0.880	0	4.698	0	2.282
5	2.326	0.864	0	4.918	0	2.114
6	2.534	0.848	0	5.078	0	2.004
7	2.704	0.833	0.205	5.203	0.076	1.924
8	2.847	0.820	0.387	5.307	0.136	1.864
9	2.970	0.808	0.546	5.391	0.184	1.816
10	3.078	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	3.137	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744
12	3.258	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716
13	3.336	0.770	1.026	5.646	0.308	1.692
14	3.407	0.762	1.121	5.693	0.329	1.671
15	3.472	0.755	1.207	5.737	0.348	1.652
16	3.532	0.749	1.285	5.779	0.364	1.636
17	3.588	0.743	1.359	5.817	0.379	1.621
18	3.640	0.738	1.426	5.854	0.392	1.608
19	3.689	0.733	1.490	5.888	0.404	1.596
20	3.735	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586
21	3.778	0.724	1.606	5.950	0.425	1.575
22	3.819	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	3.858	0.716	1.710	6.006	0.443	1.555
24	3.895	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548
25	3.931	0.709	1.804	6.058	0.459	1.541
>25	$\frac{\bar{R}}{\sigma}$	$\frac{\sigma_R}{\sigma}$	$d_2 - 3d_3$	$d_2 + 3d_3$	$1 - \frac{3d_3}{d_2}$	$1 + \frac{3d_3}{d_2}$

s Kontrol Grafiği Katsayıları

N	c <sub>2</sub>	c <sub>4</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	0.564	0.798	0	1.843	0	3.267
3	0.724	0.886	0	1.858	0	2.568
4	0.798	0.921	0	1.808	0	2.266
5	0.841	0.940	0	1.756	0	2.089
6	0.869	0.952	0.026	1.711	0.030	1.970
7	0.888	0.959	0.105	1.672	0.118	1.882
8	0.903	0.965	0.167	1.638	0.185	1.815
9	0.914	0.969	0.219	1.609	0.239	1.761
10	0.923	0.973	0.262	1.584	0.284	1.716
11	0.930	0.975	0.299	1.561	0.321	1.679
12	0.936	0.978	0.331	1.541	0.354	1.646
13	0.941	0.979	0.359	1.523	0.382	1.618
14	0.945	0.981	0.387	1.507	0.406	1.594
15	0.949	0.982	0.406	1.492	0.428	1.572
16	0.952	0.984	0.427	1.478	0.448	1.552
17	0.955	0.985	0.445	1.465	0.466	1.534
18	0.958	0.985	0.461	1.454	0.482	1.518
19	0.960	0.986	0.447	1.443	0.497	1.503
20	0.962	0.987	0.491	1.433	0.510	1.490
21	0.964	0.988	0.504	1.424	0.523	1.477
22	0.966	0.988	0.516	1.415	0.534	1.466
23	0.967	0.989	0.527	1.407	0.545	1.455
24	0.968	0.989	0.538	1.399	0.555	1.445
25	0.970	0.990	0.548	1.392	0.565	1.435
>25	$\frac{\bar{\sigma}}{\sigma}$	$\frac{\bar{s}}{\sigma}$	$c_2-3c_3$	$c_2+3c_3$	$1-\frac{3c_3}{c_4}$	$1+\frac{3c_3}{c_4}$