

75346

**TOPLAM KALİTE ANLAYIŞI İÇİNDE  
İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜN ROLÜ VE  
KALİTE GELİŞTİRME AMAÇLI UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİ MÜH. AHMET GÖKÇE**

75346

Tezin Enstitüye verildiği tarih : 19 Ocak 1998

Tezin savunulduğu tarih : 9 Şubat 1998

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Coşkun ÖZKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Nahit SERARSLAN

Prof.Dr. Bülent DURMUŞOĞLU

ŞUBAT 1998

## ÖNSÖZ

İşletmelerin içinde bulundukları gelişim ve değişim ortamında, her geçen gün daha da zorlaşan rekabet koşulları nedeniyle ürünlerini daha ucuz ve daha kaliteli üretmeleri bir zorunluluktur. Maliyetlerin düşürülmesi ve kalitenin artırılması tek adımlık bir süreç değil sürekli devam eden bir süreç olmalıdır. Maliyetlerin düşürülmesi ve kalitenin artırılması sadece ürünün kontrolü ile mümkün değildir. Ürün yerine ürünün üretildiği proseslerin kontrol altında tutulması, ürünlerin olası bir problem neticesinde hatalı olarak üretilmesini engelleyecektir. İstatistiksel Proses Kontrolü, proseslerin sürekli olarak kontrol altında tutulması için kullanılan bir tekniktir.

Proseslerden elde edilen verileri çeşitli istatistiksel yaklaşımlarla değerlendiren İPK, bize prosesin geçmiş verilerine dayanarak olası gelişmeler ile ilgili yorum yapmamızı sağlar. Başarılı bir İPK sistemi işletmelerin yeniden işlenecek hatalı ürün ve hurda ürün üretimini minimuma indirdiği ve hatta engellediği için üretim maliyetlerinde azalma ve kalite seviyesinde istenilen seviyeye ulaşma tabii sonuçtur.

Bu çalışmada İPK ile ilgili bilgileri inceleyerek, işletmelerin İPK uygulaması için izlemeleri geren bir faaliyet planı geliştirmeye çalıştım. Amacım İPK uygulamak isteyen işletmeler için yol gösterici bir kaynak oluşturmaktır.

Bu çalışma sırasında beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Sn. Doç.Dr. Coşkun ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Ocak 1998

AHMET GÖKÇE

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ                                                              | ii              |
| SEMBOL LİSTESİ                                                     | v               |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                      | viii            |
| TABLO LİSTESİ                                                      | xi              |
| ÖZET                                                               | xiii            |
| SUMMARY                                                            | xiv             |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ                                                     | 1               |
| 1.1. Kalite ve Toplam Kalite'ye genel bakış.                       | 2               |
| 1.2. İstatistiksel Proses Kontrol.                                 | 5               |
| 1.2.1. Tanımlar.                                                   | 5               |
| 1.2.2. İstatistiksel proses kontrolün tarihçesi.                   | 6               |
| 1.2.3. İstatistiksel proses kontrolün toplam kalite içindeki yeri. | 7               |
| 1.2.4. Neden istatistiksel proses kontrol ?                        | 7               |
| BÖLÜM 2. İSTATİSTİK İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER                      | 10              |
| 2.1. İstatistik nedir ?                                            | 10              |
| 2.2. İstatistiğin temel kavramları.                                | 10              |
| 2.3. Olasılık ve olasılık dağılımları.                             | 20              |
| 2.3.1. Olasılık dağılımı.                                          | 20              |
| 2.3.2. Normal dağılım.                                             | 20              |
| 2.4. Veri toplama.                                                 | 22              |
| 2.5. Kalite kontrolde kullanılan istatistiksel teknikler.          | 23              |
| 2.5.1. Temel istatistiksel teknikler.                              | 24              |
| 2.5.1.1. Çetele diyagramı.                                         | 24              |
| 2.5.1.2. Histogram.                                                | 25              |
| 2.5.1.3. Pareto analizi.                                           | 28              |
| 2.5.1.4. Sebep-sonuç diyagramı (kılçık diyagramı).                 | 30              |
| 2.5.1.5. Sınıflandırma (tabakalama).                               | 32              |
| 2.5.1.6. Serpilme(dağılma) diyagramı.                              | 34              |
| 2.5.1.7. Kontrol şemaları.                                         | 37              |
| 2.5.2. Orta derece istatistiksel teknikler.                        | 37              |
| 2.5.3. İleri derecede istatistiksel yöntemler.                     | 37              |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BÖLÜM 3. KONTROL DİYAGRAMLARI.</b>                                                 | <b>39</b>  |
| 3.1. Kontrol diyagramlarının tanımı ve açıklaması.                                    | 39         |
| 3.2. Kontrol diyagramlarının yapısı.                                                  | 41         |
| 3.3. Kontrol diyagramlarının çeşitleri.                                               | 43         |
| 3.3.1. Ölçülebilen özellikler (karakteristikler) için kontrol diyagramları            | 44         |
| 3.3.1.1. Proses ile alt ve üst spesifikasyon limitlerinin arasındaki muhtemel ilişki. | 57         |
| 3.3.1.2. Proses ile tek (alt) spesifikasyon limitinin arasındaki muhtemel ilişki.     | 60         |
| 3.3.2. Ölçülemeyen kalite özellikleri için kontrol diyagramları.                      | 63         |
| 3.4. Şemaların yorumu için kullanılan kontrol diyagramları.                           | 78         |
| 3.5. Proses geçmiş bilgilerinin kaydı.                                                | 79         |
| 3.6. Hedef bazlı kontrol diyagramları.                                                | 80         |
| <b>BÖLÜM 4. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜN UYGULAMA AŞAMALARI</b>                     | <b>82</b>  |
| 4.1. Prosesin tanımlanması.                                                           | 82         |
| 4.2. Kontrol edilecek karakteristiklerin belirlenmesi.                                | 84         |
| 4.3. Ölçü aletlerinin seçimi, test ve kalibrasyonu.                                   | 86         |
| 4.4. Yeterlilik analizi.                                                              | 87         |
| 4.4.1. Tezgah yeterlilik analizi.                                                     | 87         |
| 4.4.2. Proses yeterlilik analizi.                                                     | 96         |
| 4.4.2.1. Normal olmayan dağılımlar için yetenek analizi.                              | 103        |
| <b>BÖLÜM 5. TEE SUTEM İŞLETMESİ İPK PİLOT UYGULAMASI</b>                              | <b>109</b> |
| 5.1. TEE SUTEM İşletmesinin tanıtımı.                                                 | 109        |
| 5.1.1. Türk Elektrik Endüstrisi A.Ş.'nin tarihçesi.                                   | 109        |
| 5.2. İşletmenin ürünleri.                                                             | 114        |
| 5.2.1. Trifaze motorlar.                                                              | 114        |
| 5.2.2. Monofaze motorlar.                                                             | 118        |
| 5.3. SUTEM İşletmesi İPK çalışması.                                                   | 120        |
| 5.3.1. Stratejik ürünlerin belirlenmesi.                                              | 120        |
| 5.3.2. Stratejik ürünlerin önem sırasına göre sıralarına dizilmesi.                   | 122        |
| 5.3.3. Kritik ölçülerin belirlenmesi ve sıralanması.                                  | 126        |
| 5.3.4. İPK noktalarının tesbiti.                                                      | 127        |
| 5.3.5. Eğitim.                                                                        | 127        |
| 5.3.6. Tezgah yeterlilik analizleri.                                                  | 128        |
| 5.3.7. Proses yeterliliği çalışması.                                                  | 136        |
| <b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                                                           | <b>140</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                      | <b>142</b> |
| <b>EKLER</b>                                                                          | <b>144</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                       | <b>147</b> |

## SEMBOL LİSTESİ

|                |                                                                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_j$          | : j. gözlem için eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama.                               |
| $A_2$          | : X diyagramı kontrol limitleri hesaplama sabiti.                                                   |
| AKL            | : Alt kontrol limiti.                                                                               |
| $B_3, B_4$     | : S diyagramı kontrol limitleri hesaplama sabiti.                                                   |
| c              | : Yığındaki hata sayısı.                                                                            |
| $c_j$          | : Gözlenen j. gözlemdeki hata sayısı.                                                               |
| $\bar{c}$      | : Bir örnek grubundan hesaplanan ortalama hata sayısı.                                              |
| $C_p$          | : Proses yayılımının spesifikasyon limitleri ile ilişkisini belirtir.                               |
| $C_{pk}$       | : Proses ortalamasının nominal değer ile ilişkisi.                                                  |
| $C_m$          | : Tezgahın spesifikasyon limitleri içerisinde $\pm 4\sigma$ ile parça işleyebilme kapasite indeksi. |
| $C_{mk}$       | : Tezgahın nominal değerden sapmasını gösterir.                                                     |
| $D_3, D_4$     | : R diyagramı kontrol limitleri hesaplama sabiti.                                                   |
| $D_j$          | : j. gözlem için mutlak sapma.                                                                      |
| $E_{c,\alpha}$ | : CuSum diyagramı için 1. tip hata değerleri.                                                       |
| h              | : Sınıf aralığı.                                                                                    |
| $H_1$          | : Mod sınıfı frekansı ile bir önceki arasındaki fark.                                               |
| $H_2$          | : Mod sınıfı frekansı ile bir sonraki arasındaki fark.                                              |
| $h_m$          | : Sınıf aralığı.                                                                                    |
| m              | : Alınan örnek alt grubu sayısı.                                                                    |
| MÇ             | : Merkez çizgisi (ortalama).                                                                        |
| $N_m$          | : Medyan sınıfı frekansı.                                                                           |

|                 |                                                                                         |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $N_{i-1}$       | : Bir önceki birikimli frekans.                                                         |
| $\sum N_i$      | : Toplam frekans.                                                                       |
| $p$             | : Bir örnek grubunun ortalama hata oranı.                                               |
| $\bar{p}$       | : Örnek gruplarının ortalama hata oranı ortalaması.                                     |
| $r$             | : Korelasyon katsayısı.                                                                 |
| $\bar{R}$       | : Kontrol şeması için alınan örnek gruplarının dağılma aralıklarının ortalaması.        |
| $R$             | : Bir örnek grubunun dağılma aralığı.                                                   |
| $R_M$           | : Hareketli suni örnek gruplarının dağılma aralıklarının ortalaması.                    |
| $S_{(j)}$       | : j. örnek için CuSum değeri.                                                           |
| $T$             | : Tolerans aralığı.                                                                     |
| $TD$            | : Tezgahın doğal toleransı.                                                             |
| $u$             | : Yığındaki birim başına düşen hata sayısı.                                             |
| $u_j$           | : Gözlenen j. gözlemdeki birim başına düşen hata sayısı.                                |
| $\bar{u}$       | : Bir örnek grubundan hesaplanan birim başına düşen ortalama hata sayısı.               |
| $\bar{U}KL$     | : Üst kontrol limiti.                                                                   |
| $V_j$           | : j. gözlem için eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli sapma.                      |
| $\sigma^2$      | : Varyans.                                                                              |
| $W_{j-k}$       | : EWMA ve EWMD şemaları ağırlıklandırma faktörü.                                        |
| $\bar{X}$       | : Bir veri grubunun aritmetik ortalaması.                                               |
| $\bar{\bar{X}}$ | : Kontrol diyagramı için alınan örnek gruplarının aritmetik ortalamalarının ortalaması. |
| $\bar{X}'$      | : Yığına ait kestirilmiş ortalama.                                                      |
| $X_a$           | : Mod sınıfı alt sınırı.                                                                |
| $X$             | : İncelenen prosesten alınan veri.                                                      |

- $y_c$  : Seçilmiş olan yatay ve düşey ölçülendirme faktörü (CuSum faktörü)
- $\theta_c$  : CuSum diyagramı V-şablonu açısı.
- $\sigma$  : Standart sapma.
- $\bar{\sigma}$  : Kontrol diyagramı için alınan örnek gruplarının standart sapmalarının ortalaması.
- $\hat{\sigma}$  : Kontrol diyagramlarında limitlerin hesaplanması için örnek grupları dağılma aralıklarından hesaplanan standart sapma.
- $\sigma'$  : Yığına ait kestirilmiş standart sapma.



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                          | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1. Deming döngüsü.                                                               | 4               |
| Şekil 1.2. Prosesi oluşturan faktörler ve prosesin kontrolü.                             | 5               |
| Şekil 1.3. Toplam Kalite Yönetimi içindeki İPK'nın yeri.                                 | 7               |
| Şekil 1.4. İPK süreci içinde prosesin izleyeceği seyir                                   | 9               |
| Şekil 2.1. Örneğin ana kütleli temsil etmesi; (a), (b) uygun değil, (c) uygun.           | 11              |
| Şekil 2.2. Yığın-Örnek ilişkisi.                                                         | 11              |
| Şekil 2.3. Seri çeşitleri; (a) Basit seri, (b) Frekans serisi, (c) Gruplandırılmış seri. | 12              |
| Şekil 2.4. Verilerin histogramı.                                                         | 17              |
| Şekil 2.5. Gauss Eğrisi.                                                                 | 21              |
| Şekil 2.6. Verilerin bilgiye dönüştürme süreci.                                          | 23              |
| Şekil 2.7. Niteliksel veri toplamak için kullanılan Çetele Diyagramı.                    | 25              |
| Şekil 2.8. İki ayrı parça histogramı.                                                    | 27              |
| Şekil 2.9. Kesikli histogram.                                                            | 27              |
| Şekil 2.10. İki modlu histogram.                                                         | 27              |
| Şekil 2.11. Soldan sağa doğru azalan bölünme.                                            | 28              |
| Şekil 2.12. Pareto diyagramları(gelişme öncesi ve sonrası)                               | 29              |
| Şekil 2.13. Sebep-Sonuç diyagramı.                                                       | 31              |
| Şekil 2.14. Kuvvetli pozitif korelasyon.                                                 | 35              |
| Şekil 2.15. Zayıf pozitif korelasyon.                                                    | 35              |
| Şekil 2.16. Kuvvetli negatif korelasyon.                                                 | 36              |
| Şekil 2.17. Zayıf negatif korelasyon.                                                    | 36              |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.18. Aralarında herhangi bir korelasyon olmayan iki değişken.                                           | 37 |
| Şekil 3.1. Kontrol diyagramlarının yapısı.                                                                     | 41 |
| Şekil 3.2. Kontrol diyagramları için 3 sigma limitleri.                                                        | 43 |
| Şekil 3.3. $\bar{X}$ ve R diyagramlarının yorumlanması                                                         | 48 |
| Şekil 3.4. Örnek 3.1. için $\bar{X}$ ve R diyagramı.                                                           | 51 |
| Şekil 3.5. $r = 0.2$ için geçmiş verilerin ağırlıkları.                                                        | 53 |
| Şekil 3.6. $r = 0.33$ için geçmiş verilerin ağırlıkları.                                                       | 53 |
| Şekil 3.7. Çeşitli kontrol diyagramları için verilerin ağırlıklandırılması.                                    | 55 |
| Şekil 3.8. CuSum diyagramı.                                                                                    | 57 |
| Şekil 3.9. Proses dağılımının spesifikasyon limitlerinden küçük olması durumu                                  | 58 |
| Şekil 3.10. Proses dağılımının spesifikasyon limitlerinden eşit olması durumu                                  | 59 |
| Şekil 3.11. Proses dağılımının spesifikasyon limitlerinden büyük olması durumu.                                | 60 |
| Şekil 3.12. Proses alt değerlerinin alt spesifikasyon limitinin üzerinde olması.                               | 61 |
| Şekil 3.13. Proses alt değerlerinin alt spesifikasyon limitine eşit olması .                                   | 61 |
| Şekil 3.14. Proses alt değerlerinin alt spesifikasyon limitinin altında olması.                                | 62 |
| Şekil 3.15. Örnek 3.2. için p kontrol diyagramı.                                                               | 67 |
| Şekil 3.16. Örnek 3.3. için np kontrol diyagramı.                                                              | 71 |
| Şekil 3.17. c kontrol diyagramı.                                                                               | 74 |
| Şekil 3.18. Örnek 3.5. için u kontrol diyagramı.                                                               | 77 |
| Şekil 3.19. 3 sigma limitleri için $\bar{X}$ diyagramının alanları ve normal dağılım esas alınmış olasılıkları | 79 |
| Şekil 3.20. Proses tarihçesinin dökümantasyonu.                                                                | 80 |
| Şekil 3.21. Verilerin türüne göre kontrol diyagramları.                                                        | 81 |
| Şekil 4.1. Bir ofis prosedürü için mevcut durum gösteren akış şeması.                                          | 85 |
| Şekil 4.2. Yeterli ve yetersiz tezgah.                                                                         | 89 |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.3. Tezgah yeterlilik analiz diyagramı.                                     | 93  |
| Şekil 4.4. Tezgah yeterlilik analiz işlem sırası.                                  | 94  |
| Şekil 4.5. Proses yeterlilik analiz işlem aşamaları.                               | 102 |
| Şekil 4.6. Verilerin histogramı.                                                   | 105 |
| Şekil 4.7. Verilerin histogramı.                                                   | 106 |
| Şekil 4.8. Verilerin histogramı.                                                   | 108 |
| Şekil 5.1. SUTEM İşletmesi ürünleri.                                               | 115 |
| Şekil 5.2. SUTEM İşletmesi İPK uygulama planı.                                     | 121 |
| Şekil 5.3. Kritik ürünlerin belirlenmesi için toplanan müşteri iadeleri bilgileri  | 122 |
| Şekil 5.4. Iskarta raporlarına göre ürün gruplarının toplam maliyet içindeki %'si. | 123 |
| Şekil 5.5. Son kontrol hataları grafiği.                                           | 124 |
| Şekil 5.6. Tezgah yeterlilik analizi örneği.                                       | 129 |
| Şekil 5.7. Tezgah yeterlilik analizi örneği.                                       | 130 |
| Şekil 5.8. Uygulanan çözüm önlemleri ile yeterlilik katsayılarındaki artış.        | 133 |
| Şekil 5.9. Ayar ve arza süreleri karşılaştırması.                                  | 135 |
| Şekil 5.10. Ayar ve arza süreleri (saat/yıl) karşılaştırması.                      | 135 |
| Şekil 5.11. SUTEM İşletmesi için yapılmış bir proses yeterlilik analizi.           | 139 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                         | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Tablo 2.1. Sınıflandırma için yardımcı tablo.                                           | 13                     |
| Tablo 2.2. Kaydedilmiş ham veriler.                                                     | 15                     |
| Tablo 2.3. Verilerin küçükten büyüğe sıralanması.                                       | 15                     |
| Tablo 2.4. Hesaplanan sınıf, alt ve üst değerleri.                                      | 16                     |
| Tablo 2.5. Frekans dağılım tablosu.                                                     | 17                     |
| Tablo 2.6. Verilerin üretildikleri makinalara göre gruplandırılması.                    | 33                     |
| Tablo 3.1. Ölçülebilen özellikler için kontrol diyagramları.                            | 45                     |
| Tablo 3.2. Kontrol limitleri formülleri.                                                | 46                     |
| Tablo 3.3. Örnek 3.1. için alınan veriler.                                              | 49                     |
| Tablo 3.4. CuSum diyagramları için kullanılabilecek, seçilmiş $E_{c,\infty}$ değerleri. | 57                     |
| Tablo 3.5. Ölçülemeyen özellikler için kontrol diyagramları.                            | 64                     |
| Tablo 3.6. Alınan ürün verileri.                                                        | 66                     |
| Tablo 3.7. np diyagramı için toplanan veriler.                                          | 70                     |
| Tablo 3.8. c diyagramı için alınmış veriler.                                            | 73                     |
| Tablo 3.9. u kontrol diyagramı için veriler.                                            | 76                     |
| Tablo 4.1. İstatistiksel Proses kontrolü metodolojik şema.                              | 83                     |
| Tablo 4.2. Karakteristiklerin önem derecelerine göre sınıflandırılması.                 | 86                     |
| Tablo 4.3. Tezgah yeterliliği için üretilen ardışık 50 ürünün değerleri.                | 104                    |
| Tablo 4.4. İyileştirilmiş tezgahıtan alınan veriler.                                    | 106                    |
| Tablo 4.5. Proses yeterliliği için toplanmış veriler.                                   | 107                    |
| Tablo 5.1. Yıllara göre trifaze motor üretimi (SUTEM).                                  | 112                    |

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 5.2. Ürün denetimi sonuçları (kapak dış çap ölçümü).                                                         | 125 |
| Tablo 5.3. Ürün denetimi sonuçları (motor sıkma torku ölçümü).                                                     | 125 |
| Tablo 5.4. Ürün denetimi sonuçları (gövde kapak geçen çap ölçümü).                                                 | 125 |
| Tablo 5.5. Ürün denetimi sonuçları (kapak rulman yeri çap ölçümü).                                                 | 126 |
| Tablo 5.6. Ürün denetimi sonuçları (motor boya hatası).                                                            | 126 |
| Tablo 5.7. Ürün denetimi sonuçları (rotor mil grb. gruplama ölçüsü).                                               | 126 |
| Tablo 5.8. Tezgah bazında yeterlilik sonuçları.                                                                    | 133 |
| Tablo 5.9. Bekleme süresi kazancı.                                                                                 | 135 |
| Tablo 5.10. Kazançlar toplamı.                                                                                     | 136 |
| Tablo 5.11. Gerekli yatırım giderleri.                                                                             | 136 |
| Tablo 5.12. SUTEM proses yeterlilik analizi verileri.                                                              | 138 |
| Tablo A.1. $\bar{X}$ , R ve S kontrol diyagramlarının 3-sigma limitleri için örnek grubuna bağlı sabitler tablosu. | 145 |
| Tablo A.2. EWMA ve EWMD kontrol diyagramları sabitleri.                                                            | 146 |

## ÖZET

Bu çalışmada, globalleşen dünya içinde çok çetin olan rekabet şartları altında varlıklarını daha düşük maliyet ve daha yüksek kalite ile üretim yaparak sürdürmek isteyen her işletmenin, vazgeçilmez uygulamalarından biri olan İstatistiksel Proses Kontrol konusu incelenmiştir.

Birinci bölümde Kalite, Kalite Kontrol, Toplam Kalite gibi temel kavramlar konusunda kısa bilgiler verilmiştir. Sonra İstatistiksel Proses Kontrolün tanımı, Toplam Kalite Yönetimi içindeki yeri, kullanım amaçları, kullanım alanları ve faydaları incelenmiştir.

İstatistiksel Proses Kontrol; bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir şekilde üretilmesini sağlamak amacıyla, istatistik prensip ve tekniklerinin üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır. İPK, ürün için belirlenmiş spesifikasyonlar, tezgah ve proses yetenekleri kısıtları altında, prodesten alınan yakın geçmişe ait veriler kullanılarak mevcut üretimin firesiz ve yeniden işleme ihtiyacı doğmadan sürdürölmesini sağlar.

İkinci bölümde, bir İPK uygulaması sırasında kullanılacak temel istatistiksel bilgileri ve formülleri hatırlatılarak, kalite uygulamalarında kullanılan İstatistiksel Teknikler ele alınmış ve en çok kullanılan Temel İstatistiksel Teknikler incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, İPK çalışmalarının en önemli araçlarından biri olan Kontrol Diyagramları incelenmiştir. Kontrol Diyagramları'nın çeşitleri, yapısı, kullanımı ve yorumu ile ilgili bilgiler sunulmuş, uygulayıcılarına getireceği faydalar irdelenmiştir.

Kontrol Diyagramları; ürünün gerçek kalite spesifikasyonlarını, geçmiş deneylere (verilere) dayanarak saptanan limitlere göre kronolojik kıyaslamaya yarayan grafiklerdir. Kontrol diyagramları, arzu edilen niteliklerde ürün veya hizmet üretebilmek için prosesin istatistiksel olarak kontrol ve analiz edilmesinde kullanılmaktadır.

Dördüncü bölümde, ilk üç bölümde ele alınan ve incelenen bilgilerin ışığında bir İstatistiksel Proses Kontrol uygulaması için izlenmesi gereken bir faaliyet planı geliştirilmiştir. Prosesin tanımlanması ile başlayan bu planda, kontrol altında tutulacak karakteristiklerin belirlenmesi, ölçme alet ve yöntemlerinin seçimi, tezgah ve proses yeterlilik analizleri gibi faaliyetlerle ilgili yapılması gereken işlemler sıralanmıştır.

Son bölüm olan beşinci bölümde ise geliştirilen faaliyet planına uygun olarak TEE SULTANÇİFTLİĞİ İşletmesinde yapılmış olan pilot uygulama anlatılmaktadır. Hedef, bu uygulamanın tüm işletme geneline yaygınlaştırılarak zaten yüksek olan ürün kalitesinin daha da artırılması ve maliyetlerin düşürölmesidir.

## SUMMARY

### STATISTICAL PROCESS CONTROL

The concept of quality with respect to customer satisfaction has been with us since the human being produces for others. There are two important things for a product and a production process. One of them is the cost of the product, which implies the cost of scrap and rework. The other important thing is the quality level of the product. While markets become more global today, both of them are very important for a company. Companies must reduce their costs and increase the level of the quality, in order to maintain their market share. If the cost of the product is not low enough or the quality of the product is not satisfactory, customers don't buy it. In order to increase the quality level and to reduce the costs, some quality tools are needed. One of them and may be the most effective of them is Statistical Process Control.

The purpose of this study is to provide a thorough coverage of the Statistical Process Control. I tried to analyse the structure of the Statistical Process Control and to improve a plan for activities.

In the first chapter, information about basic concepts, such as Quality, Quality Control, Total Quality etc. is given. Then, definition of statistical process control, its place within TQM, application purposes, application fields and advantages is analysed.

It should be evident that everyone is, or at least should be, in favour of quality. But, the concept of the quality does not mean the same thing to everyone who uses the word. As a matter of fact, the word quality may have different meanings to the same person, depending upon the context in which he uses it. For such a short and simple word, it is quite difficult to find widely acceptable definition. As a short definition we describe the quality, fitness for use. Taguchi describes the quality as the loss (from function variation and harmful effects) a product causes to society after being shipped, other than any losses caused by its intrinsic functions. Quality Assurance and Quality Control address the mean and techniques of producing quality products. Quality assurance means to assure quality in product so that a customer can buy with confidence and use it for a large period of time with confidence and satisfaction (satisfy the requirements of customers). Total Quality Control (TQC) is an effective system for integrating the quality development, quality maintenance and quality improvement efforts of various groups in an organization so as to enable marketing, engineering, production and service at the most economical levels which allow for full customer satisfaction. Total Quality Control and Total Quality Management are different from each other. Total Quality Management is both a philosophy and set of guiding principles that represent the foundation of a continuously improving organization.

Statistical Quality Control is the application of statistical techniques in all stages of an operation in order to meet established standards of quality in the most economical manner. A process, which is operating within certain limits that can be specified numerically in terms of the quality characteristic being measured is said to be in control. When any quality characteristic is being observed or measured, the observed value will vary from observation to observation. Some variation is inevitable and is an inherent part of the process being observed. The acceptable variation that is inherent to the process is due to a wide range of random causes and is called random variation. Variation due to causes that are not part of this random system leads to excessive variation, which is not acceptable. Such non-random causes of variation are referred to as assignable causes. A process exhibiting variation that is subject to assignable causes is said to be out of control. Statistical process control, which is a part of statistical quality control, takes a process under control. SPC follows a process with considering the determined specifications for the product by using the recent data for the process concerned under machine and process capability constraints.

In the second chapter, some basic statistical terms are given. Statistical techniques that are used in quality practices are discussed. In attempting to control any quality characteristic it is necessary to make observations or measurements that result in numerical data. Whenever numerical data are collected and analyzed for the purpose of making some decision and taking some action, statistical techniques must be used.

In this chapter the basic statistical techniques are discussed. These techniques can be classified into three groups. Generally, the most commonly used tools are the seven basic quality tools. These tools are :

1. Cause-effect diagram
2. Stratification analysis
3. Check sheet
4. Histogram
5. Scatter diagram
6. Pareto analysis
7. Control charts.

Ishikawa states that as much as 95 percent of quality related problems in the factory can be solved with these seven fundamental quantitative tools. These tools are briefly described in the second chapter.

In the third chapter, control charts are analysed. Types of control charts, structures of them, applications and comments are presented and the advantages for the users are discussed.

Statistical process control charts help us to detect, diagnose and correct production problems in a timely fashion. The result is substantial improvement in product quality. On the other hand, control charts also tell us when to leave a process alone, thus preventing unnecessary adjustments that tend to increase the variability of the process, rather than reduce it.

In addition to detecting the presence of special causes, control charts helps us estimate the natural tolerance of a production process, which in turn permits us to estimate process capability. A natural tolerance is defined as the interval covering  $\pm 3\sigma$  from the mean of a measured process quality characteristic. Knowing our process capabilities helps us to select the appropriate machines, tools and so on, to meet engineering specifications consistently in our production operations.

SPC calls for understanding the important distinction between variables data and attributes data. When a record is made of an actual, measured quality characteristic, the quality characteristic is said to be “expressed” by variables. On the other hand, if a record shows only a summary or classification with regard to any specified set of requirements, either expressed or implied, it is said to be a record by “attributes.”

Trouble is a common state of affairs in manufacturing. Whenever the trouble consists of difficulty in meeting quality specifications that are expressed in terms of variables, the Shewhart control charts for  $\bar{X}$  and  $R$  are indispensable tools in the hands of the trouble shooter. They provide information on three matters, all of which need to be known as a basis for action. These are

1. Basic variability of the quality characteristic
2. Consistency of performance
3. Average level of the quality characteristic

No production process is good enough to produce all items of product exactly alike. Some variability is unavoidable; the amount of this basic variability will depend on various characteristics of the production process, such as the machines, the materials, the operators. Where both upper and lower values are specified for a quality characteristic, as in the case of dimensional tolerances, one important question is whether the basic variability of the process is so great that it is impossible to make all the product within the specification limits. When the control charts shows that this is true and the specifications cannot be change, the alternatives are either to make fundamental change in the production process that will reduce its basic variability or to face the fact that it will always be necessary to sort out the acceptable product. Sometimes, however, when the control chart shows so much basic variability that some product is sure to be made outside the tolerances, a review of the situation will show that the tolerances are tighter than necessary for the functioning of the product. Here the appropriate action is to change the specifications to widen the tolerances.

Variability of the quality characteristic may follow a change pattern, or it may behave erratically because of the occasional presence of assignable causes that can be discovered and eliminated. The control limits on chart are so placed as to disclose the presence or absence of these assignable causes. Although their actual elimination is usually an engineering job, the control chart tells when, and in some instances suggests where, to look. As previously mentioned, the action of operators in trying to correct a process may actually be an assignable cause of quality variation. A merit of the control chart is that its tell when to leave a process alone as well as when to take action to correct trouble. The elimination of the assignable causes of erratic fluctuation is described as bringing a process under control and is responsible for the many of the cost savings resulting from statistical quality control.

Even though the basic variability of the process is such that the natural tolerance range is narrower then the specified tolerance range, and even though the process unsatisfactory because the average level of the quality characteristics is too low or too high. This also will be disclosed by the control chart. In same cases the correction of average level may be a simple matter, such as changing a machine setting; in other situations, such as increasing an average level of strength, it may call for a program of research and development work.

Once the control chart shows that a process is brought under control at a satisfactory level and satisfactory limits of variability, one may feel confident that the product meets specifications. This suggests the possibility of basing acceptance

procedures on the control chart, using it to determine whether this happy state of affairs is continuing. Under these favorable circumstances substantial savings are often possible in costs related to inspection. Where inspection consists of destructive tests, it may be possible to reduce the number of items tested, thus saving both in testing cost and in the cost of the product destroyed.

Most routine inspection of manufactured products is inspection by attributes, classifying each item inspected as either Accepted or Rejected ( with possibly a further division of rejects into spoilage and rework). This statement applies both to %100 inspection and sampling inspection. In such inspection it is common practice to make a record of the number of the items rejected.

The practice of recording at the same time the number of items inspected is not so universal. However, if quality performance at one time is to be compared with that at another time, the record of total number inspected is just as necessary as the record of number rejected. The ratio of the number items rejected to the number of items inspected is the fraction rejected.

Thus the Shewhart control chart for fraction rejected generally makes use of data that either are already available for other purposes or that can readily be made available. Simple statistical calculations provide control limits that tell whether assignable causes of variation appear to be present or whether the variations from day to day (or lot to lot, vendor to vendor, or whatever the classification basis may be) are explainable on change grounds.

Control chart for attributes (the p chart) is somewhat less sensitive than the charts for variables ( $\bar{X}$  and R charts) and does not have as great a diagnostic value. Nevertheless, it is an extremely useful aid to production supervision in giving information as to when and where to exert pressure for quality improvement. It is a common experience for the introduction of a p chart to be responsible for substantial reductions in the average fraction rejected. In some instances the p chart will disclose erratic fluctuations in the quality of inspection, and its use may result in improvement in inspection practices and inspection standards. Moreover, the p chart often serves to point out those situations needing diagnosis of trouble by the control chart for variables.

In addition to its use in process control, the p chart may be of great value in dealing with outside vendors. Vendors may differ both in the quality level submitted and in the variability of that quality level. It is particularly desirable to know whether the quality of product submitted by a vendor today is a reliable indication of what may be expected to be submitted next month. The p chart gives useful guidance on this point.

Shewhart control chart for non-conformities per unit applies to two specialized situations. One is the case where a count is made of the number of non-conformities of such type as blemishes in a painted or plated surface of given area, weak spots in the insulation of rubber-covered wire of a given length, or imperfections in a bolt of cloth. The other is the case of inspection of fairly complex assembled units in which there are a great many opportunities for occurrences of non-conformities of various types, and total number of non-conformities of all types found by the inspectors is recorded for each unit.

As in other types of control charts, the control limits are set in away to detect the presence or absence of assignable causes of variation, and they therefore tell when to take action on the process and when not to do so. Experience indicates that

erratic variation in inspection and that the control chart for non-conformities per unit generally proves helpful in standardizing inspection methods.

Although this type of control chart applies only to a limited number of manufacturing situations involving quality, it has broad application to many other types of situations commonly met in everyday life.

In the fourth chapter, an activity schedule for SPC tool is prepared by using the data handled in the first three chapters. This schedule which begins with the definition of the process, gives the operations to be done for determination of the characteristics to be controlled, selection of the controlling tool and methods or machine and process capability analysis in an order.

The output from all repeated operations or continuous processes varies to some extent. When that variation is due only to random causes, the process said to be in control. The range over which this variability occurs is often referred to as the process capability. A measure of this variability, usually in terms of the process standard deviation, is one of the parameters of the process.

Capability studies are conducted for the purpose of estimating the process parameters and using this information to determine the ability of the process to meet standards and specifications. This information can also be used to establish new standards for the process or to modify or revise old ones. These standards can then be used as a basis for constructing control charts.

When data have been collected from a process for a sufficient period of time, it becomes possible to describe the process statistically. This description involves estimates of the mean and standard deviation and assumption about the form of the distribution. This in turn leads to the estimated capability limits of the process, that is, the limits within which at least 99 percent of the observed values of the process variable can be expected to fall.

In order to determine process capability, the process being studied must be in control. The concept of process capability refers to a process operating under normal conditions and not subject to any but random causes of variation. Consequently, when the data obtained for the capability study contain an extreme or unusual value and investigation determines that it is the result of an assignable cause which can be corrected, that value can be eliminated from the data. This would be true of any estimation procedure.

In estimating process parameters for the purpose of determining process capability, certain practical problems sometimes arise. A process may be out of statistical control and the causes of the condition cannot be economically corrected. When this situation occurs, they suggest that capability limits be determined for the process as it exists, that is, with these assignable causes present. These limits will be inflated because the process will not be operating at its best. However, its better to exercise control at limits that recognize the inherent instability of the process than to abrogate any attempt to control the process at all.

Once capability limits have been established for the process, management has the responsibility for deciding whether or not they are satisfactory. If they are satisfactory, then decisions can be made based upon the existing capability. These decisions could include the acceptance or rejection of contract proposals, the pricing of product, the establishment of control charts, etc. If control charts are established based on the standard values and the limits determined by the capability study, their purpose is then to maintain control of the process at the existing limits.

If management decides that the existing capability limits are not satisfactory, they are then faced with the problem of deciding whether or not the process can and should be improved. Process improvement may involve changes in working conditions, procedures, equipment, personnel, or other factors, bearing upon the performance of the operation. The amount of improvement which may be possible and the economic advantage resulting should be compared with the cost of obtaining the improvement. This cost should include the cost of new and improved equipment, the cost involved in establishing location, layout, or operating procedures, the costs involved in establishing and implementing new personnel training procedures, the costs related to the replacement of inefficient or ineffective personnel, and so forth.

If improvement in process capability is possible and economically feasible, then control of the process can be exercised at whatever higher level can be achieved. It would, however, be futile to attempt to establish control of a process at a level that is beyond the capability of an existing process without first improving the process capability.

While conducting a capability study, the first step is the collection of data from the process. Once the data have been collected, the statistical techniques should be used to compute the mean and the standard deviation of the sample values. Most process variables have a normal or approximately normal distribution. When the process variable does not have a normal distribution, then some other appropriate distribution should be used to calculate the capability limits of the process.

If a normal distribution is assumed, the capability limits of the process are estimated from the sample mean and the sample standard deviation.

The fifth chapter, which is the last one of this study includes a pilot study in Turkish Electrical Industries Sultancıftlığı Electrical Motors Company, according to the developed activity plan. The main goal of this project is to implement this study in the whole factory. Further gains will be a reduction in the costs and an improvement in the quality level that is already high.

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sınırların birer birer ortadan kalktığı, mesafelerin her geçen gün daha da kısaldığı ve bu nedenle rekabet üstünlüğünün büyük önem taşıdığı günümüzde üreticiler, ürettikleri mallarını satabilmek için, düşük maliyetli ve daha kaliteli üretime yönelmek zorunluluğu duymaktadırlar. Bu nedenle üreticiler her şeyden önce pazarın hangi kalitede mal talep ettiğini ve bu kalitedeki bir malı en düşük maliyetle nasıl üretebileceğini bilmek durumundadır. İşte bu noktada kalite ve kaliteye yönelik uygulamalar büyük önem taşımaktadır. Zira üretilen malın istenilen kalitede olup olmadığı, değişen teknolojinin kaliteyi ve maliyeti etkileyip etkilemediği, iskarta miktarının minimum seviyeye indirilmesi suretiyle maliyetin ne ölçüde düşürülebileceği gibi hususlar ancak kalite uygulamaları ile açıklığa kavuşturulabilir.

Günümüzde işletmeler, bir taraftan sahip oldukları müşterilerin memnuniyetini arttırmak, diğer taraftan da daha ucuz ürün üretmek zorunluluğu ile karşı karşıyadır. Bu nedenle de mevcut kalitenin korunması ve hatta yükseltilmesi, aynı zamanda da maliyetlerin düşürülmesi için Toplam Kalite, İstatistiksel Kalite Kontrol, ISO 9000 Kalite Güvencesi Sistemi gibi kalite uygulamaları oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle ülkemizde işletmeler; bir taraftan gümrük birliği, Türkiye Cumhuriyetlerin değişen durumu gibi nedenlerle ortaya çıkan yeni pazar fırsatlarını değerlendirebilmek, diğer taraftan güçlü, kaliteli ürün üreten, dev dünya şirketlerine sahip oldukları iç pazar payını kaptırmamak için bu alanda yoğun faaliyetlerde bulunmaktadır.

Dünya şirketleri artık “Hedef minimum kayıp” sloganı yerine, “Sıfır kayıp” yada “Sıfır hata” sloganını kullanmaktadırlar. Bu da hatalı üretimin daha oluşmadan önlenmesi anlamındadır.

## 1.1. KALİTE VE TOPLAM KALİTEYE GENEL BAKIŞ

Kalite ile ilgili pek çok tanım mevcuttur. Bunlardan bazılarını hatırlamak gerekirse :

Kalite; bir ürün veya hizmetin, belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır. (ISO 9000, 1992)

Bir ürünün veya hizmetin kalitesi; tüketici gereksinimlerini mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan pazarlama, mühendislik, imalat ve kalitenin devamı özelliklerinin bileşkesidir.

Kalite ; müşteri ihtiyaçlarının tatmini, operasyon performansının iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla kullanılan stratejik bir araçtır.

Kalite; kullanıma uygunluktur. (JURAN, 1989)

Ürün veya hizmetin kalite için belirlenen istekleri karşılamak amacıyla, yeterli güveni sağlaması için gereken planlı ve sistematik faaliyetlerin bütünü Kalite Güvencesi olarak tanımlanmaktadır.

Toplam Kalite ise, bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve kalite iyileştirme çabalarını müşteri tatminini de gözönünde tutarak üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistemdir.

Toplam kalite felsefesinin doğuşuna büyük katkıları olan Deming ve diğer kalite bilimciler daha üretken bir toplum için şu kurallara uymak gerektiğini savunmuşlardır.

- Kaliteyi arttırmak için maliyetler düşürülmelidir.
- Kaliteyi arttırmanın yolu kalitesizliği (hataları) önlemektir. Muayene ile kaliteyi sağlamak hem zor hem de pahalıdır. Muayene sonucu tesbit edilen hatalı ürünler, ya ikinci işçiliklerle uygun hale getirilir ya da ıskarta olur. ıskarta ve ikinci işçilikler de maliyetleri yükseltir. Ayrıca hatalı ürünlerin her zaman tam olarak ayrılması mümkün olmadığından; her an hatalı ürün veya hizmet müşteriye sunulabilir. Bu durum ; müşteri şikayetlerine, reklamasyonlara ve müşteri kaybına neden olur.

Klasik kalite kontrol anlayışında, ayrıca muayene sonucu elde edilen verilerin üretim sistemine geri beslenmesi istenen hızda gerçekleşmeyebilir.

Bu nedenle; kalite geliştirme çalışmaları amaçlanan hız ve etkinlikte sürdürülemez.

Muayeneyi temel alan kontrol sisteminde, kalitenin sıfır hatayı hedef alacak şekilde iyileştirilmesi ve % 100 müşteri tatmininin sağlanması mümkün değildir.

Önleyici yaklaşımda; prosesin her aşamasında istatistik yöntemler kullanılarak, hatalar belirlenir ve kalıcı çözümler bulunur. Her ürün için, karlı ve yeterli prosesler elde edilir. Prosesleri kararlı ve yeterli hale getirilmiş olan üretimlerde ;

a) Hatalar oluşmadan önlenir.

b) Hatalı ürün üretilmediği için, ıskarta ve ikinci işçilikler nedeniyle maliyetlerin yükselmesi ve müşteriye hatalı ürün gönderilmesi söz konusu olamaz.

- Kalitesizliğin (hataların) temelinde DEĞİŞKENLİK vardır. Kaliteyi arttırmak için değişkenlik mutlaka azaltılmalı ve belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Hayatta her şey bir değişim süreci içerisinde. İnsandan insana, zamandan zamana, parçadan parçaya, ekipmandan ekipmana, malzemeden malzemeye, makinadan makineye her şey birbirinden farklıdır. Değişkenliğin iki temel nedeni vardır :

a) Genel Nedenler :

Kabullerdir. Proses üzerindeki değişiklik etkilerini azaltmak için yatırım gereklidir.

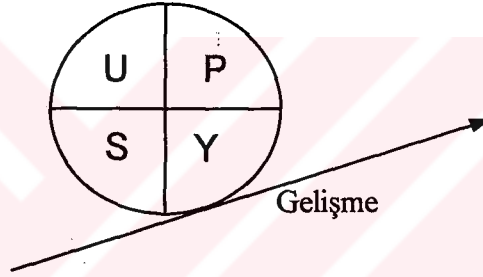
Bazıları :

- Kalite yönetimi sisteminin etkinliği,
- Hammadde spesifikasyonu,
- Tezgah, alet ve yardımcı ekipmanın kalitesi,
- Nem oranı,
- Ortam sıcaklığı,
- Aydınlatma,
- Titreşim.

b) Özel Nedenler :

Varlıkları belirlenip ortadan kaldırılabilir. Bazıları :

- Üretim yönteminin yanlış veya eksik uygulanması,
  - İşçi eğitiminin eksik olması,
  - Takım aşınması,
  - Tezgah duyarlılığının bozulması.
- Kalite ancak sürekli gelişme istenen düzeye ulaşabilir. Sürekli gelişmenin yöntemi yine Deming tarafından ortaya konulan “Deming çevrimi” temeline dayanır. Bu çevrim ; Planla - Yap - Sına - Uygula ( Plan - Do - Study - Act ) çevrimidir (Bak. Şekil 1.1.). Çevrim her aşaması sağlıklı bir şekilde uygulandığı sürece kalitede sürekli bir gelişme süreci var olacaktır.



Şekil 1.1. Deming döngüsü.

- Ürünü geliştirmek için prosesleri (sistemi) geliştirmek gerekir. Çünkü sonucu belirleyen sistemdir. Sistemi geliştirmek için proseslerin kontrol altına almak ve kontrol altında tutmak gereklidir.

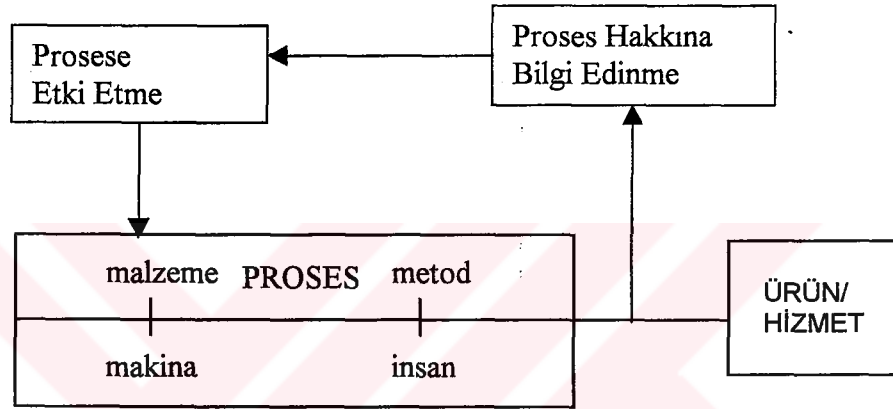
Bunu gerçekleştirmek için de istatistik kullanılmalıdır.

## 1.2. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

### 1.2.1. TANIMLAR

İstatistiksel proses kontrolü daha iyi kavrayabilmek için bazı tanımları gözden geçirelim ;

**Proses :** Bir üretimde kullanılan tezgah, takım, metod, malzeme, çevre ve insangücü faktörlerinin bir bileşimidir.



Şekil 1.2. Prosesi oluşturan faktörler ve prosesin kontrolü.

**Kontrol :** Birşeyin bizim istediğimiz şekilde yani, hakimiyetimiz altında gitmesini sağlamaktır.

**Kalite Kontrol :** Bir kalite karakteristiğini ölçüp, standartları ile karşılaştırıp arasındaki farkı ortaya çıkaran bir işlemdir.

Bir ürün veya hizmetin kalitesinin istenen spesifikasyonları karşılayabilmesini temin için operasyonel teknik ve faaliyetlerin kullanılmasıdır.

**Değişkenlik :** Doğada veya bir üretim sürecinde iki nesnenin hiç bir zaman mükemmel olarak birbirinin aynısı olmadığını ifade eder.

**Spesifikasyon :** Bir işin nasıl yapılacağını belirten ayrıntılı bir talimat veya belirli özellikleri yanılığa meydan vermeyecek açıklıkta ve ölçütlerde tanımlayan bilgilerdir.

**İstatistiksel Proses Kontrol** : Bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir şekilde üretilmesini sağlamak amacıyla, istatistik prensip ve tekniklerin üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır.

### 1.2.2. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜN TARİHÇESİ

Kalite kontrolde istatistiksel yöntemler II. Dünya Savaşı sırasında silahların etkinliğini ve hedefleri bulma yüzdelere arttırmak amacıyla A.B.D. ordusu tarafından kullanılmıştır. İstatistik bilimini endüstrinin hizmetine sunanlar Dr.Shewhart ve Dr.Deming'tir. 1946'da ASQC (Amerikan Kalite Kontrol Derneği)'nin kurulması istatistik kalite kontrolün yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur. Ancak asıl büyük çıkışı A.B.D.'de istedikleri ilgiyi bulamayan Dr.Deming, Juran gibi kalite bilimcilerinin Japonya'ya giderek orada görüş ve bilgilerini uygulamaya istekli sanayicilerle buluşmalarıdır. Bu buluşma endüstride İstatistiksel Kalite Kontrol, Toplam Kalite gibi kavramların uygulayıcılarının elde ettikleri büyük gelişme ve ilerlemeler nedeniyle diğerlerinin de ilgi duymalarına neden olmuştur. 1940'lı yılların sonlarından günümüze kadar, her gün sınırların ortadan kalkıp daha da globalleşen günümüzde, tüm işletmeler çetin rekabete rağmen varlıklarını sürdürebilmek için maliyetlerini kontrol altına alıp mümkün olduğu kadar aşağıya çekmek amacıyla kalite uygulamalarına çok büyük önem vermektedirler. Hiç şüphesiz ki bir malı rakiplerine göre daha ucuza ve daha kaliteli üreten bir işletme bu yarışta büyük bir avantaj elde edecektir.

İstatistiksel proses kontrol, üretimin önceden belirlenmiş kalite spesifikasyonlarına uygunluğunu sağlayan, standartlara bağlılığı hedef alan, kusurlu ürün üretimini en aza indirmekte kullanılan bir araç olarak, bugün en çok kullanılan kalite uygulamalarından biridir.

İstatistiksel proses kontrol, basit bir muayene ve kontrol işlemi olmayıp, amacı sadece kusurları yakalamak değil, fakat aynı zamanda kusurlu ürün üretimini engellemektir. İstatistik, kalite kontrolde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

### 1.2.3. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜN TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ İÇİNDEKİ YERİ

İstatistiksel Proses Kontrolün Toplam Kalite Yönetimi prosesi içerisindeki yerini aşağıdaki gibi gösterebiliriz. (KOGEM İPK EĞİTİM NOTLARI)



Şekil 1.3. T.K.Y. Süreci içerisinde İ.P.K.'nın yeri.

### 1.2.4. NEDEN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi hatalı üretilmiş bir ürünün tekrar işlenmesi yada ıskartaya ayrılmasının maliyeti, o ürünün hatalı üretimini engellemek için yapılacak faaliyetlerin maliyetine kıyasla çok yüksek olacaktır. Bu nedenle bir ürün üzerinde oluşabilecek hatalara tepki göstermek yerine, hataları daha doğmadan önlemek günümüz kalite anlayışının da temelini oluşturmaktadır. Bu anlayışa göre

ideal olan proses üzerinde önceden önlemler alarak hatalı ürün daha üretilmeden engellemektir.

İstatistiksel Proses Kontrol teknikleri, satın alınan malzemeler, metodlar, prosesler, makinalar, ürünler ve insan faktöründeki değişimleri kontrol altına almak ve niceliksel ve niteliksel özelliklerini ölçmek amacıyla sayısal veriler kullanarak sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir.

İstatistiksel Proses Kontrol tekniklerinin uygulanmasının iki temel nedeni vardır. Prosesi sürekli denetim altında tutarak :

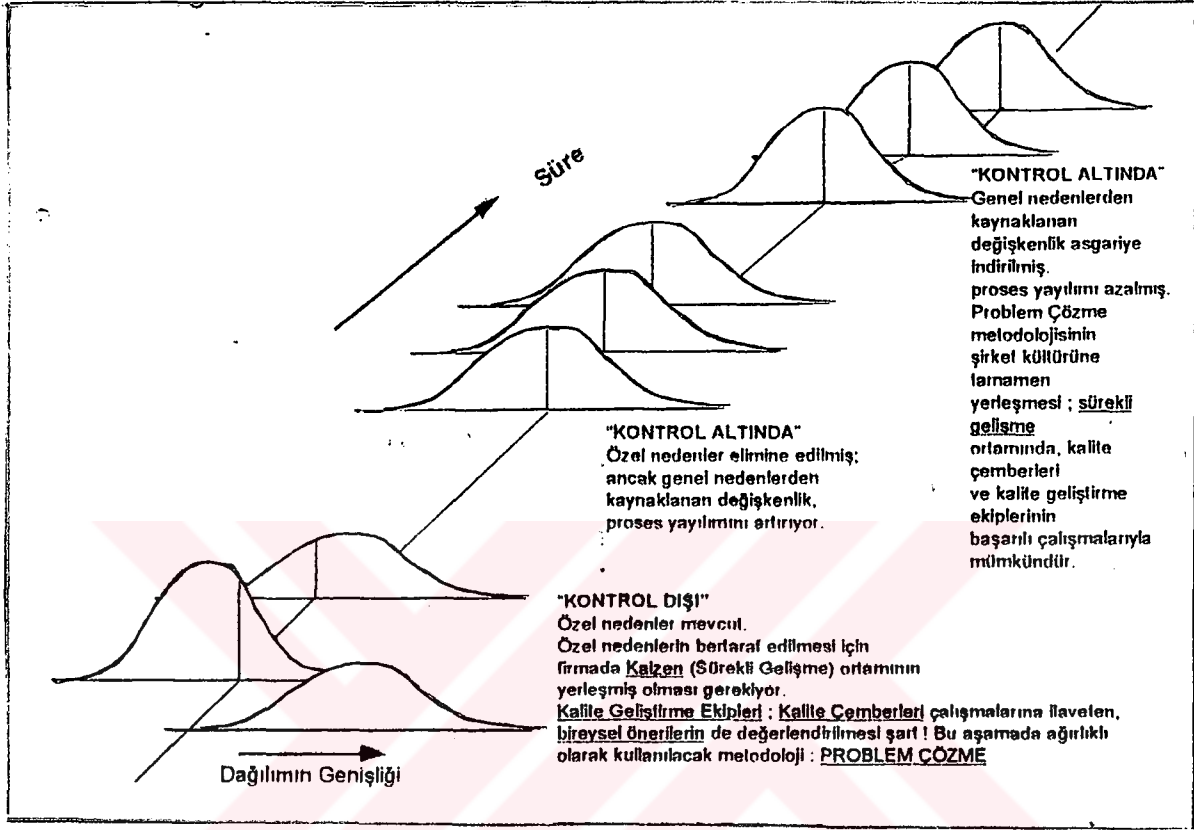
- a) Verimliliği arttırmak : Böylece; sürekli kontrol ile kayıpları önlemek. Üretim maliyetlerini düşürerek karlılığı arttırmak ve rekabet ortamında rakiplere karşı avantajlı bir duruma sahip olmak.
- b) Kaliteyi geliştirmek : Böylece; sürekli gelişme ile kaliteyi arttırarak müşteri tatminsizliklerini önlemek, şirket imajını korumak ve yükseltmek, ürün maliyetlerini düşürerek rekabet ortamında ayakta kalabilmek.

Makina ve proses bazında elde edilecek kazançlar ise :

- a) Tezgah bazında uygulanan İstatistiksel Proses Kontrol ile hataların gecikmeye meydan vermeden düzeltilmesi.
- b) Numune alma sıklığının tayini. Gerekğinde düşürülmesi veya arttırılması.
- c) Tolerans sınırlarının irdelenerek gerekli düzeltmelerin yapılması.
- d) Sahalara daha sağlıklı ve daha hızlı bilgi akışının sağlanması.
- e) Karakteristik verilerde artan hata tiplerinin tesbiti ve erken müdahalenin mümkün kılınması.
- f) Karakteristik verilerde kontrol limitlerinin giderek daraltılarak imalatın daha az fireyle çalışmasının sağlanması ve numune alma sayısının giderek düşürülmesi.
- g) Prodüksiyon maliyetinin düşürülmesi.
- h) Bütün prosesin optimize edilmesi.

İstatistiksel Proses Kontrol uygulamasıyla, proses dağılımının izlemesi gereken seyir, aşağıdaki Şekil 1.4.'de gösterilmiştir. Prosesin hedef ölçüden sağa-sola kayması (özel nedenler) elimine edildikten sonra, değişkenlik ile mücadele başlamalıdır. Neticede proses, hedefle çakışır hale gelip, yayılımı asgari düzeye inecektir. Ancak prosesin kendi yetenek seviyesi ile sınırlı olan bir miktar değişkenlik, her zaman var

olacaktır (prosesin yeteneklerini belirleyen ekipman, daha yetenekli bir teknoloji ile değiştirilene kadar).



Şekil 1.4. İPK Süreci içerisinde bir prosesin izleyeceği seyir.

İstatistiksel proses kontrol çalışmalarında eğitimin çok önemli bir rolü vardır. Her düzeyde, hemen herkesin gerekli eğitimi alması gerekmektedir. İstatistiksel proses kontrol ve kalite geliştirme çalışmalarını başlatmayı planlayan kuruluşlar için istatistiksel proses kontrol eğitiminde dikkate alınması gereken en önemli hususlar;

- Kalite herkesin işi olduğu için herkesin katılması gerekmektedir.
- Standartların açık ve anlaşılır olması, uygulamanın sıkı bir biçimde kontrol edilmesi gerekmektedir.
- Sürekli gelişim sağlanmalı ve gelişme asla durmamalıdır.
- Elde edilen bilgilerin doğru olması, ölçümlerin hassas yapılması, prosesin hatasız çalışması ve sonuçların gerçeği yansıtması gerekmektedir.

## BÖLÜM 2

### İSTATİSTİK İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

#### 2.1. İSTATİSTİK NEDİR

Genel olarak istatistik, çeşitli karakterlere sahip olan problemlere uygun çözümler bulmak amacıyla geliştirilmiş yöntemler topluluğudur.

İstatistik, yapılacak tahminler ve varılacak sonuçlardaki hata olasılığını matematik olasılığa dayanarak ve tüme varım yoluyla değerlendirmekle, nicel veri ve malumatın toplanması, sınıflandırılması ve değerlendirilmesinde en etkili yöntemlerin geliştirilme ve uygulanması sanatı ve bilimidir. (AKIN, 1996)

Uygulamalarda istatistiksel yöntemlerin başarısını engelleyen birtakım faktörler olabilir. Yapılacak çalışmaların başarıya ulaşabilmesi için bu faktörler ortadan kaldırılmalıdır. Başlıcaları şunlardır :

- Yanlış yada gerçeklerle bağdaşmayan veriler,
- Yetersiz veri toplama yöntemleri,
- Veri iletiminden doğan hatalar ve hatalı matematiksel işlemler,
- Anormal değerlerin kullanılıp kullanılmaması,
- Uygun istatistiksel yöntemlerin belirlenmemesi,
- Deneyimsiz kişilerin yaptıkları yanlış uygulamalar. (AKIN 1996)

#### 2.2. İSTATİSTİĞİN TEMEL KAVRAMLARI

İstatistiksel Proses Kontrolde en sık kullanılan istatistikle ilgili kavramlar şunlardır :

**Yığın :** Ölçülmüş veya ölçülebilen elemanlardan meydana gelen ve sonlu sayıda eleman barındıran bir kümedir. Genellikle ( N ) ile sembolize edilir.

**Örnek :** Belli ve sınırlı sayıda elemanlardan meydana gelen yığının karakteri hakkında bilgi edinmek amacıyla yığından alınan alt kümedir. Genellikle (  $n$  ) ile sembolize edilir. Yığından seçilmiş bir örnek ;

- a) Tesadüfi olmalıdır.
- b) Yığının temsil edici nitelikte olmalıdır.



(a)

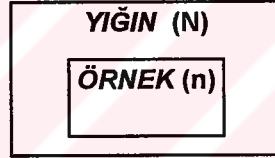


(b)



(c)

**Şekil 2.1.** Örneğin yığını temsil etmesi ; (a),(b) uygun değil, (c) uygun.



**Şekil 2.2.** Yığın-Örnek ilişkisi.

**Örnekleme :** Yığının özelliklerinin ölçümünde kullanmak amacıyla, bir dizi homojen eleman arasından seçim yapma işlemidir.

Örneklemenin nedenleri :

a) Ekonomik nedenler; anakütlenin tüm elemanlarının incelenmesi çok pahalıya mal olmaktadır. Örneğin bir seçim araştırmasında seçmenlerin tümünün siyasi tercihlerinin tesbit edilmesi çok pahalıya mal olacaktır.

b) Teknik nedenler; Tahribatlı inceleme, belirli bir özelliğin saptanması için yapılan ölçme, ölçümü yapan bireyin özelliklerine zarar verebilir.

c) Zaman kısıtlamaları; Anakütlenin tüm elemanlarının incelenmesi için yeterli zaman yoktur. Ekonomik nedenlerde örnek olarak verilen tüm seçmenlerin

siyasi tercihlerinin araştırılması, aynı zamanda zaman kısıtı nedeniyle de pek mümkün değildir.

**İstatistiksel Seri :** Belirli yöntemlerle toplanan verilerin analize hazır hale getirilebilmesi ve değerlendirilebilmesi için istatistiksel seri şekline sokulması ve grafiğinin çizilmesi gerekir. İstatistiksel Proses Kontrol çalışmalarında kullanılan başlıca istatistik seriler üç grupta toplanabilir.

1. Basit Seri : Seri elemanlarının küçükten büyüğe doğru sıralanmasıdır.  
( Bak. Şekil 2.3.(a)).
2. Frekanslı Seri : Elemanları birden fazla tekrarlanan serilerdir.  
( Bak. Şekil 2.3.(b)).  
(Frekans : Seri içerisindeki elemanın tekrar sayısı)
3. Sınıflı Seri : Seride yer alan elemanların belli sayıdaki aralıklara ayrılmış sınıfların içine düşen adetlerinin gösterildiği seridir.  
( Bak. Şekil 2.3.(c)).

| BASİT SERİ          | FREKANS SERİSİ |              | GRUPLANDIRILMIŞ SERİ |           |
|---------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------|
| A MALİ SATIŞ FİYATI | ZAR RAKAMLARI  | GELİŞ SAYISI | NÜFUS (x 1000)       | İL SAYISI |
| 100                 | 1              | 10           | 200-400'den az       | 11        |
| 110                 | 2              | 30           | 400-600'den az       | 22        |
| 120                 | 3              | 22           | 600-1000'den az      | 37        |
| 140                 | 4              | 18           | 1000-1500'dan az     | 25        |
| 160                 | 5              | 35           | 1500-3000'dan az     | 14        |
| 200                 | 6              | 15           | 3000 ve üstü         | 8         |

(a)

(b)

(c)

**Şekil 2.3.** Seri çeşitleri; (a)Basit Seri, (b)Frekans Serisi, (c)Gruplandırılmış Seri.

Süreçteki değişkenliği açıkça görebilmek ve sürecin geçerliliği hakkında bir yargıya varabilmek için yığından alınan örneklerden elde edilen verilerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Sınıflı seri izlenecek veri sayısının çok ve birbirinden farklı sayıda değer alması durumunda kullanılır.

Sınıfları oluştururken önemli bir nokta; sınıf aralığının ne olacağı veya sınıf sayısı kaç tane olursa en uygun düzenlemenin yapılmış olacağının belirlenmesidir. Sınıflama yapılırken dikkat edilmesi gereken şey; araştırmanın özellikleri ve sınıflamanın neden olacağı sapmalardır. Sınıf sayısının az olması, sapmanın artması anlamına gelmekle birlikte, çok olması da işlemlerin artması demektir. Sınıf sayısı genellikle beş veya daha fazla olmalıdır. Ancak bu rakamın yirmiden çok olması işlemlerin sayısının oldukça yüksek olması anlamına geleceğinden pek tercih edilmemelidir. Pratik olarak sınıf sayısı şöyle bulunabilir :

$$\text{Sınıf Sayısı} = \sqrt{\text{Örnek Hacmi (n)}} \quad (2.1)$$

Örnek hacminin karekökü bize sınıf sayısını verir.

Sınıf sayısının belirlenmesinde kullanılabilecek bir diğer formül :

$$\text{Sınıf sayısı} = 1 + 3,3 * \log (\text{örnek hacmi (n)}) \quad (2.2)$$

Aşağıdaki tablo sınıflandırma yapılırken yardımcı olarak kullanılabilecek bir tablodur.

**Tablo 2.1.** Sınıflandırma için yardımcı tablo.

| Veri Sayısı | Sınıf Sayısı |
|-------------|--------------|
| 20 – 50     | 4 – 6        |
| 51 – 100    | 5 – 10       |
| 101 – 200   | 9 – 13       |
| 201 – 500   | 12 – 15      |
| 500 – 1000  | 15 – 20      |

Sınıflı seri oluşturma algoritmasını şu şekilde oluşturabiliriz :

**Adım 1 :** İstatistik veriler içerisindeki en büyük ve en küçük değerler bulunarak aralarındaki fark hesaplanır. Bulunan bu değere verilerin dağılma aralığı

veya Range denir ve ( R ) harfi ile gösterilir. Formulasyonu ise aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (2.3)$$

Burada  $X_{\max}$  = En büyük değer ,  $X_{\min}$  = En küçük değerdir.

**Adım 2 :** Sınıf aralığını bulmak için dağılma aralığı, sınıf sayısına bölünür. Sınıf aralığını bulmak için kullanılan formül aşağıdaki gibidir.

$$\text{Sınıf Aralığı} = \frac{\text{Dağılma aralığı (R)}}{\text{Sınıf Sayısı (n)}} \quad (2.4)$$

**Adım 3 :** Verilerin en küçüğü birinci sınıfın alt sınırı olarak seçilir.

**Adım 4 :** Sınıf aralığı buna eklenerek, ikinci sınıfın alt sınırı ve aynı işlem tekrarlanarak diğer sınıfların alt sınırları hesaplanır.

**Adım 5 :** Birinci sınıfın üst sınırı, ikinci sınıfın alt sınırından bir ölçü ünitesi eksik tayin edilir. Sınıf aralığı buna eklenerek ikinci sınıfın üst sınırı bulunur. Bu işlemin sonucunda, hiçbir istatistiki veri dışarda kalmamış ve herhangi bir değer hangi sınıfa gireceği konusundaki belirsizlik de giderilmiş olur.

**Adım 6 :** Sınıflar oluşturularak, her sınıfa düşen frekans sayısı bulunur ve frekans dağılım tablosu düzenlenmiş olur. (AKIN, 1996)

## ÖRNEK 2.1.

Otomotiv kablo aksamaları üreten bir fabrikadaki kullanılan terminallerin kabul örneklemede 1000 adetlik bir partiden 50 adedi tesadüfi örnekleme yoluyla seçilmiştir. Seçilen terminallerin mikrometrede okunan boyları ( Tablo 2.2.) ye kaydedilmiştir.

**Tablo 2.2.** Kaydedilmiş ham veriler.

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.498 | 0.500 | 0.505 | 0.503 | 0.502 |
| 0.501 | 0.499 | 0.502 | 0.501 | 0.501 |
| 0.504 | 0.501 | 0.504 | 0.504 | 0.504 |
| 0.502 | 0.502 | 0.504 | 0.501 | 0.502 |
| 0.503 | 0.504 | 0.501 | 0.500 | 0.500 |
| 0.504 | 0.499 | 0.503 | 0.502 | 0.502 |
| 0.502 | 0.503 | 0.502 | 0.499 | 0.504 |
| 0.505 | 0.502 | 0.500 | 0.502 | 0.501 |
| 0.503 | 0.503 | 0.501 | 0.503 | 0.503 |
| 0.500 | 0.502 | 0.501 | 0.503 | 0.503 |

**Adım 1 :** Dağılım aralığını bulmak amacıyla, veriler Tablo 2.3.'deki gibi küçükten büyüğe sıralanır. En küçük eleman tablonun sol üst köşesinde en büyük eleman ise tablonun sağ alt köşesinde yer almaktadır.

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

$$R = 0.505 - 0.498$$

$$R = 0.007$$

**Tablo 2.3.** Verilerin küçükten büyüğe sıralanması.

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.498 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.499 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.499 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.499 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.500 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.500 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.500 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.500 | 0.501 | 0.502 | 0.503 | 0.504 |
| 0.500 | 0.502 | 0.502 | 0.503 | 0.505 |
| 0.501 | 0.502 | 0.502 | 0.503 | 0.505 |

**Adım 2 :** Tablo 2.1. yardımıyla sınıf sayısı 50 adet veri için 5 olarak tesbit edilir.

$$\text{Sınıf Aralığı} = \frac{\text{Dağılım aralığı (R)}}{\text{Sınıf Sayısı (n)}}$$

$$\text{Sınıf Aralığı} = \frac{0.007}{6}$$

$$\text{Sınıf aralığı} = 0.0012$$

**Adım 3 :** Alt sınır =  $X_{\min} = 0.498$

**Adım 4 ve Adım 5 :** Belirtilen formülasyon ile Tablo 2.4.'deki sınıf aralıkları elde edilir.

**Tablo 2.4.** Hesaplanan sınıf alt ve üst değerleri.

| SINIFLARIN ALT VE ÜST DEĞERLERİ | SINIF NO |
|---------------------------------|----------|
| 0.4980 - 0.4991                 | 1        |
| 0.4992 - 0.5003                 | 2        |
| 0.5004 - 0.5015                 | 3        |
| 0.5016 - 0.5027                 | 4        |
| 0.5028 - 0.5039                 | 5        |
| 0.5040 - 0.5052                 | 6        |

**Adım 6 :** Belirlenen sınıf aralıklarına göre oluşturulan frekans dağılım tablosu Tablo 2.5.'de gösterilmiştir

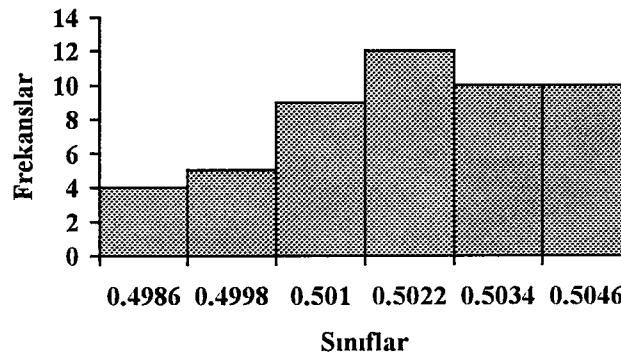
**Tablo 2.5.** Frekans Dağılım Tablosu

| SINIF ARALIKLARI |         | FREKANS |
|------------------|---------|---------|
| 0.4980 - 0.4991  | XX      | 4       |
| 0.4992 - 0.5003  | XX/     | 5       |
| 0.5004 - 0.5015  | XXXX/   | 9       |
| 0.5016 - 0.5027  | XXXXXXX | 12      |
| 0.5028 - 0.5039  | XXXXXX  | 10      |
| 0.5040 - 0.5052  | XXXXXX  | 10      |

İstatistik seri haline getirilmiş verilerin oluş biçimlerini yansıtabilmek amacıyla bu verileri kullanarak grafikler oluşturulur. Sınıflandırılmış verilerin grafikleri ise histogramlardır.

**Histogram** : Bir sayı gurubunda hangi sayının ne sıklıkta olduğunu gösteren bir grafikdir. Yani, hangi değerden kaç adet olduğunu işaretlendiği bir grafikdir. Histogramlarda hangi değerden kaç adet olduğunu gösterilmesinin yanında, hangi değer aralığına kaç adet verinin düştüğü de gösterilebilir. Histogramlar bizim verilerimizin dağılımını gösterir. Örnek-2.1.'e ait veriler için çizilen histogramı Şekil 2.4.'te görebiliriz.

#### VERİLERİN HİSTOGRAMI

**Şekil 2.4.** Verilerin histogramı.

Verilerin değerlendirilmesinde merkezi eğilim ölçüleri ve dağılma ölçüleri kullanılır. En çok kullanılan eğilim ve dağılım ölçüleri : Aritmetik ortalama, mod, medyan, standart sapma ve varyanstır.

**Aritmetik Ortalama** : Bir sayı grubunda, tüm sayıların toplamının bu sayılar kaç adet ise o adede bölümü bize aritmetik ortalamayı verir. (  $\bar{X}$  simgesi ile gösterilir.)

Basit seride aritmetik ortalama :

$$X_i, i = 1, \dots, n$$

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

: Frekanslı ve sınıflı serilerde aritmetik ortalama :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i f_i}{\sum f_i} \quad X_i = \text{sınıf orta noktaları.} \quad (2.6)$$

**Mod (Tepe Değer)** : Bir seride en çok tekrarlanan değer olarak tanımlanır.

$$\text{MOD} = X_a + \frac{H_1}{H_1 + H_2} * h \quad (2.7)$$

$X_a$  : Mod sınıfı alt sınır

$h$  : Sınıf aralığı

$H_1$  : Mod sınıfı frekansı ile bir önceki arasındaki fark

$H_2$  : Mod sınıfı frekansı ile bir sonraki arasındaki fark

**Medyan (Ortanca)** : Bir serideki bütün değerleri küçükten büyüğe doğru sıralayarak bir dizi oluşturulursa, tam ortada yer alan ve seriyi iki eşit parçaya ayıran değer medyan olarak tanımlanmaktadır. Özellikle çok büyük veya çok küçük değerlerin bulunduğu serilerde seriyi ortalamadan daha iyi temsil edebilmektedir.

$$MED = X_a + \frac{\sum N_i/2 - N_{i-1}}{N_m} * h_m \quad (2.8)$$

$X_a$  : Medyan sınıfı alt sınırı.

$h_m$  : Sınıf aralığı

$N_m$  : Medyan sınıfı frekansı

$N_{i-1}$  : Bir önceki birikimli frekans

$\sum N_i$  : Toplam frekans

Medyan sınıfı :  $\sum N_i/2$  değerini içinde barındıran en küçük birikimli frekans bulunarak belirlenir.

**Varyans** : İstatistik serisinde, serideki her bir terimin, serinin aritmetik ortalamasından olan farklarının karelerinin toplamının, terim sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir. Böylece ortalamadan her iki tarafa sapan değerlere aynı önem verilmiş olur. (  $\sigma^2$  (sigma kare diye okunur) işareti ile sembolize edilir. )

**Standart Sapma** : Varyans standart sapmanın karesidir.

$$\text{Standart sapma} = \sigma \quad (2.9)$$

Standart sapma, serilerin dağılım durumunu en iyi şekilde ortaya koyar. Küçük değerlerde standart sapma, seri elemanlarının ortalama etrafında yoğun bir şekilde toplandığını, büyük değerlerdeki standart sapma ise, bunun tersine ortalama etrafındaki dağınıklığı ifade etmektedir. Ana kütlelen çekilen örnek üzerinden hesaplama yapılırsa, örnek ortalamasından sapmaların kareleri toplamı, serbestlik derecesi dediğimiz (  $n-1$  )'e bölünür. Böylece ana kütle parametresinin yansız bir tahmini yapılmış olur.

Basit serilerde standart sapmayı veren formül ;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2.10)$$

Frekanslı ve sınıflı verilerde standart sapmayı veren formül ;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 f_i}{\sum f_i} - \left( \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} \right)^2}$$

(2.11)

### 2.3. OLASILIK VE OLASILIK DAĞILIMLARI

Olasılık, olaylar topluluğu içinde belirli özelliklere sahip olayların meydana gelme veya gelmeme durumunu belirten bir değer olarak tanımlanabilir. (AKIN, 1996)

#### 2.3.1. OLASILIK DAĞILIMI

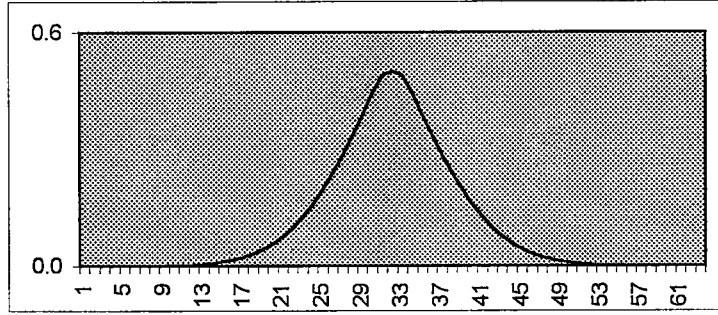
Süreksiz tesadüfi değişkenin değişim aralığı içindeki tüm değerleri için belirlenen olasılıklara olasılık dağılımı denir. İstatistiksel proses kontrolde kullanılan en önemli dağılım çeşitleri şunlardır :

- a) Binomial Dağılım
- b) Poisson Dağılımı
- c) Hipergeometrik Dağılım
- d) Normal Dağılım

İstatistiksel Proses kontrol uygulamalarında kullanılan bütün formüller normal dağılım kabulüne göre yapıldığından, bu bölümde sadece normal dağılım ile ilgili bilgi verilecektir. (AKIN, 1996)

#### 2.3.2. NORMAL DAĞILIM

Yapılan araştırmalar ölçümlerdeki değişimlerin büyük bir benzerlik gösterdiğini ve bu değişimin hemen hemen daima çan şeklinde sürekli bir eğriye uyduğunu göstermektedir. Bu eğriye normal eğri veya Gauss eğrisi denmektedir. Şekil 2.5.



**Şekil 2.5.** Gauss Eğrisi.

Yapılan ölçümlerin dağılımını görebilmek için histogram oluşturulur. Histogram sayesinde hangi ölçüden ne kadar çıktığı görülebilir. Ölçümler normal eğri oluşturacak şekilde çıkıyorsa, başka bir deyişle oluşturulan histogramın merkezleri birleştirildiğinde oluşan eğri normal eğri yani çan eğrisi şeklinde ise normal dağılım olduğundan söz edilir. Normal dağılımın ortalaması, ortanca değeri ve tepe değeri aynıdır. Dağılım  $-\infty$  'dan  $+\infty$  'a kadar bütün değerleri belirli oranlarda veya ihtimallerle kapsar. Eğri altında kalan alan, tüm olasılıklar toplamına yani bire eşittir.

Tüm dağılımlar normal değildir. Yani, bazı dağılımlar normal eğriye uymazlar. Normal olmayan dağılımlar simetrik değildirler. Ortalamanın sağında ve solunda dağılım farklılık gösterir. Bu tür dağılımlara normal olmayan dağılım dendiği gibi eğrilmiş dağılım da denir. Normal olmayan dağılımlar çok farklı eğilimler oluşturabilir.

Dağılımın normalliğini bozan nedenlerden en önemlilerini şöyle sıralayabiliriz :

- Fiziksel sınırlar nedeniyle dağılım belirli bir noktadan öteye geçemez. Örneğin, eksantriklik, dairesellik vb.
- Arıza nedeniyle yanlış değerler veren ölçme aletleri.
- Ölçmeyi yapan kişinin psikolojik olarak belirli ölçülere eğilimi. Örneğin, rakamları yuvarlatma gibi.
- En önemlisi fiziksel şartlardaki değişmelerdir. Örneğin, aynı parçayı farklı ortalama değerlerde işleyen iki tezgahtan çıkan parçalar, üzerinde iki maksimumu olan bir dağılım verir.
- Farklı malzemeler ve takım kullanılması.

## 2.4. VERİ TOPLAMA

İstatistiksel teknikleri kullanarak doğru sonuçlara ulaşabilmek için, önce verilerin doğru olarak toplanması gerekmektedir. Veriler, incelenen durumu gerçekçi bir şekilde yansıtmalı, veriler tarafsız olmalı ve yorum katılmamalıdır. Verilerin yeterli olup olmadığı incelenmelidir. Veriler gerçekleri açığa çıkaracak şekilde toplanmalı ve özetlenmelidir. Genel olarak veriler iki ana gruba ayrılabilir :

- a) Niceliksel veriler : Karşılığı bir alet yardımıyla ölçülmüş bir rakam olan sayısal veriler. Kalınlık, sıcaklık, ağırlık vb. gibi ölçülebilen değerlerdir.
- b) Niteliksel veriler : Belirli bir özelliğin duyu organlarımızla muayenesi veya sayılması ile toplanabilen verilerdir. Örneğin kusurlu ürün oranı vb. gibi.

Elde ediliş şekillerine göre veri çeşitlerini şu şekilde sıralayabiliriz :

- 1. Ölçerek : uzunluk, sıcaklık, ağırlık vb.
- 2. Sayarak : üretilen motor adedi, müşteriden iade edilen kusurlu mamul adedi vb.
- 3. Sıralayarak : 400P enjeksiyon tezgahı birinci, 400Y enjeksiyon tezgahı ikinci vb.
- 4. Okuyarak : notlar, raporlar vb.

İstatistiksel yöntemlerin uygulanmasında kullanılan sayısal verileri derlerken şu hususlara dikkat edilmelidir:

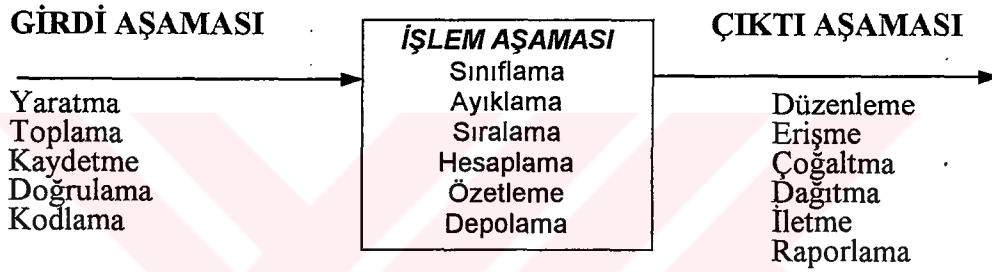
- a) Veriler ne amaçla toplanmaktadır.
- b) Nerede, ne zaman ve kim tarafından toplandığı bilinmelidir.
- c) Veriler, toplandığı yere göre sınıflandırılmalıdır.
- d) Verilerin ne ile ilgili oldukları belirlenmelidir.
- e) Kullanılan ölçü aletleri, ölçü birimleri, parti miktarları ve kaç adet veri toplandığı açıklanmalıdır.
- f) Veriler, hazırlanan bir föy üzerine kaydedilmelidir.
- g) Veri toplamada kullandığımız ölçüm yöntemleri ve cihazların doğru olması, periyodik bakımlarının gerçekleştirilmiş ve kalibrasyonlarının yapılmış olması gerekmektedir.

İstatistiksel verileri toplarken dikkate alınacak noktalar şunlardır:

- a) Örnek sayısı örnek alma planlarından faydalanılarak belirlenmelidir.

- b) Veriler doğru toplanmalıdır.
- c) Örnek alınırken basit rassal örnekleme ile alınmalı ve tarafsız davranmaya dikkat edilmelidir.
- d) Anketörler eğitilerek verilerin doğru ve hatasız okunması ve kaydedilmesi sağlanmalıdır.
- e) Kontrol tablosundan yararlanılarak veriler kaydedilmeli ve dağınık verilerle başarılı sonuç alınamayacağı bilinmelidir.
- f) Verilerin yeterliliği, gerçekleri açığa çıkaracak tarzda toplanmış olup olmadığı incelenmelidir. (AKIN, 1996)

Verilerin bilgiye dönüştürülme sürecini Şekil 2.6.'deki gibi gösterebiliriz.



Şekil 2.6. Verilerin bilgiye dönüştürülme süreci.

## 2.5. KALİTE KONTROLDE KULLANILAN İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER

Kalite ve kalite kontrolü konusunda ilk çalışmalar üretim ve mal değişiminin başladığı çağlara kadar uzanmaktadır. İstatistik biliminin kalite kontrolünde kullanılması ise 1920 yılında W.A. Shewhart ile başlamış ve Dodge ve Roming'in kabul örnekleme konusunda yaptıkları çalışmalarla büyük gelişmeler göstermiştir. Daha sonra "Toplam Kalite Kontrol", "Kalite Çemberleri" ve "Sıfır Hata Programı" ile günümüze kadar ulaşmıştır.

Üretim işlemini istenilen ortalama kalite düzeyi ve kalite tekdüzeliği altında yürütmek en ekonomik ve güvenilir bir biçimde ancak istatistiksel kalite kontrol metodlarını uygulamakla mümkündür. Ayrıca istatistiksel kalite kontrol yöntemleri, üretim işleminin normal koşullar altında kurulmasını ve yürütülmesini sağlamada çok önemli rol oynayan, bir aksaklık veya özel bir nedenle üretimin kontrol dışına çıkması

halinde bu durumu hemen ortaya çıkartarak gerekli tedbirlerin zamanında alınmasını sağlayan metodların uygulanmasıdır. Bu amaçlarla kullanılan değişik yöntemler vardır. Bunları güçlük derecesine göre başlıca üç kategoride kısaca aşağıdaki şekilde gösterebiliriz :

### **2.5.1. TEMEL İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER**

Bunlar, kalite problemlerinin çözümünde yaygın kullanım alanına sahip olan ve özellikle proses kontrolü amacıyla kullanılan yedi yöntemdir. Bu araçlar tek tek kullanılabileceği gibi, kalite problemlerini çözmek ve hataların nerelerden kaynaklandığını ortaya çıkartmak üzere birarada da kullanılabilmektedir. Uygulamalarda dikkat edilmesi gereken husus; verilerin yetkili elemanlar tarafından doğru olarak ve zamanında toplanmasıdır.

#### **2.5.1.1. ÇETELE DİYAGRAMI**

Frekans dağılımı da denilen basit bir veri gruplama yöntemidir. Dağınık bir biçimde toplanan verilerden ilk bakışta daha fazla bilgi elde etmek üzere verilerin, alt ve üst sınırları belirlenen sınıflara ayrılması ve bu sınıflar arasında kalan değerlerin sayılması esasına dayanır. Çetele diyagramı verilerin dağılımı hakkında da bilgi sağlar. Kayıt formları toplanış amaçlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

Ürünlere ilişkin çeşitli karakteristik değerlerin dağılımının nasıl olduğu histogramlar ile belirlenir. Uygun bir form üzerinde çetele tutularak kaydedilen verilerden dağılımın şekli hakkında bilgi sahibi olunabilir. Dağılımın tepe noktaları (mod) sayısı, basıklık ve çarpıklık durumu, uç değerlerin varlığı veya kesikli durumların olup olmadığı, spesifikasyonlar (toleranslar) dışına taşmaların varlığı açıkça görülebilir.

Kusurlu ürün veya kusur yeri ve nedeninin kaydı ile kusurlu ürün sayısının bilinmesiyle beraber, kusura yol açan sebeplerin de tesbiti mümkündür. (AKIN, 1996)

Niceliksel verileri toplamak için kullanılan bir çetele diyagramı örneği Tablo 2.5.'de görülmektedir. Tabloda ürünün ölçülecek özelliği daha önceden belirlenmiş,

bu özellik için ölçüm sınıfları oluşturulmuş, daha sonra ölçülen ürünlerden elde edilen veriler kaydedilerek frekans dağılımı belirlenmiş olmaktadır.

Nitel verileri toplamak için kullanılan çetele diyagramı örneği Şekil 2.7’de yer almaktadır. Diyagram oluşturulurken izlenmesi gereken yol şöyle özetlenebilir. Önce parti büyüklüğü ve sonra da numune alma planlarından faydalanılarak örnek büyüklüğü belirlenir. Daha sonra hata tipleri alt alta yazılır ve hangi hata tipine rastlanırsa karşısına bir işaret konulur. Kontrol edilecek parça sayısı bitince her hata tipi için konulan işaretler toplanır. Red edilen kusurlu parça sayısı bilgi formuna yazılır. Böylece karşılaşılan hata türlerinin dağılımı ve düzeltmenin nereden başlaması gerektiği konusunda fikir yürütülebilir.

| <b>Ürün Adı :</b> 0.5mm2<br>Kırmızı Kablo<br><b>Ürün Kodu:</b> K10SM0<br><b>Parti No :</b> 10203<br><b>Toplam Adet :</b> 1000<br><b>Örnek Sayısı :</b> 40 |        |             | <b>Tarih :</b> 20.04.97<br><b>Saat :</b> 15:34<br><b>Veri Topl. :</b> H.Meydan<br><b>Düşünceler :</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hata Türü                                                                                                                                                 | Çetele | Hatalı Adet |                                                                                                       |
| PVC Et Kalınlığı Hatası                                                                                                                                   | XXXX   | 8           |                                                                                                       |
| PVC Renk Hatası                                                                                                                                           | XXXX/  | 9           |                                                                                                       |
| Kablo Kesme Hatası                                                                                                                                        | XXXXX/ | 11          |                                                                                                       |
| Uç Sıyırma Hatası                                                                                                                                         | XXX/   | 7           |                                                                                                       |
| Terminal Vurma Hatası                                                                                                                                     | XX/    | 5           |                                                                                                       |
| Toplam Hata                                                                                                                                               |        | 40          |                                                                                                       |

Şekil 2.7. Niteliksel Veri Toplamak İçin Kullanılan Çetele Diyagramı.

#### 2.5.1.2. HİSTOGRAM

Çetele diyagramı ile sınıflandırılan verilerin histogram adı verilen bir grafikte izah edilmesi yöntemidir. Histogram üzerinde gerektiğinde alt ve üst spesifikasyon limitlerinin belirlenmesi yolu ile kabul edilen ve red edilen üretim miktarları kolaylıkla

görülebileceği gibi, verilerin normal dağılıp dağılmadığı da izlenebilir. Ayrıca iki farklı üretimin veya firmanın karşılaştırılmasında da kullanılan etkin bir yöntemdir.

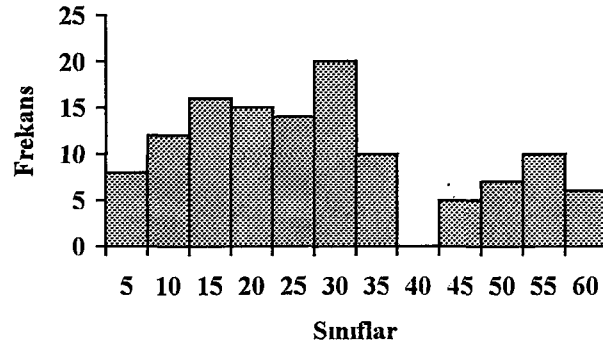
Histogramı çizebilmek için yatay eksene ölçülen değerleri, yani toplanan verileri sınıflandırarak yazmak gerekmektedir. Her bir sınıfa düşen frekans sayıları da dikey ekseninde gösterilmelidir. Yorumların gerçeği yansıtabilmesi için en az 50 ve genellikle de 50-100 arasında veri ile çalışma tavsiye edilmektedir. Veri sayısının 50'den az olmasının sınıf adetlerini çok azaltacağını ve üretim prosesinin dağılımı ile ilgili olarak yanıltıcı fikir elde edilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

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.

Histogramlar, dağılımın büyüklüğünü, simetri ve asimetri durumunu, şeklini, tek veya çift modlu oluşu gibi durumları yansıtır. Bunları izlemek sureti ile mevcut veya muhtemel sorunların yapısı ile ilgili önemli ipuçları elde edilebilir. Histogramlardan geliştirme çalışmalarında, spesifikasyonlarla aralarındaki ilişkilerin gösterilmesinde, hatalarla ilgili düzensizliklerin araştırılmasında yararlanır. Histogramlar istatistiksel proses kontrol uygulamalarında da oldukça sık kullanılmaktadır. Elde edilen verilerle oluşturulan histogramların başlıca tipleri ve bu oluşumun muhtemel nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

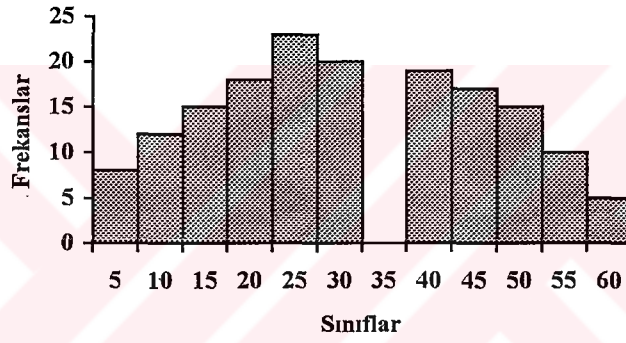
- a) İki ayrı parçaya bölünmüş histogram : Olası nedeni; verilerin iki farklı kaynaktan gelmesi, değişik kalite kontrol elemanlarınca tesbit edilmiş olması veya iki farklı ölçü aletinin kullanılmasıdır. (Şekil 2.8.)
- b) Kesikli histogram : Olası nedeni; ölçümler yapılırken veya histogram hazırlanırken hataların yapılmasıdır. Yapılması gereken, sınıf adedinin değiştirilmesi, ölçme aletlerinin ve okuma metodlarının kontrol edilmesidir. (Şekil 2.9.)
- c) İki modlu histogram : Olası nedeni; iki ayrı üretim prosesinin kullanılmasıdır. Grupların dağılımı incelenmeli ve her grup için ayrı histogram yapılmalıdır. (Şekil 2.10.)
- d) Soldan sağa doğru azalan bölünme : Olası nedenler; söz konusu numunelerin muhtemelen rastgele seçilmesinden kaynaklanır. (Şekil 2.11.)

### İKİ AYRI PARÇA HİSTOGRAMI



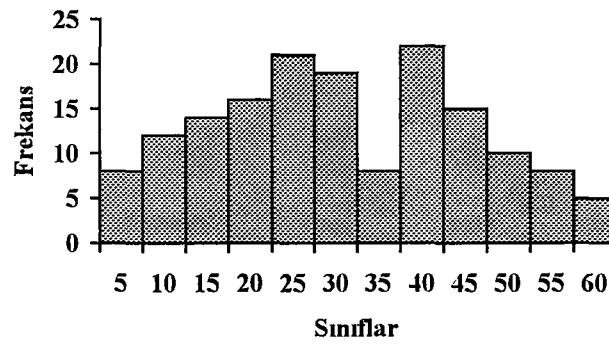
Şekil 2.8. İki ayrı parça histogramı

### KESİKLİ HİSTOGRAM



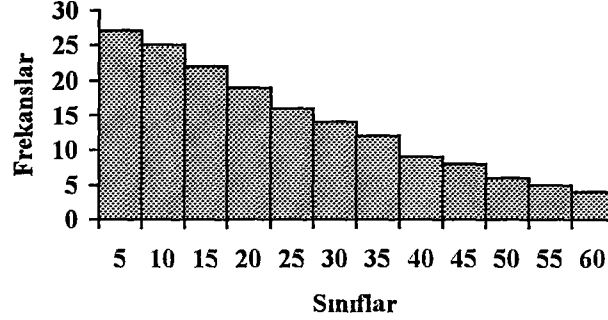
Şekil 2.9. Kesikli histogram.

### İKİ MODLU HİSTOGRAM



Şekil 2.10. İki modlu histogram.

**SOLDAN SAĞA DOĞRU AZALAN  
BÖLÜNME**



**Şekil 2.11.** Soldan sağa doğru azalan bölünme.

### 2.5.1.3. PARETO ANALİZİ

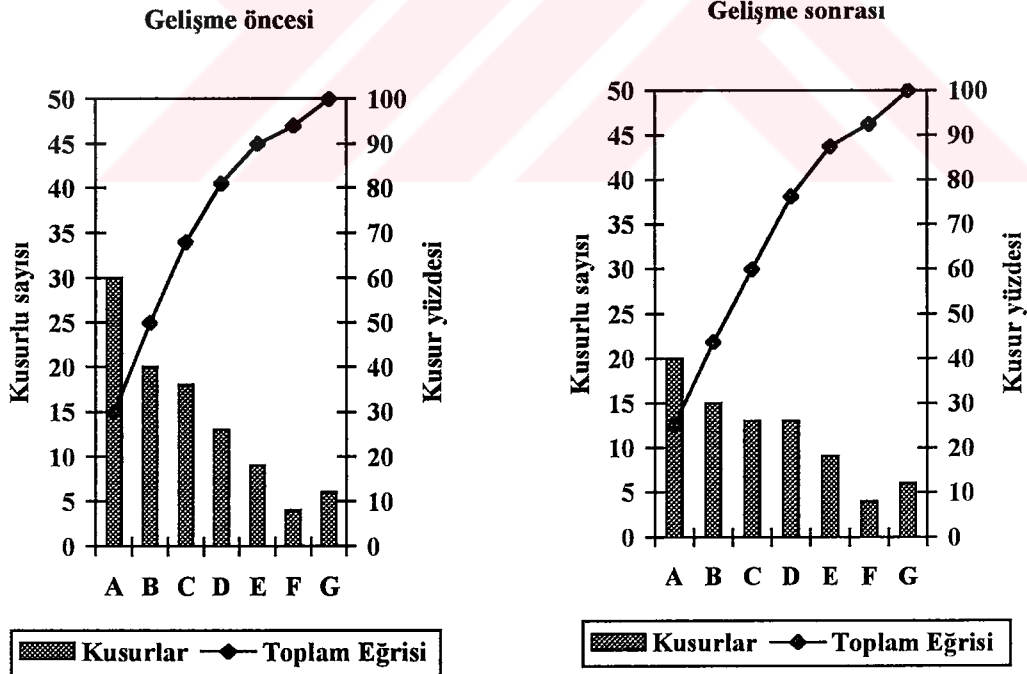
Değişik parçalar için üretim hatalarının direkt işçilik giderlerinin veya maliyetin yüzde ne kadarını oluşturduğunun görülebildiği, maliyet ve hata analizi için kullanılan bir yöntemdir. Pareto grafiklerinin kalite kontrol çalışmalarında ilk kullanımı Juran tarafından olmuştur. Juran üretim veya hizmette, bazı kusurların bir çok problemin kaynağı olduğunu görmüştür. Bu kusurlar iki guruba ayrılabilir. Birinci grup; Miktarı az fakat önemi veya etkisi fazla (vital few), ikinci grup ise miktarı çok fakat önemi veya etkisi az (trivial many) olan değerlerden oluşmaktadır. Pareto prensibine göre kusurların veya uygunsuzlukların % 80'nin sebebi sebeplerin % 20'sidir. (KOLARIK, 1995)

Bu diyagramlar yönetime işletme körlüğü denilen durumlarda ilgili alanlarda yardımcı olur. Yöneticilere kritik noktaları tesbit edip, gerekli müdahaleleri yapmasına imkan veren bir yardımcı araçtır. Bu dağılımdan yararlanarak hangi parçaların maliyet bakımından önemli olduğu tesbit edilir ve kontrol çalışmaları daha çok bu parçalar üzerinde yoğunlaştırılır. Diğer parçalar için kritik parça olmadığı sürece gevşek kontrollerle yetinilebilir. Bu diyagrama kalite grupları tarafından çabaları en verimli alanlara yöneltmek ve doğru kararlar verebilmek için başvurulabilir.

Pareto diyagramlarının hazırlanmasında beyin fırtınası ve neden-sonuç diyagramları ile, olası problemlerin nedenleri belirlenerek bu diyagrama temel oluşturacaktır. Diyagramı oluşturmak için belirli bir zaman aralığında ve düzenli bir

şekilde toplanıp kontrol tablosuna işlenen verilerden yararlanılır. Belirlenen nedenler ve alt nedenler önem derecelerine göre sıralandıktan sonra yatay eksene eşit aralıklarla ve önem sırasına göre yerleştirilir. Hata sayısı en fazla olan en başa yazılmakta ve sağa doğru sütunların boyları ve önem dereceleri azalmaktadır. En sağa, “Diğerleri” adı altında önemsiz ve kısa kollar birleştirilerek konulabilir. Hata sayısı, yüzde veya maliyet gibi değerler “Y” ekseninde gösterilmektedir. Hata nedenlerinin toplam frekans içindeki değeri, sütun boyunu oluşturmaktadır. Sütunlar üst üste konularak ve sütunların sağ üst köşeleri birleştirilerek toplam eğrisi tamamlanmış olmaktadır. Bu eğri, başlangıçta çizilen diyagramla, üzerinde çalışma yapılacak hata sayısı azaltıldıktan sonra çizilen diyagram arasındaki farkı göstermek için kullanılabilir. Belirlenen etkinliği en yüksek neden elimine edildikten sonra ulaşılan son durumun başlangıçtaki durumla arasındaki fark bu eğri ile kolayca tesbit edilebilir. (Şekil 2.12.)

Pareto analizi, gücün bir noktaya yoğunlaştırılmasında, gurubun yaptığı çalışmalarda sonuçların doğruluğunu göstermede ve yönetime etkili raporların sunulmasında başvuracak bir yöntemdir.



Şekil 2.12. Pareto diyagramları (gelişme öncesi ve sonrası).

Pareto diyagramları ile çalışılırken şu hususlara dikkat etmek gerekir.

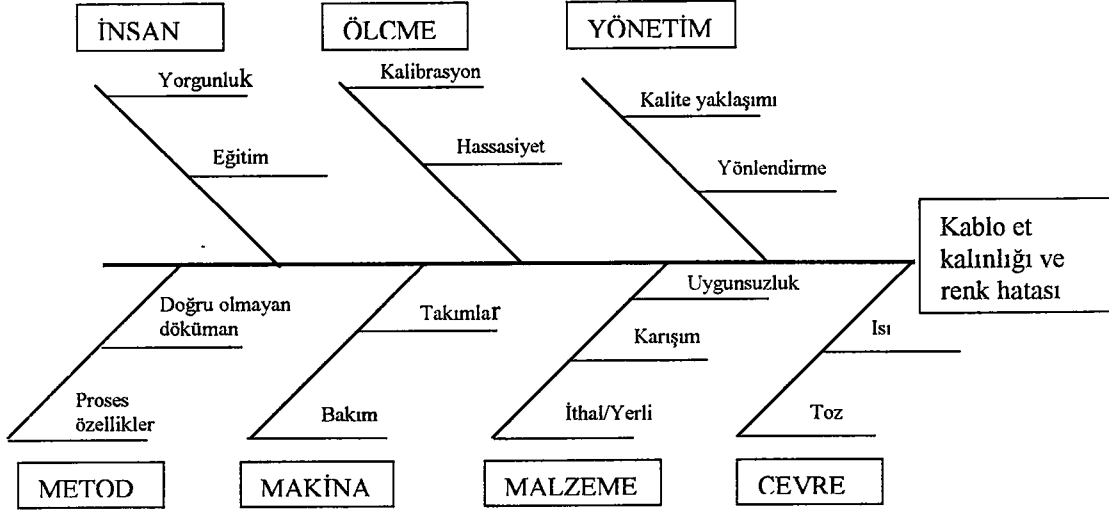
- Çözüme kavuşturulduğunda en çok kar getirecek problemin çözümünden başlanmalı.
- Çözümde problemleri ilgilendiren bölümlerle beraber ortak bir çalışma yapılmalı ve beraber çözüm önerileri geliştirilmelidir.
- Diyagramlar, her rapor döneminde aylık periyotlar içinde hazırlanmalıdır. Böylece prosesdeki kusurların düzeltilmesi için alınan tedbirlerin başarısı izlenebilir. Belirli dönemlerde hazırlanan pareto diyagramları ile kusurların sık aralıklarla tekrarlandığı belirlenirse prosesin kontrol dışı veya kontrolünde eksiklikler olduğuna karar verilebilir.

#### 2.5.1.4. SEBEP-SONUÇ DİYAGRAMI (KILÇIK DİYAGRAMI)

İlk defa 1943 yılında Tokyo Üniversitesinden Prof. Kaoru Ishikawa tarafından kullanılmıştır. Japon endüstrisinde kalite kontrol faaliyetleri içerisinde vazgeçilmez bir araç durumuna gelmiş, daha sonra tüm dünyaya, sadece kalite uygulamalarında değil, başta problem çözme teknikleri olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır.

Sebe-sonuç diyagramı yardımıyla problem hakkında tüm bilinenler ortaya konulur ve buradan bilinmeyenlere doğru sistematik bir yaklaşımla problemin çözümü sağlanmaya çalışılır. Hatalı ürünü ortaya çıkaran nedenleri ile hataların önem dereceleri de farklılık gösterdiğinden bunları bir proses içerisinde sistematik olarak izlemek mümkün olmaktadır. (AKIN, 1996)

Sebe-sonuç diyagramları, ortaya çıkmış bir sonucun (kalite problemleri vs.) oluşmasına neden olan ana ve bunlara bağlı alt nedenlerin belirlenmesinde kullanılır. Aynı zamanda, herhangi bir sürece ilişkin temel faaliyetleri tesbit etme ve gerektiğinde iyileştirme yapmak için de kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda sonucu doğuran ana nedenler yada süreci oluşturan temel faaliyetler ortadan geçen doğruya birleşen değişik yönlü çizgilerle temsil edilirler. Bu çizgiler ana sebep/faktörleri, bunlarla birleşen yan çizgiler ise yardımcı sebep/faktörleri temsil etmektedirler. Ortadaki okun sağ ucundaki kutu içine sebeplerini bulmaya çalıştığımız sonuç yada analiz ettiğimiz sürecin adı yazılır. (Şekil 2.13.)



Şekil 2.13. Sebep-Sonuç diyagramı

Başarılı bir sebep-sonuç diyagramı hazırlanabilmesi için etkin bir grup çalışması yapılmalıdır. Sebep sonuç diyagramının kullanımı, üyelerin süreç üzerindeki düşüncelerini sistematize etmeye ve birleştirmeye yardım edebilir. Bu diyagramın hazırlanması çok kolay olduğundan işgörenler tarafından da kolaylıkla kullanılabilir.

Sebep-sonuç diyagramları kalite sorunları yanında aşağıda yer alan sorunların çözümünde de yardımcı araç olarak kullanılabilir.

- İşletmenin sorunları konusunda bütün bilinenlerin ortaya konulması,
- Bilinen verilerden hareketle bilinmeyenlere doğru sistematik olarak yaklaşabilme,
- İşletmenin sorunlarını bilen kişilerin deneyimlerinden yararlanabilmek,
- Sorunları çözme sürecinin daha düzenli duruma getirilmesi,
- İşletmede çalışanların sorunların çözümünde katkısını ve iş birliğini sağlamak

Ishikawa diyagramının sağ ucunda yer alan sebeplerinin arandığı sonucu etkileyen nedenler genel olarak beş ana gruba ayrılabilir.

1. Malzemeler,
2. Makinalar,
3. Metodlar,
4. İnsan,
5. Çevre,

## 6. Diğer nedenler.

İşletmede kalite değişkenliğine yol açan nedenler karmaşık bir yapıda ise, proses yeterince tanınmıyorsa hazırlanan diyagramdan iyi sonuç alınamaz. Bu analizin en önemli yararı bütün sebepleri/faktörleri beraberce görme, aralarındaki ilişkileri inceleme ve alt sebepler/faktörler arası iletişimi kolaylaştırmaktır.

Sebe-sonuç analizine katılanların mümkün olduğu kadar çok öneri üretmesine imkan veren beyin fırtınası yöntemi kullanılarak sorunun sebeplerinin geniş kapsamlı olarak düşünülmesi ve görüşülmesi imkanı elde edilebilir.

### Beyin Fırtınası :

Amaç, grup çalışmalarına katılanların yaratıcı düşüncelerini teşvik etmek ve geliştirmektir. Uygulama, problemin açıkca ortaya konulup, tanımının yazılması ve problemle ilgili şüphelerin ortadan kaldırılmasıyla başlar. Grubun mümkün olduğunca rahat olması sağlanarak, önerilerin zorlamasız üretilmesi sağlanır. Ana kuralları :

- Önerilerin üzerinde tartışılmaya izin verilmez,
- Grup elemanlarının tümünün katılımı sağlanmalıdır,
- Tur sırasına göre her turda sadece bir öneri söylenmelidir,
- Önerisi olmayan grup elemanları pas geçilir,
- Katılanların önerileri geliştirilmeye çalışılır,
- Önerilerin miktarları, kalitelerinden daha önemli olduğundan ne kadar çok öneri varsa, uygulanacak öneri sayısı o kadar çok artar.

### 2.5.1.5. SINIFLANDIRMA (TABAKALAMA)

Belli kategorilere ve özelliklere göre bilgilerin sınıflandırılması sürecidir. Bu süreci kısmen tanımlayan diğer sözcükler : parçalama, bölme, düzenleme, ayırma, gruplandırma, kataloglama, tasnifleme ve karakterize etme.

Sınıflandırma, sorunları çözmede yardımcı bir yöntemdir. Çözüm sürecine yardım etmekte fakat kendi başına sorunları çözememektedir. Ancak, çözüme yaklaşımda uygulayıcılara oldukça önemli bilgiler sağlamaktadır.

Sorunların meydana gelmeden önlenmesi için kullanıldığı gibi, bir sorunun parçalara ayrılıp her parçayı tek tek inceleme imkanını da sağlar. Ayrıca, sorunların kaynaklarının belirlenmesinde, olumlu değişikliklerin nedenlerini incelemekte kullanılır.

Belirli malzeme, operatör, makina vs.'nin etkisinin incelenmesi için kullanılan bir istatistiksel proses kontrol tekniğidir. Sınıflandırma, toplu verilerin elemanlarına ayrılmasıdır. Önce sınıflandırılacak veriler belirlenir, ortak gruplar seçilir ve veriler ayrı gruplar halinde değerlendirilir.

Veriler, başlıca şu gruplara ayrılabilir:

1. Hata türüne göre,
2. Vardiya türüne göre,
3. Güne göre,
4. Makinaya göre,
5. Partiye göre,
6. Çalışana göre.

## ÖRNEK 2.2.

Bir günde 1000 adet FA flanş kapak işleyen kapak işleme holünde, 4 ayrı tezgah kullanılmaktadır. Üretilen FA kapak için kusur oranı %2 'dir. Amaç, kusurlu üretimin hangi makinadan kaynaklandığını bulmaktır.

Bunun için kapaklar üretildikleri tezgahlara göre gruplandırılarak, hangi tezgahtan ne kadar kusurlu kapak üretiminin gerçekleştiği tesbit edilir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.6.'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, 2.ve 4. makinalarda üretilen kapaklarda kusurlu üretim söz konusudur. Bu durumda saha yöneticisi, bu makinaların tezgah yeterliliklerini tekrar kontrol etmeli ve gerekli müdahale yapmalıdır.

**Tablo 2.6.** Verilerin üretildikleri makinalara göre gruplandırılması.

| Makina Adı | Ürün Adedi | Kusurlu Üretim Adedi |
|------------|------------|----------------------|
| İndex-1    | 300        | 2                    |
| İndex-2    | 300        | 9                    |
| G.F.       | 250        | 0                    |
| Mauser     | 150        | 9                    |

### 2.5.1.6. SERPİLME (DAĞILMA) DİYAGRAMI

Üretilen ürünün kalitesini etkileyen herhangi iki özellik arasında ilişki olup olmadığını belirlemek üzere kullanılan bir yöntemdir. Serpilme diyagramları genellikle iki cins veri arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. X ve Y olarak gösterilen iki istatistik serinin artış ve azalışları birbirini etkiliyorsa, bu iki seri verileri arasında bir korelasyon var demektir. İki seri arasındaki korelasyonun hesabı formül 2.12. ile yapılır.

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 - \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.12.)$$

Uygulamada genellikle bir ürünün karakteristiğinin üretim prosesinin karakteristiği ile ilişkili olup olmadığı araştırılır. Kalite problemleri çoğunlukla bu ilişkinin bozulması sonucu ortaya çıkmaktadırlar. Aralarında ilişki bulunan karakteristiklerden bir tanesi kontrol altına alındığında, ikincisini de kontrol altında tutmak mümkün olacaktır. Korelasyonun varlığı veya derecesi, yönü hakkında uygun karar verebilmek için şu noktalara dikkat edilmelidir :

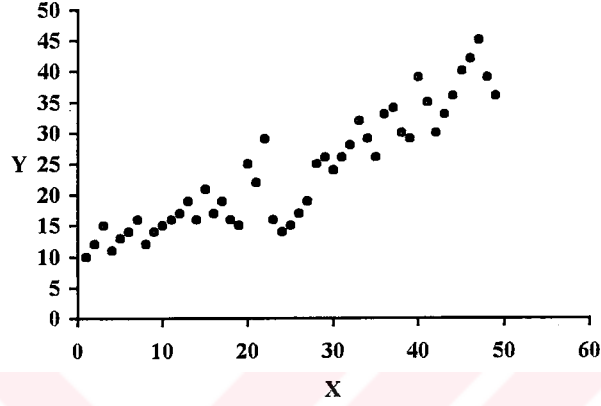
1. Kalite karakteristiğine etki eden faktörler içinden, kalite karakteristiği ile ilgisi en kuvvetli olan seçilmelidir.
2. Karakteristikleri kontrol etmek için, uygun şartların temin edileceği en uygun değişken aralıkları seçilmelidir.

Bir serpilme diyagramı çizmek için önce, aralarındaki ilişki araştırılacak iki değişkenden belirli bir zaman dilimi boyunca 50-100 arasında örnek alınmalıdır. İkili ilişkiye neden olduğu düşünülen değişken “X” eksenine, bu değişkene bağlı olarak değiştiği sanılan ve sonuç olarak değerlendirilen değişken de “Y” eksenine yerleştirilmelidir. X değerlerine bağlı olarak ortaya çıkan Y değerlerinin kesiştiği yerlere birer nokta konularak, oluşan nokta demeti incelenir ve aralarında bir ilişki olup olmadığı hakkında yorum yapılır. Eğer iki veri türü arasında bir ilişkiden söz ediliyorsa bu ilişki :

1. Sebep-sonuç ilişkisi.
2. Bir faktör (sebep) ve diğer bir faktör (sonuç) arasındaki ilişkidir.

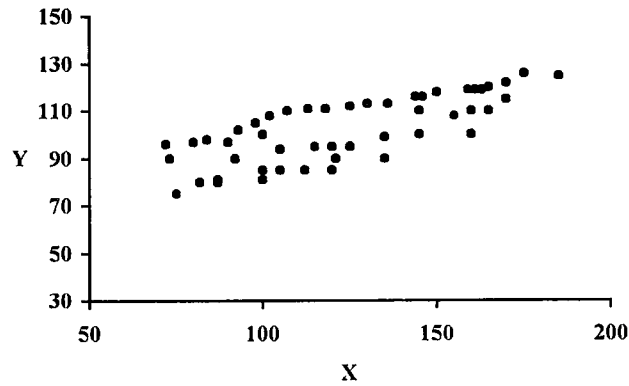
Serpilme diyagramları ile elde edilebilecek sonuçlar ve bunların kalite ile ilgili yorumlarını şu şekilde yapabiliriz :

a) Kuvvetli pozitif korelasyon : Y’de meydana gelen artışlar X’e bağlıdır. Eğer X kontrol altında tutulursa, Y de kontrol altında tutulmuş olacaktır. (Şekil 2.14.)



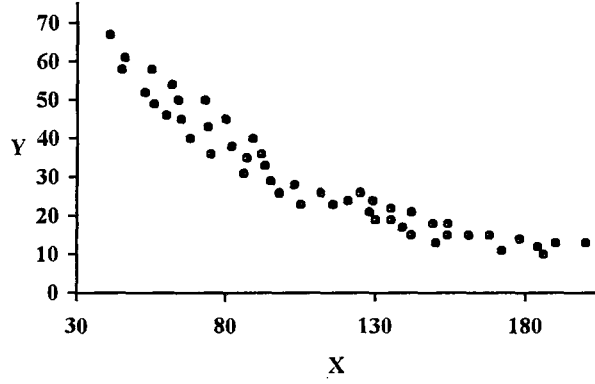
Şekil 2.14. Kuvvetli pozitif korelasyon.

b) Zayıf pozitif korelasyon : Burada Y’ye X dışında etki eden diğer faktörlerin varlığından söz edilebilir. X arttıkça Y de artacaktır. Ancak bu artış kuvvetli pozitif bir korelasyona göre daha az olacaktır. (Şekil 2.15.)



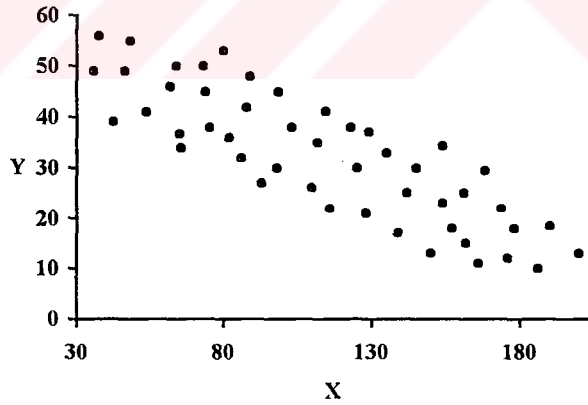
Şekil 2.15. Zayıf pozitif korelasyon.

c) Kuvvetli negatif korelasyon : X'deki bir artış Y'de azalmaya neden olmaktadır. Burada Y yerine X'in kontrol altında tutulması gereklidir. (Şekil 2.16.)



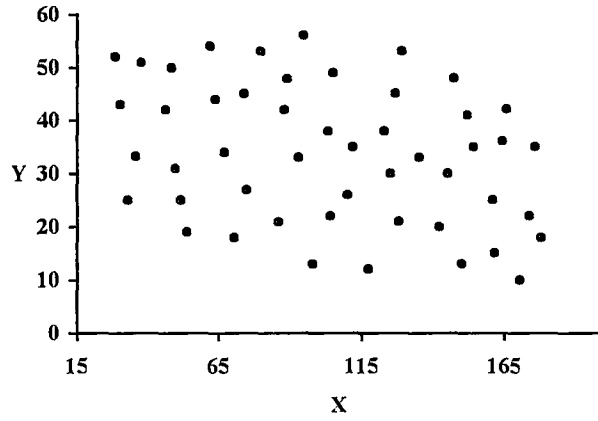
Şekil 2.16. Kuvvetli negatif korelasyon.

d) Zayıf negatif korelasyon : X'deki bir artış Y'de azalma şeklinde bir eğilim ortaya koymakla birlikte Y'ye etki eden başka faktörlerin varlığından da söz edilebilir. Bu nedenle, kuvvetli negatif korelasyona göre, Y'deki azalma daha az olur. (Şekil 2.17.)



Şekil 2.17. Zayıf negatif korelasyon.

e) Korelasyon yok : Burada incelenen X ve Y verilerinin arasında herhangi bir ilişki (korelasyon) yoktur. (Şekil 2.18.)



**Şekil 2.18.** Aralarında herhangi bir korelasyon olmayan iki değişken.

#### 2.5.1.7. KONTROL DİYAGRAMLARI

Temel istatistiksel tekniklerin en önemlisi ve en çok kullanılanı kontrol diyagramlarıdır. İstatistiksel proses kontrol uygulamaları temel olarak kontrol diyagramlarına dayandığı için bu konu ayrıntılı bir şekilde Bölüm 3’de incelenecektir.

#### 2.5.2. ORTA DERECE İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER

Genel olarak mühendisler ve kalite kontrol geliştirme bölümü görevlilerince uygulanmaktadır. En çok kullanılanları :

- 1) Örneklem araştırma teorisi. (En çok kullanılan yöntemdir).
- 2) İstatistiksel örneklem muayenesi.
- 3) Duyarlılık testi kullanım yöntemleri.
- 4) Tasarlanmış deney yöntemleri. (AKIN, 1996)

#### 2.5.3. İLERİ DERECEDE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

Mühendisler ve teknisyenler tarafından karmaşık proses ve kalite analizlerinde kullanılır. Bu ileri düzeydeki istatistiksel yöntemler sayesinde, yüksek teknolojinin transferi ve oturtulması mümkün olmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımı için hazırlanmış bilgisayar paket programları vardır. İşletmelerin kalite sorunlarına bu

paket programlar kullanılarak çeşitli ileri düzeyde çözümler üretilebilmektedir. (AKIN, 1996)



## BÖLÜM 3

### KONTROL DİYAGRAMLARI

#### 3.1. KONTROL DİYAGRAMLARININ TANIMI ve AÇIKLAMASI

Temel istatistiksel tekniklerin en önemlisi ve en çok kullanılanı kontrol diyagramlarıdır.

Tabiatta hiç birşey diğerinin aynısı değildir. Bu konu üretimde de önemli noktalardan birisidir. Üretilen her ürünün veya onu oluşturan parçaların, kalite özellikleri ile ilgili olarak değişkenlik göstermeleri doğaldır. Parça usulü ile üretimde üç değişkenlik kaynağı söz konusudur.

- (a) Parça içinde değişkenlik (parçanın farklı yüzeylerindeki ölçülerin değişmesi.)
- (b) Parçadan parçaya görülen değişkenlik (aynı zamanda üretilmiş parçalar arasındaki değişkenlik)
- (c) Zamanla ilgili değişkenlik (gün boyunca farklı zamanlarda üretilen ürünlerdeki farklılık)

Bu değişkenliklere 5 ana faktör neden olur.

1. Prosesler ; Bunlardan başlıcaları, aletin yıpranması, makinanın titreşmesi, çalışma pozisyonu, elektrik dalgalanmaları vs.
2. Malzemeler ; Yapısı, ölçüsü ve sertliği vs.
3. Çevre Şartları : Sıcaklık, nem, ışık ve voltaj stabilitesi vs.
4. Operatör ; Tezgah ayarı, konumlama hassasiyeti, kullanım talimatına uyma derecesi, yöntem, beceri, eğitim, fiziksel ve ruhsal durumu vs.
5. Muayene; Hatalı muayene ekipmanı, kalite standardının yanlış uygulanması, farklılıkların hatalı şekilde rapor edilmesi vs.

Sayılan bu 5 varyasyon kaynağı beklenen bir şekilde dağıldığı sürece proseste tesadüfen meydana gelen farklılıklara neden olurlar. Bunlara kısaca 'Doğal Nedenler'

denilir. Bunlar prosesin tabiatında bulunan, tesadüfen ileri gelen ve kaynağı tesbit edilemeyen faktörlerden oluşan farklılıklardır. Bu grupta herhangi birinin tek başına etkisi o kadar küçüktür ki, varlığı veya yokluğu ürünün kalitesinde pek fark yaratmaz. Fakat bu faktörler proseste belirli bir miktarda değişime neden olurlar. Genellikle küçük olan bu değişkenlik kaçınılmazdır ve kabul edilebilir düzeydedir. Diğer taraftan proseste beklenenin dışında büyük değişiklikler de meydana gelebilir. Bunlar ürünlerde belirtilen toleransların (spesifikasyon) dışında değişikliklere sebep olan ve kaynağı tesbit edilebilen ‘Doğal Olmayan (Özel) Nedenler’dir. Bu tür nedenler mevcut proses ile üretilen mamullerin kalitesini, ortalama değerini veya dağılımını değiştirebilir. İşte, kalite özelliklerindeki değişkenliğin tesadüfen mi, yoksa bir takım tesbit edilebilir nedenlerden mi kaynaklandığı kontrol diyagramları ile anlaşılır.

Kontrol diyagramları, arzu edilen niteliklerde ürün veya hizmet üretebilmek için prosesin istatistiksel olarak kontrol ve analiz edilmesinde kullanılmaktadır. İlk uygulamaları 1924 yılında W.A. Shewhart tarafından başlatılmıştır. Bu diyagramlara bu nedenle ‘Shewhart Grafiği’ de denilir.

Tanım olarak, ürünün gerçek kalite spesifikasyonlarını, geçmiş deneylere (verilere) dayanarak saptanan limitlere göre kronolojik kıyaslamaya yarayan grafiklere kontrol diyagramları denir.

Üretim tasarım aşamasında kalite spesifikasyonları için belirli kurallara göre tolerans limitleri belirlenmektedir. Ağırlık, boyut, şekil, renk, performans vb. spesifikasyonları, önceden belirlenen limitler arasında değişim göstermesi normaldir. İdeal durum, proseste bu değişimin limitler arasında kalması, yani prosesin kontrol altında olmasıdır. Bu değişimler, limitleri aşarsa proses kontrol dışına çıkmıştır. Bunun nedenleri araştırılmalı ve prosesin tekrar kontrol altına alınabilmesi için düzeltici önlemler alınmalıdır. Bu işlemlerin yapılmasında kullanılan en etkili araç kontrol diyagramlarıdır.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta; kontrol diyagramlarının bir sorunun varlığını göstermesi, sorun hakkında ipuçları vermesi, ancak sorunun nedenini gösterememesidir.

Kontrol diyagramlarının kullanılabilmesi için süreçten düzenli bir şekilde veri toplanmalıdır.

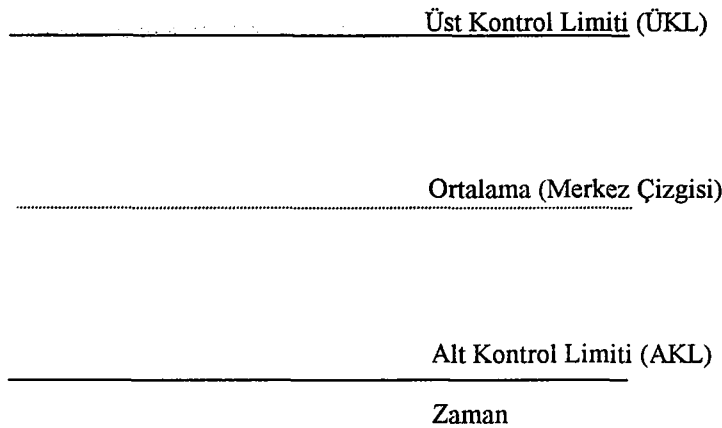
Kontrol diyagramlarının kullanımı ile elde edilecek yararları en genel anlamda şu şekilde sıralayabiliriz :

- Operatörün operasyonun gidişatını izlemesi sağlanır.
- Operasyonun, kalite ve maliyet açısından sabit ve hatası önceden tesbit edilebilir olmasını sağlar.
- Operasyonun performansı üzerinde aynı dilin konuşulmasını sağlar.
- Özel ve genel nedenlerin birbirinden ayrılmasını sağlar.
- Proses önemli değişimler meydana getirmeyen tesadüfi faktörlerin etkisi altında olur.
- Prosesi etkileyen özel faktörler varsa zamanında farkına varılarak düzeltici önlem alınır. Iskarta veya hatalı parçalar azaltılır.
- Proses ile ilgili geçerli veya güvenilir tahminler yapılabilir.
- Hatalı parça çıkma olasılığı azaltılarak verim artışı sağlanır.

Kalite güvenliği sağlanmasına yardımcı olur.

### 3.2. KONTROL DİYAGRAMLARININ YAPISI

Kontrol diyagramlarında 3 çizgi vardır. ÜKL ile gösterilen üst kontrol limiti, AKL ile gösterilen alt kontrol limiti ve Ortalama (merkez) çizgileridir. Bu çizgiler kontrol diyagramlarında aşağıdaki gibi yer alır.



**Şekil 3.1.** Kontrol diyagramlarının yapısı.

Bir işlemde sadece tesadüfi faktörler rol oynuyorsa herhangi bir değişken normal bir dağılım gösterir. Bu durumda bir ortalama ve standart sapması vardır. Ortalama değer etrafında  $\pm \sigma$  bir alan oluşturur. Bu alan içerisinde yer alan olasılıklar, toplam olasılıkların 0.99734'ünü kapsamaktadır. Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi ÜKL'nin normal dağılımı simgeleyen çan eğrisinin  $+\infty$ , ve AKL'nin  $-\infty$  taraflarının dışında kalan alanlar 0.00135 olasılık değerine eşit olup, limitler arasında kalan eğri altındaki kalan alan ise 0.9973 değerine eşittir. Doğal nedenlerden veya tesadüfen meydana gelen ve nedeni tesbit edilemeyen değişkenlikler 0.9973 olasılık değerine eşdeğer olan limitler arası alana eşittir. ÜKL ve AKL dışında kalan alanların değeri ise  $(1-0.9973)/2=0.0027/2=0.00135$  değerine eşit olup nedeni tesbit edilebilen ve doğal olmayan nedenlerden kaynaklanan değişkenlikleri göstermektedir.

Prosesin kontrol altında veya kontrol dışı olma durumu bir çeşit hipotez kontrolüdür. Kontrol diyagramları, prosesin, "proses kontrol altındadır" hipotezini test eder. Kontrol sınırları içerisine düşen bir nokta, "proses kontrol altındadır" hipotezini kabul etmek (belirli bir yanlışlama payı ile), kontrol sınırları dışına düşen bir nokta ise "proses kontrol altındadır" hipotezini reddetmek anlamına gelmektedir. Özetle, kontrol diyagramları kullanılarak proses denetlenirken kullanıcının daima karşı karşıya bulunduğu iki tip hata vardır.

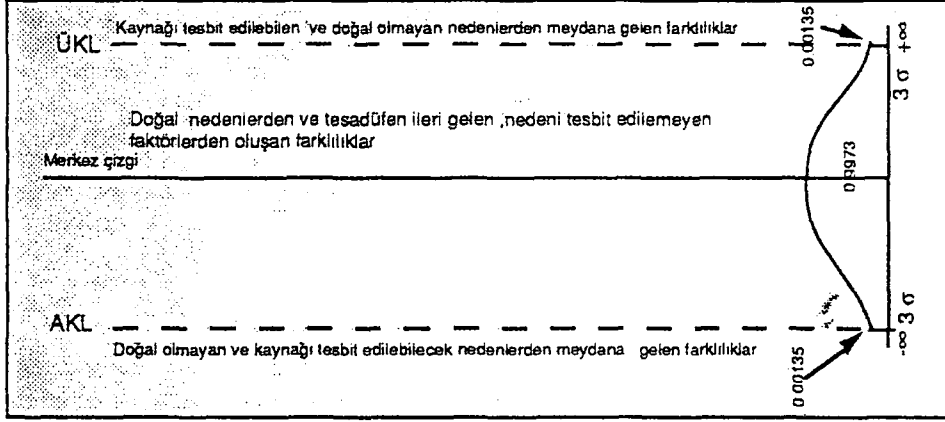
- I. Tip Hata : Proses gerçekten kontrol altında iken, kontrol dışı olduğuna karar vermek.
- II. Tip Hata : Proses gerçekten kontrol dışında iken, kontrol altında olduğuna karar vermek.

I. tip hata yapıldığında katlanılacak sonuçlar; Gerçekte proste özel bir nedene bağlı bir değişim olmadığı halde prosesi durdurup özel neden aramak ve belki de gerekli olmadığı halde proste birtakım düzeltmeler yapmak.

II. tip hata yapıldığında; Gerçekte özel bir nedenden dolayı kontrol dışında olan prosesin hatalı üretiminin devam ettirilmesi ile ortaya çıkan hatalı ürün maliyetlerinin artmasına yol açar.

İki tip hatadan biri tamamen önlenirse bile ikisini birden ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bununla birlikte bu iki tip hatanın zararı, kontrol diyagramı yöntemi ile en aza indirgenebilir. Kontrol diyagramları kullanımı ile proste değişime yol açan özel nedenler olmadığında olası bir özel neden aranmayacağı gibi, ortaya çıkan

nedenlerin saptanmasında da fazla gecikmeden kalitenin korunması ekonomik bir şekilde sağlanabilir. (KOLARIK, 1995)



Şekil 3.2. Kontrol diyagramları için  $\pm 3$ -sigma limitleri.

Kontrol limitleri prodesteki genel nedenlerden doğan değişimlerin sınırlarıdır ve hesapla elde edilmektedir. Kontrol limitlerinin dışındaki noktalar tipik özel neden belirtisidir. Prodeste normal olmayan bir şeylerin varolduğunun habercisidir ve eğer önlem alınmazsa hatalı parçalar üretilebileceğini ikaz ederler. Bu durumlar kontrol dışı durumlar olarak adlandırılırlar. Kontrol limitlerinin içine düşen nokta veya noktalar, işlemden özel nedenlerin olmadığı garantisini vermez. Fakat tesbit edilebilir nedenlerin var olduğunu öne sürecektir kanıtların olmadığını gösterir.

Bu diyagramlar, gerektiğinde prosese müdahale imkanını en kolay duruma getirebilmek için, prosese, operasyona en yakın ve en uygun pozisyonda bulunan elemanlar tarafından tutulur.

### 3.3. KONTROL DİYAGRAMLARININ ÇEŞİTLERİ

Genel olarak ürünlerde incelenebilecek kalite karakteristikleri iki ana gruba ayrıldığı için kontrol diyagramlarını iki ana başlık altında toplayabiliriz.

### 3.3.1. ÖLÇÜLEBİLEN ÖZELLİKLER (KARAKTERİSTİKLER) İÇİN KONTROL DİYAGRAMLARI

Bunlar uzunluk, ağırlık, yoğunluk vs. gibi bir alet veya cihaz yardımıyla ölçülebilen ve rakamlarla ifade edilebilen özelliklerdir.

Bu özellikler için kullanılan diyagram tiplerini iki ana gruba toplayabiliriz . Bu diyagramların özet açıklamaları; avantajları ve dezavantajları Tablo 3.1.'de görülebilir.

1) Örnek alt sınıfı eleman sayısı birden büyük olan ve rasyonel (anlamlı) örnek sınıfları oluşturulabilen prosesler için kullanılan diyagramlar. Bunlar Ortalama ( $\bar{X}$ ); Standart Sapma (  $\sigma$  ) ve Değişim Aralığı (R) diyagramlarıdır. Pratikte en çok kullanılan kontrol diyagramlarıdır.

Bu diyagramlar ortalama ile birlikte standart sapma (  $\bar{X}-\sigma$ ) veya ortalama ile birlikte dağılma aralığı (  $\bar{X}-R$ ) çiftleri şeklinde uygulanabilir. Böylece işlemin hem ortalama hem de değişkenlik bakımından kontrol altında olup olmadığı araştırılabilir. Pratikte değişim aralığı (R) için hazırlanan kontrol diyagramları, standart sapma  $\sigma$  için hazırlanan kontrol diyagramlarına oranla daha çok tercih edilmektedir. Çünkü dağılma aralığı (R), hem hesaplaması hem de açıklaması ve yorumlaması daha kolay bir ifadedir. R diyagramı n'in küçük olduğu durumlarda ( $2 \leq n \leq 5$ ) idealdir. Ancak n büyüdükçe R diyagramı anlamlılığını yitirdiği için n'nin beşten büyük olduğu durumlarda standart sapma diyagramı tercih edilmelidir. İdeal olarak n=5 veya 6 için R diyagramı;  $10 \leq n$  olduğu durumlar için  $\sigma$  diyagramı tercih edilmelidir. Ortalama diyagramı ortalamadan sapmaları, değişim aralığı ve standart sapma diyagramları ise homojenlikten sapmaları gösterir.

Ortalama ( $\bar{X}$ ), Standart Sapma (  $\sigma$  ) ve Dağılma Aralığı (R) diyagramları için  $\pm 3\sigma$  kontrol limitlerinin hesaplanması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Burada ;

$\bar{X}$  : Örnek alt sınıflarının ortalamalarının ortalaması.

$\bar{R}$  : Örnek alt sınıflarının dağılma aralıklarının ortalaması.

$\sigma$  : Örnek alt gruplarının standart sapmalarının ortalaması.

$A_2, B_3, B_4, D_3, D_4$  alt örnek grubu eleman sayısına (n) bağlı sabitler, eklerdeki Tablo A.1.

**Tablo 3.1. Ölçülebilir özellikler için kontrol diyagramları.**

| Örnek sayısı 1'den büyük olan anlamlı örnek alt grupları oluşturulabilen prosesler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parametre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Konum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Dağılım                                                            | Avantajlar                                                                                                    | Dezavantajlar                                                                                                                |
| X-bar diyagramı (Ortalamalar)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Dağılım aralığı (R) diyagramı veya Standard Sapma (S) diyagramı    | Prosesin istatistiksel varyasyonuna iyi bir bakış sağlar.                                                     | Karmaşık hesaplamalar, yavaş tepki spesifikasyon limitleri ve kontrol limitleri arasında endirekt ilişki                     |
| Yorumlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Örnek alt grup hacminin, alınma sıklığının ve kontrol limitlerinin hesaplanması ve revize edilebilmesi için gerekli örnek alt grubu sayısının tesbit edilmesi gerekir.<br>Küçük devamlı hareketlerin tesbiti için kontrol kuralları uygulanmalıdır<br>R diyagramı $2 < n \leq 5$ için, S diyagramı $6 \leq n$ için seçilmelidir.                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Örnek sayısı 1'den büyük olan anlamlı örnek alt grupları oluşturulamayan prosesler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Parametre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Konum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Dağılım                                                            | Avantajlar                                                                                                    | Dezavantajlar                                                                                                                |
| X diyagramı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Hareketli dağılım aralığı ( $R_M$ ) Diyagramı                      | Açıklaması ve çözmesi çabuk, kolay ve anlaşılır. Spesifikasyon limitleri ile karşılaştırma yapılır.           | X diyagramı normallikten sapmalar karşı hassastır.                                                                           |
| Eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli ortalam hareketli sapma (EWMID) diyagramı.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli sapma (EWMID) diyagramı | Küçük kaymalar (hareketlere) duyarlıdır.                                                                      | Kompleks hesaplamalar, yavaş tepki spesifikasyon limitleri ve kontrol limitleri arasında endirekt ilişki.                    |
| Kümülatif toplam ( $R_M$ ) diyagramı.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                    | Ortalamadaki ani değişikliklere çab tepki (yanıt) verir. Küçük kaymaları (hareketlerin) tesbitinde etkilidir. | Diyagramın kurulması ve açıklaması karmaşıktır. Diyagramın oluşturulabilmesi için muhtemel kaymalar önceden belirtilmelidir. |
| Yorumlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Hareketli dağılım aralığı diyagramı için, kendi içinde değişken olmaya suni örnek alt grubu seçilmelidir.<br>X ve $R_M$ diyagramlarının yorumları birbirlerinden bağımsız değildir.<br>Kaymaların tesbiti öncelikle trend eğrilerine bağlıdır.<br>Ortalama ve sapma diyagramlarının yorumu birbirlerinden bağımsız değildir.<br>CuSum diyagramı, proses ortalamasının değişken olduğu ve fiziksel ortalamalar ile kontrol edilemediği durumlarda uygundur.<br>CuSum diyagramı ve hareketli dağılım aralığı diyagramlarının yorumu birbirlerinden bağımsız değildir. |                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                              |

**Tablo 3.2.** Kontrol limitleri formülleri.

| Şema Türü       | Merkez Hattı | Alt Kont. Limiti       | Üst Kont. Limiti       |
|-----------------|--------------|------------------------|------------------------|
| Ortalama        | $\bar{X}$    | $\bar{X} - A_2\bar{R}$ | $\bar{X} + A_2\bar{R}$ |
| Dağılma Aralığı | $\bar{R}$    | $D_3\bar{R}$           | $D_4\bar{R}$           |
| Standart Sapma  | $\sigma$     | $B_3\sigma$            | $B_4\sigma$            |

$\bar{X}$  ve R diyagramlarının çiziminde izlenen adımları şu şekilde özetleyebiliriz:

**Adım 1:** Kontrol diyagramları için ön hazırlık aşaması.

- Kalite açısından kritik olan değişkenlerin seçimi. Bu aşamada ürünün kalite açısından kritik olan ölçülerinin tesbiti ve bunların arkasından en etken olanlarının seçimi yapılır.
- Verilerin gruplanması için kararın verilmesi. Bu aşamada veriler ile oluşturulacak grupların kendi aralarında mümkün olduğunca homojen bir yapıda olmasını sağlayacak bir altgruplama yapısı oluşturulur.
- Alınacak veri gruplarının sıklık ve büyüklüklerinin tesbiti. Bu aşamada alınan örneklerin kaçarlı gruplar haline sınıflandırılacağı (ki bu rakam uygulamalarda genellikle 4 veya hesaplamalarda daha kolay olduğu için 5'tir.) ve bu grupların hangi sıklılarda alınacağı belirlenir.
- Verilerin kaydedilmesi için bir kayıt formunun hazırlanması. Uygun kayıt formu ile verilerin sağlıklı bir şekilde kaydedilebilmesi için uygun olan form şeklinin seçimi.
- Ölçme tekniklerinin seçimi.

**Adım 2:** Kontrol diyagramlarına başlama

- Ölçümlerin yapılması.
- Elde edilen değerlerin ve diğer gerekli bilgilerin kaydı.
- Her alt grup için grup ortalamasının hesaplanması.
- Her alt grup için grup dağılma aralığının hesaplanması.
- Ortalama değerlerinin diyagram üzerinde işaretlenmesi.
- Dağılma aralığı değerlerinin diyagram üzerinde işaretlenmesi.

**Adım 3:** Kontrol limitlerinin hesaplanması.

- Kontrol limitlerinin hesaplanması için yeterli örnek grubu sayısının tesbit edilmesi.
- Örnek gruplarının dağılma aralıklarının ortalamasının hesaplanması.
- Dağılma aralığı için alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanması.
- Örnek grupları ortalamalarının ortalamasının hesaplanması.
- Ortalama için alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanması.
- Hesaplanan merkez çizgi ve limitlerin diyagram üzerine çizilmesi.

**Adım 4:** Elde edilen ilk sonuçların yorumlanması.

- Prosesin kontrol altında olup olmadığının tesbiti.
- Proseste fiili durum ile istenen durum arasındaki fark.
- Kontrol diyagramlarının gönderdiği sinyallere uygun olarak gerekli önlemlerin alınması.

**Adım 5:** Kontrol diyagramlarını kullanımına devam edilmesi.

- Dağılma aralığı için merkez çizgi ve kontrol limitlerinin revize edilmesi.
- Ortalama için merkez çizgi ve kontrol limitlerinin revize edilmesi.
- Prosesi kontrol altında tutabilmek için diyagramları izlemek ve gereken tedbirleri anında almak.

$\bar{X}$  ve R diyagramlarında meydana gelebilecek olası gelişmeler ve bu gelişmelerin olası nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz :

**Durum 1 :** Kontrol limitlerinin dışına çıkma. Proses ortalama değerinin değişimi ve/veya prosesin kendisinin değişime uğraması. Bazı köklü nedenler vardır; bunların soruşturulması gerekir. Nedenler bulunmalı ve ileride bunları önleyecek önlemler belirtilmelidir. (Şekil 3.3. (1))

**Durum 2 :** Merkez çizginin bir tarafında birbirini izleyen noktalar dizisi (en az 7 nokta). Bu tür şekillendirme tesadüfi değildir. Bunu doğuran belirli nedenler vardır. Nedenlerin belirtilmesi gerekir; çözümler genellikle tekniktir. (Şekil 3.3. (2))

**Durum 3 :** Limite yakın noktaların tekrarı. Ortalama için olası nedenler; kontrol eksikliği, malzeme kalitesinde geniş sistematik farklılıklar, ölçme alet ve yöntemlerinde geniş sistematik farklılıklar ve iki veya daha fazla prosesin aynı diyagramda kontrol edilmesidir. Dağılma aralığı için olası nedenler; çok farklı kaliteye sahip malzeme karışımları, aynı diyagramı kullanan farklı işgörenler ve farklı koşullar

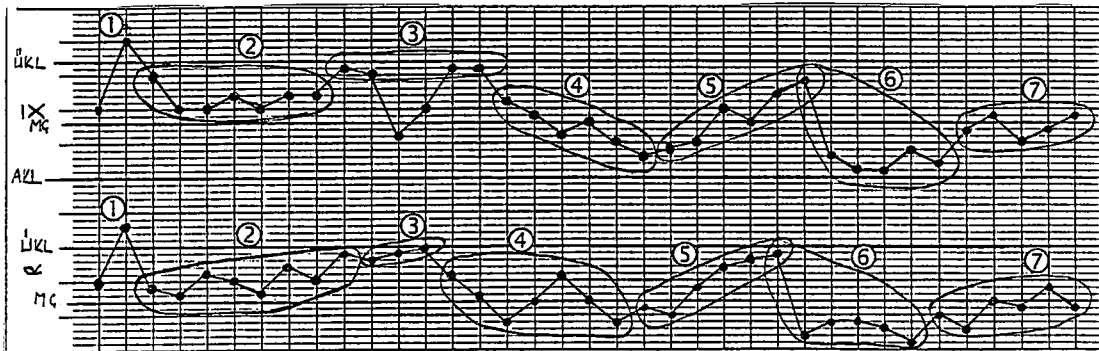
altındaki proseslerden elde edilen verilerin aynı diyagramda işlenmesi. Bu durumlar özel bir dikkat gerektirir. (Şekil 3.3. (3))

**Durum 4 :** Noktaların belirli bir eğilim göstermesi (azalan, çoğalan devirsel diziler). Ortalama için olası nedenler; sıcaklık, nem gibi fiziksel şartlarda devirsel değişiklikler; işgören yorgunluğu; kullanılan ölçme aletlerindeki farklılıklar; makina veya operatörlerin düzenli rotasyonu veya diğer proses/alt proseslerin etkileri. Dağılma aralığı için olası nedenler; önleyici bakım çalışmaları; işgören yorgunluğu veya aşınmış takımlar. Nedenleri bulmak için çıkarılan iş miktarlarının kontrol edilmesi yararlı olabilir. (Şekil 3.3. (4))

**Durum 5 :** Pozitif veya negatif bir trend; Ortalama için olası nedenler; Takımlarda zaman içinde oluşan aşınma; işgören yorgunluğu; ıskarta ürün sayısının artışı veya çevresel şartlardaki kötüleşme. Dağılma aralığı için olası nedenler; operatörlerin becerilerinde gelişme veya kötüleşme; işgören yorgunluğu; montaj bandını besleyen üretim hatlarında değişim veya malzeme kalitesindeki dereceli değişim.

**Durum 6 :** Proses seviyesinde sıçrama. Ortalama için olası nedenler; farklı kaynaklardan gelen malzemelerde değişim; yeni makina veya çalışan; üretim metodlarında veya proseslerde modifikasyon; ölçme metodlarındaki veya aletlerindeki değişiklik. Dağılma aralığı için olası nedenler; malzemenin, metodun veya çalışanın değişmesi.

**Durum 7 :** Merkez çizgiye çok yakın ardışık noktalar. Ortalama için olası neden; kontrol limitlerinin yanlış hesaplanması. Dağılma aralığı için olası neden çok büyük bir yığından örneklerin alınması.



Şekil 3.3.  $\bar{X}$  ve R diyagramlarının yorumlanması.

**ÖRNEK 3.1.**

$\bar{X}$  ve R kontrol diyagramları için, spesifikasyon limitleri  $250 \pm 1.5$  mm olan bir üretim prosesinden, değişik zaman noktalarında örnek alt grubu hacmi (n) = 5 olarak alınan ölçümler Tablo 3.3.'te görülmektedir. Bu veriler kullanılarak kontrol limitlerinin hesaplanması ve şamanın üzerine işlendikten sonra yorumlanması gereklidir.

**Tablo 3.3.** Alınan veriler.

| Numune no | Alınan Tarih | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Ortalama | Dağılma Aralığı (R) |
|-----------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|
| 1         | 01/07/97     | 250.9 | 250.6 | 249.7 | 250.1 | 249.9 | 250.24   | 1.2                 |
| 2         | 03/07/97     | 250.4 | 250.2 | 250   | 249.6 | 250.4 | 250.12   | 0.8                 |
| 3         | 06/07/97     | 249.5 | 250.3 | 250   | 249.8 | 250.4 | 250      | 0.9                 |
| 4         | 09/07/97     | 249.3 | 248.5 | 248.8 | 248.9 | 249   | 248.9    | 0.8                 |
| 5         | 12/07/97     | 249.7 | 249   | 250   | 251   | 250.3 | 250      | 2                   |
| 6         | 15/07/97     | 250.1 | 250.6 | 250.7 | 249.4 | 249.8 | 250.12   | 1.3                 |
| 7         | 18/07/97     | 249   | 249.6 | 250   | 250.1 | 250.2 | 249.78   | 1.2                 |
| 8         | 21/07/97     | 250.1 | 250   | 250.6 | 249.9 | 249.8 | 250.08   | 0.8                 |
| 9         | 24/07/97     | 250.4 | 250.1 | 251.3 | 249   | 249.7 | 250.1    | 2.3                 |
| 10        | 27/07/97     | 249.5 | 249.9 | 250   | 250.2 | 250.6 | 250.04   | 1.1                 |
| 11        | 30/07/97     | 250.4 | 251   | 249.7 | 249.8 | 250   | 250.18   | 1.3                 |
| 12        | 02/08/97     | 250.9 | 250.2 | 250   | 249.6 | 249.1 | 249.96   | 1.8                 |
| 13        | 05/08/97     | 249.2 | 250.3 | 250   | 249.8 | 250.9 | 250.04   | 1.7                 |
| 14        | 08/08/97     | 249.5 | 249.9 | 249.6 | 250   | 250.1 | 249.82   | 0.6                 |
| 15        | 11/08/97     | 249.7 | 249   | 250   | 250.1 | 250.3 | 249.82   | 1.3                 |
| 16        | 14/08/97     | 250.1 | 250.6 | 250   | 249.4 | 249.8 | 249.98   | 1.2                 |
| 17        | 17/08/97     | 249.9 | 249.6 | 250   | 250.1 | 250.6 | 250.04   | 1                   |
| 18        | 20/08/97     | 248.6 | 250.7 | 250.6 | 251.5 | 249.8 | 250.24   | 2.9                 |
| 19        | 23/08/97     | 250.4 | 250.1 | 251   | 250.6 | 249.7 | 250.36   | 1.3                 |
| 20        | 26/08/97     | 249.5 | 249.9 | 250   | 250.2 | 250.4 | 250      | 0.9                 |
| Toplam :  |              |       |       |       |       |       | 4999.82  | 26.4                |

Tablodaki veriler kullanılarak yapılacak hesaplamalarda gerekli olan  $A_2$ ,  $D_3$  ve  $D_4$  sabitleri, eklerdeki Tablo A.1.'den n = 5 için bulunarak alınır.

$$A_2 = 0.577$$

$$D_3 = 0$$

$D_4=2.115$  olarak okunur.

Bu değerler yardımıyla  $\bar{X}$  ve  $R$  için merkez çizgi alt ve üst kontrol limitleri daha önce verilmiş formüller kullanılarak hesaplanır.

$\bar{X}$  için:

$$MÇ = 4999.82/20 = 249.99$$

$$ÜKL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 250.75$$

$$AKL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 249.23$$

$R$  için :

$$MÇ = 26.4/20 = 1.32$$

$$ÜKL = D_4\bar{R} = 2.79$$

$$AKL = D_3\bar{R} = 0$$

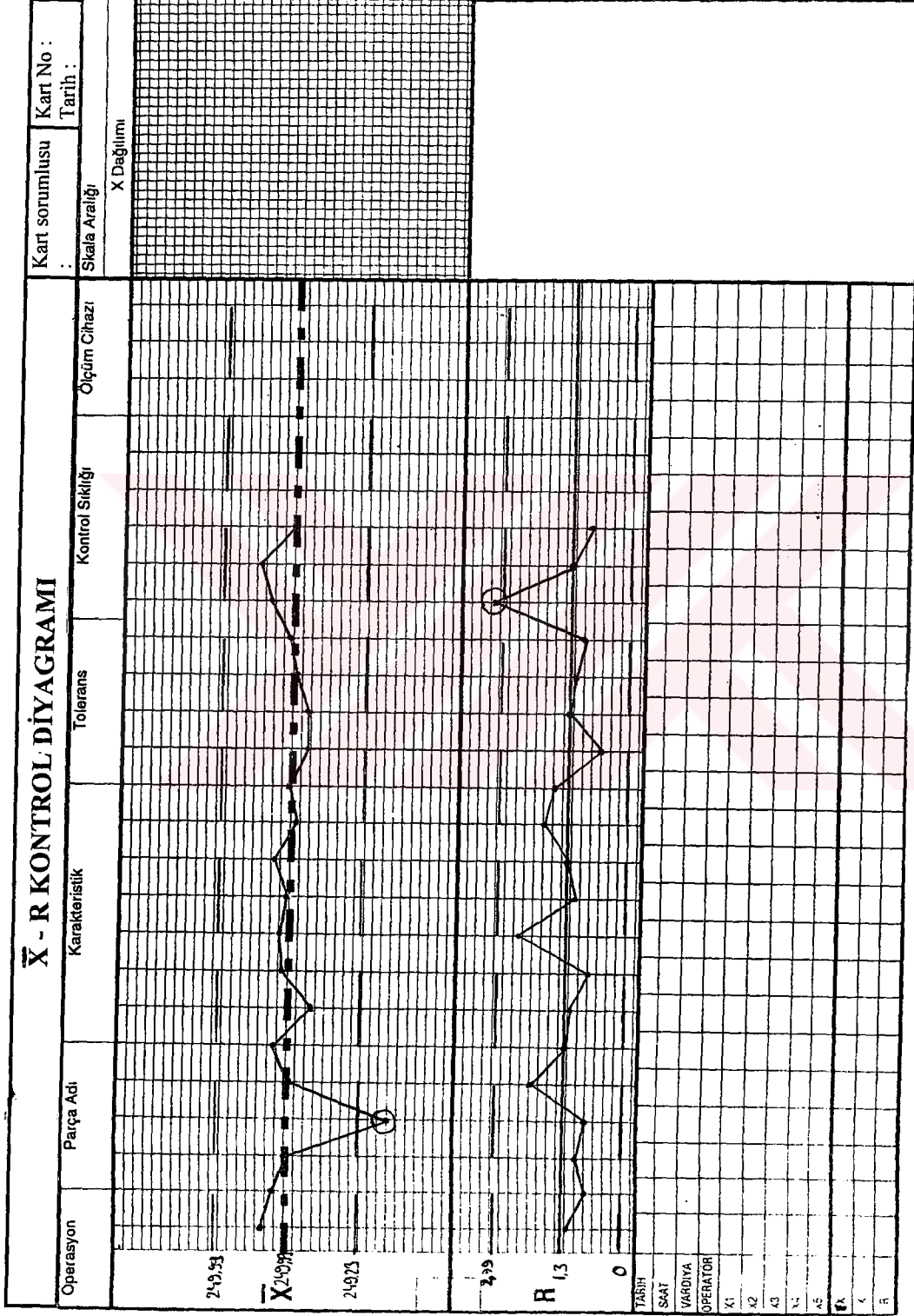
Bulunan kontrol limitleri ve veriler diyagram üzerine konulduktan sonra Şekil 3.4. durum deęerlendirmesine geçilir.

$\bar{X}$  diyagramının (Şekil 3.4.) incelenmesinden de görülebileceği gibi bir nokta kontrol limitlerinin dışındadır. Bu nokta, 4. numune grubunun ortalamasıdır. Yapılması gereken, bu durumu yaratan nedeni bulup gerekli düzeltici önlemin alınarak prosesin kontrol limitlerinin içinde ürün üretmesini sağlamaktır.

$R$  diyagramının (Şekil 3.4.) incelenmesinden de görülebileceği gibi bir nokta kontrol limitleri dışındadır. Bu nokta, 18. numune grubunun dağılma aralığıdır. Yapılması gereken, proste dağılma aralığını arttıran nedenleri bularak bu durumu önleyici faaliyetleri yaptıktan sonra prosesin kontrol limitleri içinde ürün üretmesini sağlamaktır.

**B) Rasyonel (anlamalı) alt örnek sınıfları oluşturabilmek için bir dönemde bir taneden fazla örnek almanın mümkün veya anlamlı olmadığı durumlarda ise ( $n=1$ )  $X$  ve  $R_M$  (hareketli değişim aralığı) diyagramları, eksponansiyel olarak ağırlıklandırılmış hareketli ortalamalar (EWMA) ve eksponansiyel olarak ağırlıklandırılmış hareketli sapmalar (EWMD) diyagramlar ve kümülatif toplam (CuSum) diyagramları kullanılır.**

$X$  ve  $R_M$  diyagramları : Esas olarak  $X$  ve  $R$  diyagramlarına çok benzemelerine rağmen hazırlanışı daha basittir. Tek önemli değişiklik burada  $X$ , ölçülen (tek) veri;  $R'$ 'de  $n$  adetlik suni bir örnek alt sınıfı oluşturabilmek için kabul edilen ardışık  $n$  adet



Şekil 3.4. Örnek 3.1.1 için  $\bar{X}$  ve R kontrol diyagramı.

dağılım aralığıdır.  $\bar{X}$  için  $n=1$ ,  $R_M$  için ise  $n=2$  veya  $n=3$  olmalıdır.  $n$ 'nin daha büyük olduğu durumlarda verilerin toplanması için gerekli zaman çok uzun olacağı için durum varyasyonu etkileyecektir. Şemalar için sağlıklı değerlerin hesaplanabilmesi için en az 25 adet veri toplanmalıdır. Bu durumda  $\pm 3 \sigma$  kontrol limitleri için kullanılan formüller ;

$\bar{X}$  diyagramı için:

Merkez çizgisi =  $\bar{X}$

$$\begin{aligned} \text{ÜKL}_x &= \bar{X} + 3(R_M/d_2) \end{aligned} \quad (3.1.)$$

$$\begin{aligned} \text{AKL}_x &= \bar{X} - 3(R_M/d_2) \end{aligned} \quad (3.2.)$$

$R_M$  diyagramı için;

Merkez çizgi =  $R_M$

$$\begin{aligned} \text{ÜKL}_{R_M} &= D_4 R_M \end{aligned} \quad (3.3.)$$

$$\begin{aligned} \text{AKL}_{R_M} &= D_3 R_M \end{aligned} \quad (3.4.)$$

Burada;

$\bar{X}$  : Toplanan verilerin aritmetik ortalaması.

$R_M$  : Suni alt örnek grupları dağılım aralıklarının ortalaması.

$d_2, D_3, D_4$  alt örnek grubu eleman sayısına ( $n$ ) bağlı sabitler. Bakınız; Ekler Tablo A.1.

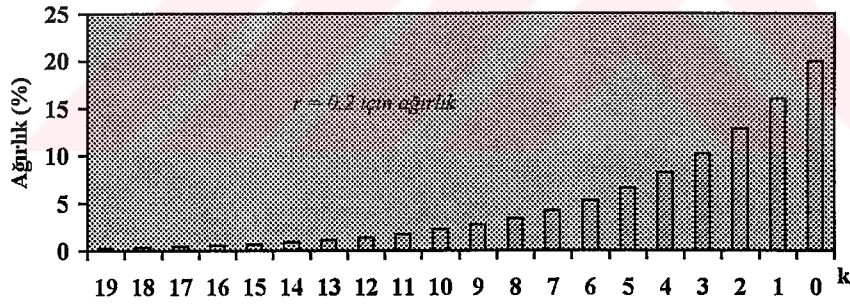
EWMA ve EWMD diyagramları :  $\bar{X}$  ve  $R_M$  diyagramları proses ortalaması ve varyansı ile ilgili kaymaları (özellikle küçük olanlarını) göstermede oldukça etkilidir. Ancak bu diyagramların yanında eksponansiyel olarak ağırlıklandırılmış hareketli ortalamalar (EWMA) ve eksponansiyel olarak ağırlıklandırılmış hareketli sapmalar (EWMD) diyagramları da kullanılabilir. Eksponansiyel olarak ağırlıklandırılmış

hareketli bir ortalama; bugünden geçmişe doğru eksponansiyel olarak azalan ağırlıklar ile ağırlıklandırılmış verilerin ortalamasıdır. Eksponansiyel olarak ağırlıklandırılmış hareketli bir varyans; bugünden geçmişe doğru eksponansiyel olarak azalan ağırlıklar ile ağırlıklandırılmış verilerin varyansıdır. Ağırlıklandırılmış verilerle elde edilen bu değerler, ağırlıklandırmada en büyük ağırlık en güncel veriye verildiği için prosesin son performansına yakın değerlerdir. Eksponansiyel olarak azalan ağırlıkların azalma oranını belirleyen faktör  $r$  0 ile 1 arasındadır.  $x_{j-k}$ 'ci gözlem için ağırlık faktörü ;

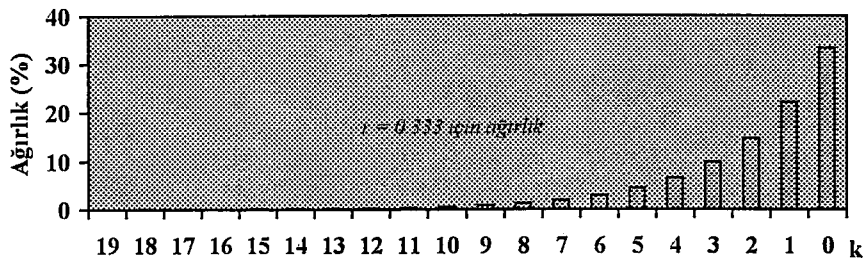
$$W_{j-k} = r(1-r)^k \text{ 'dür} \quad (3.5.)$$

$r$  değeri küçüldükçe prosesin yakın geçmişteki performansının etkisi de artmaktadır (Şekil 3.5. ve 3.6.).  $r$ 'nin seçilmesinde, alt örnek grubu elemanı sayısına ( $n$ ) bağlı olarak şu formül kullanılabilir:

$$r = 2 / (n+1) \quad (3.6.)$$



Şekil 3.5.  $r=0.2$  için geçmiş verilerin ağırlıkları.



Şekil 3.6.  $r=0.333$  için geçmiş verilerin ağırlıkları.

$r = 1$  için EWMA diyagramında tüm ağırlıklar ölçülen değerin kendisini vermektedir. Yani,  $r = 1$  için,  $X$  diyagramında olduğu gibi EWMA diyagramında da veriler ağırlıklandırılmamış biçimde olurlar.

Ortalamada herhangi bir değişim söz konusu olduğunda  $r$ 'ye bağlı olarak EWMA da prosesin yeni ortalama değerine doğru kayar. Ancak, EWMD değerleri değişmez. Eğer proses değişkenliğinde herhangi bir değişim olursa, EWMD kademeli olarak yeni seviyesine doğru kayarken, EWMA değeri sabit kalır. EWMA ve EWMD kontrol diyagramlarını çizebilmek için en az 25-30 ölçüm kullanılarak prosesin ortalama ve standart sapması hesaplanmalıdır. Daha sonra  $\pm 3\sigma$  kontrol limitleri aşağıdaki gibi hesaplanır. (KOLARIK, 1995)

EWMA için,  $A_j$  ve EWMD için  $V_j$  değerlerinin hesaplanması;

$$A_j = r \cdot x_j + (1 - r)A_{j-1} \quad A_0 = \bar{X} \quad (3.7.)$$

$$V_j = r \cdot D_j + (1 - r)V_{j-1} \quad D_j = |x - A_{j-1}| \text{ ve } V_0 = \hat{\sigma} \quad (3.8.)$$

$A_j$  ve  $V_j$  merkez çizgileri için kontrol limitleri ;

$$\text{Merkez Çizgisi} = \bar{X}$$

$$\bar{U}KL_A = \bar{X} + A \cdot \hat{\sigma} \quad (3.9.)$$

$$AKL_A = \bar{X} - A \cdot \hat{\sigma} \quad (3.10.)$$

$$\text{Merkez Çizgisi} = \hat{\sigma}d_2^* \quad (3.11.)$$

$$\bar{U}KL_V = D_2 \cdot \hat{\sigma} \quad (3.12.)$$

$$AKL_V = D_1 \cdot \hat{\sigma} \quad (3.13.)$$

Burada ;

$r$  : Ağırlıklandırma faktörü (Değeri 0-1 arasındadır)

$W_{j-k}$  :  $x_j$  en son gözlem değeri olmak üzere  $x_{j-k}$ 'nin ağırlığı

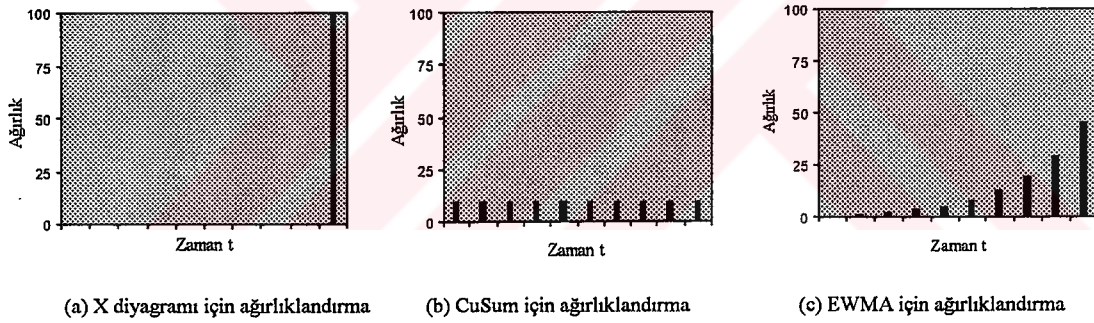
$A_j$  : j'ninci gözlem için eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA)

$V_j$  : j'ninci gözlem için eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli varyans (EWMD)

$D_j$  : j'ninci gözlem için mutlak varyans

$A^*$ ,  $d_2^*$ ,  $D_1^*$ , ve  $D_2^*$  Ekler, Tablo A.2.'de yer alan sabitlerdir.

CuSum diyagramları : Prosesteki küçük eğimli sürekli yükselişleri tesbit edebilmek amacıyla kümülatif toplam diyagramları kullanılır.  $\bar{X}$ , CuSum ve eksponansiyel ağırlıklandırılmış kontrol diyagramlarının arasındaki farkı, yapılan ağırlıklandırmaya bağlı olarak aşağıdaki grafikte olduğu gibi gösterebiliriz (Şekil.3.7.).



Şekil 3.7. Çeşitli kontrol diyagramları için geçmiş verilerin ağırlıklandırılması.

Görüldüğü gibi  $\bar{X}$  diyagramı uzak geçmişe ait hiçbir bilgiyi vermez. EWMA ise zamanda geriye doğru gidildikçe geçmiş verilere daha az önem (ağırlık) vermektedir. CuSum diyagramlarında tüm verilere eşit önem verilmektedir.

CuSum diyagramları hem yerleşim hem de dağılım parametreleri için basit eğim prensibine göre oluşturulabilir. CuSum diyagramlarının uygulamasına karar verilmiş ise bu diyagram ile birlikte  $R_M$  diyagramı da kullanılmalıdır.

Diyagramı üzerinde işaretlenen herhangi bir nokta, başlangıçtan j'nci alt örnek grubunu ( $n \geq 1$ ) temsil etmektedir ve değeri aşağıdaki formül ile bulunur ;

$$S_{(j)} = \sum_{i=1}^j (\bar{X}_i - \bar{X}_0) \quad (3.13.)$$

Burada;  $\bar{X}_0$  kalite karakteristiğinin istenen en iyi seviyesini temsil eden hedef değerdir. Eğer  $n = 1$  ise  $\bar{X}_i = X_i$ 'dir ve  $i$  de bir indeks olarak kullanılmaktadır.

Bazen kontrol limitlerinin gösterilmesinde V-şablonu kullanılmaktadır. Her yeni istatistik diyagram üzerine işaretlendiğinde V-şablonu da en son işaretlenen bu değere doğru dikey olarak hareket eder. Eğer işaretlenmiş noktalardan ( $S_{(j)}$ ) herhangi biri şablonun limitlerinin dışına düşerse proses kontrol dışıdır denilmektedir. V-şablonunun oluşturulmasında eğim çok önemli olduğu için yatay ve düşey ölçülendirme de son derece önem taşımaktadır.

Grant ve Leavenworth V-şablonunun parametreleri olan  $d_c$  ve  $\theta_c$ 'yi şu formüllerle hesaplamışlardır.

$$d_c = E_{c, \alpha} \left[ \frac{\hat{\sigma} / \sqrt{n}}{D_c} \right] \quad (3.14.)$$

$$\tan \theta_c = \frac{D_c}{2y_c} \quad (3.15.)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \left( \frac{D_c}{2y_c} \right) \quad (3.16.)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}_M}{d_2} \quad (3.17.)$$

Burada;

$E_{c, \alpha}$  : Tablo 3.4.'de görülen kabul edilebilir, 1. Tip hata fonksiyonudur.

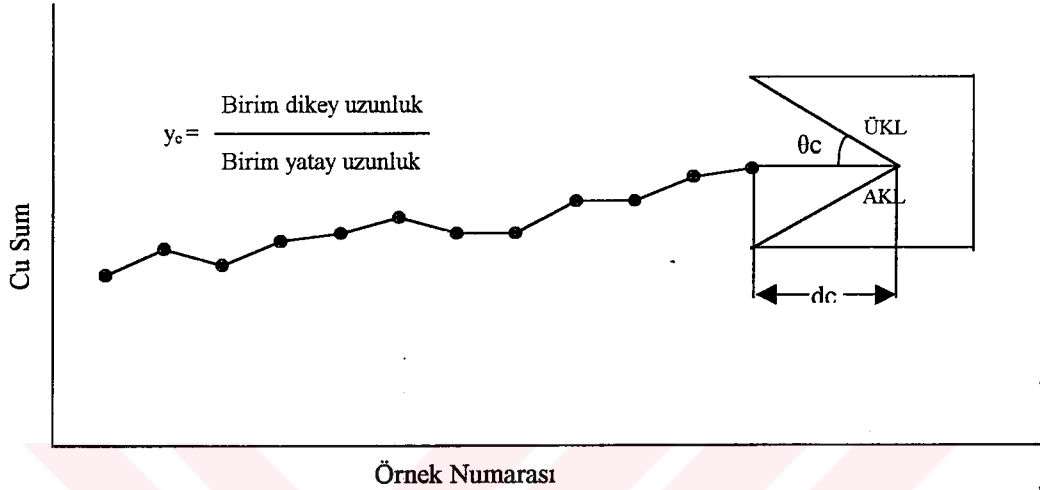
$y_c$  : Seçilmiş olan yatay ve düşey ölçülendirme faktörüdür.

$\theta_c$  : CuSum diyagramı için V-şablon açısı.

$S_{(j)}$  :  $j$ 'ci örnek için CuSum değeri.

**Tablo 3.4.** CuSum diyagramları için kullanılabilir, seçilmiş  $E_{c,\alpha}$  değerleri.

| P I. Tip Hata  | 0.0027 | 0.01   | 0.02  | 0.05  | 0.10  |
|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| $E_{c,\alpha}$ | 13.215 | 10.597 | 9.210 | 7.378 | 5.991 |

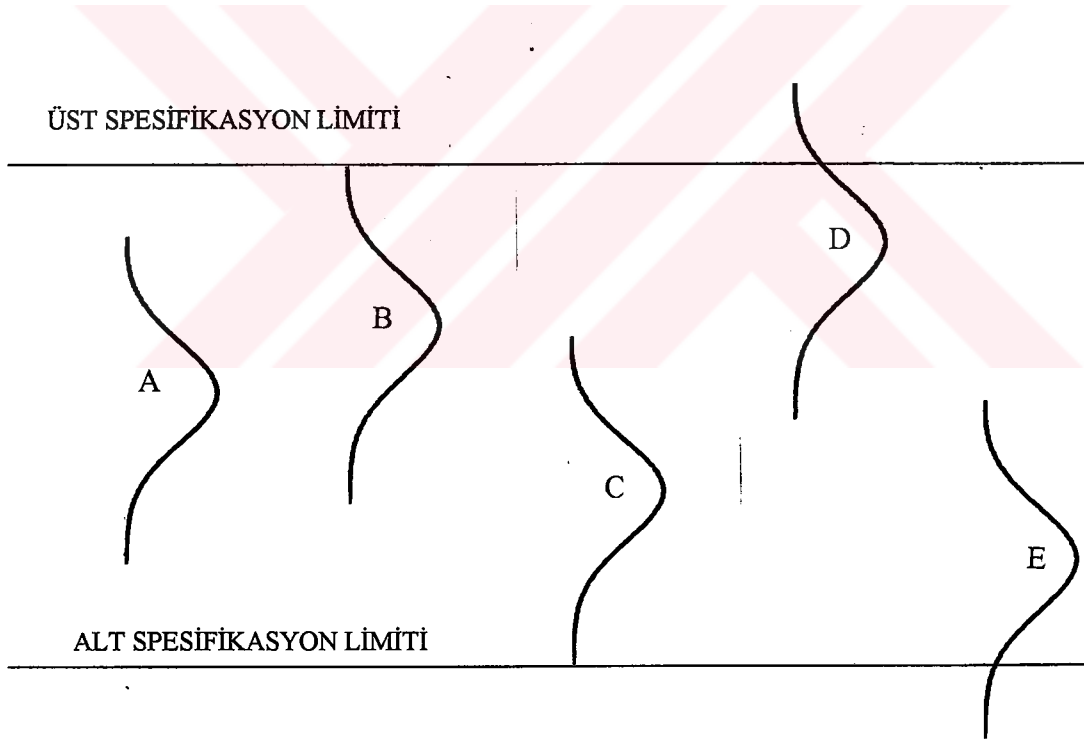
**Şekil 3.8.** CuSum diyagramı.

### 3.3.1.1. PROSES İLE ALT ve ÜST SPESİFİKASYON LİMİTLERİNİN ARASINDAKİ MUHTEMEL İLİŞKİ

Kontrol altındaki bir prosesin iki ana spesifikasyon limitleri içerisinde olması nedeniyle muhtemel durumları üç ana gruba ayırabiliriz :

a) Prosesin dağılımı ( $6\sigma'$ ) spesifikasyon limitleri arasındaki farka göre daha küçüktür. Bu durum Şekil 3.9.'de gösterilmektedir. Burada görüldüğü gibi spesifikasyon limitlerinin alt ve üst limitleri, prosesin dağılım aralığına göre oldukça büyüktür. Bu durumdaki bir prosesin spesifikasyon limitleri arasında muhtemel yerleşim noktaları A, B, C, D ve E gibi olabilir. A, B ve C durumunda proses kontrol altında olduğu sürece üretilen ürünler spesifikasyonları karşılayacaktır. Bu durum ideal üretimi temsil etmektedir. Eğer kontrol diyagramları bu üç durumdan birinin varlığını gösteriyorsa ekonomik getirileri de göz önüne alınarak bazı uygulamalar yapılabilir. Örneğin B veya C gibi dağılım aralığı küçük bir üretim yapmak yerine (spesifikasyon limitleri çok daha büyük olduğu için) dağılım aralığı (spesifikasyon

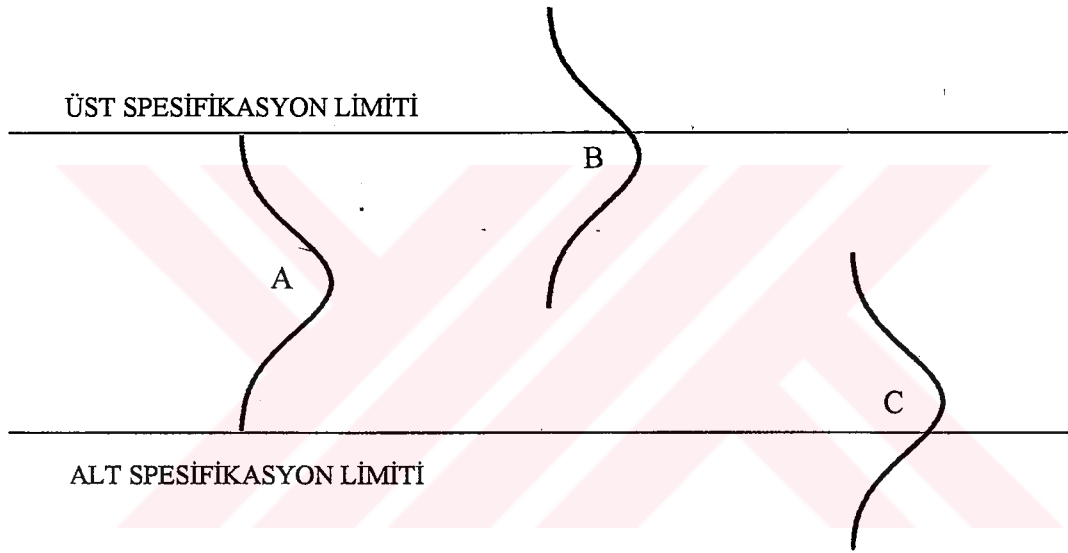
limitleri içerisinde kalmak şartı ile) genişletilebilir. Böylece, mesela, tezgah ayar sayısını azaltarak zaman kaybı önlenmiş olur. Yada %100 muayene ile yapılan kabul örneklemeleri  $\bar{X}$  ve R diyagramları ile yapılabilir. Bu da tüm partinin muayenesi gibi oldukça zaman alıcı bir uygulamanın berteraf edilmesi anlamındadır. Ya da eğer ekonomik bir avantajı var ise çok geniş olan spesifikasyon limitlerinin daraltılması olabilir. Bunlardan biri yapılamıyorsa kontrol diyagramlarının uygulanması kaldırılabilir. Zira şekilden de görülebileceği gibi proste çok büyük değişiklikler olmadığı sürece üretilen ürünler her zaman spesifikasyon limitlerinin içinde olacaktır. Eğer prosesin yerleşimi D'deki gibi ise, bu durumda bazı ürünler üst spesifikasyon limitinin üzerinde olacaktır. Eğer prosesin yerleşimi E'deki gibi ise, bu durumda bazı ürünler alt spesifikasyon limitinin altında olacaktır. Her iki durumda da ilk yapılması gereken, prosesin, spesifikasyon limitleri arasındaki yerleşiminin, A'daki gibi merkeze yaklaştırılmasıdır. Bu yapıldıktan sonra daha önce anlatılan uygulamalar da yapılabilir.



**Şekil 3.9.** Proses dağılımının spesifikasyon limitlerinden küçük olması.

b) Prosesin dağılımı ( $6\sigma'$ ) spesifikasyon limitleri arasındaki farka hemen hemen eşittir (Şekil 3.10.). Burada, proses eğer A'daki gibi spesifikasyon limitlerinin tam ortasında yerleşmiş ise üretilen tüm ürünler spesifikasyon limitlerinin içinde olacaktır.

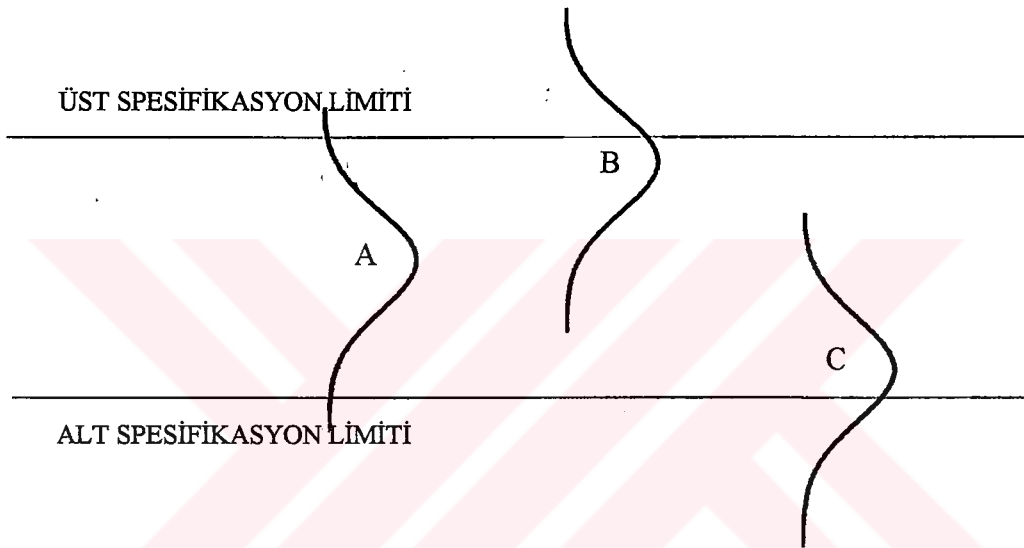
Eğer proses B veya C'deki gibi merkezden uzak bir şekilde yerleşmiş durumda ise bu durumda üretilen ürünlerden bir kısmı spesifikasyon limitlerinin dışında kalacaktır. Alınacak ilk temel önlem prosesin mutlaka spesifikasyon limitlerinin merkezinde olmasını sağlamaktır (A'daki gibi). Bu da ancak kontrol diyagramlarının (X ve R için) sürekli kullanımı ve prosesin sürekli olarak kontrol altında tutulması ile mümkün olur. Eğer prosesin dağılma aralığı ile ilgili radikal değişiklikler yapılabilir ve daraltılabilirse, bu durum prosesin, spesifikasyon limitlerini karşılayabilmek için içinde bulunduğu baskıyı azaltacaktır.



**Şekil 3.10.** Prosesin dağılımının spesifikasyon limitlerine eşit olması durumu.

c) Bu durumda, spesifikasyon limitleri o kadar dardır ki, proses (Şekil 3.11. A'daki gibi) kontrol altında ve hatta spesifikasyon limitleri arasında tam olarak merkezi bir noktada yer alsa bile, istenilen özellikleri karşılayamayan (limitlerin dışına çıkan) bir miktar ürün olacaktır. Bu durum limitlerin tekrar gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Aynı zamanda prosesin dağılma aralığını daraltacak bir takım radikal değişikliklere de ihtiyaç vardır. Bunlar yapılırken göz önünde tutulması gereken en önemli noktalardan biri, prosesin mümkün olduğu kadar limitlerin arasında ve merkezde olmasını sağlamaktır. Zira Şekil 3.11. B ve C'de görüldüğü gibi, dağılım merkezden uzaklaştıkça spesifikasyonları karşılayamayan ürünlerin adedi de

artmaktadır. Eğer %100 muayene mümkün ise, spesifikasyonları karşılayamayan ürünler seçilip ayrılabilir. Ancak ürün için yapılan testler eğer tahribatlı ise bu durumda tüm yığını test etmek mümkün olamayacağı için sadece spesifikasyonları karşılayan ürünlerin de tesbiti ve ayrılması mümkün olamayacaktır. Bu durumda çözüm yukarıda da belirtildiği gibi ya prosesin dağılımını radikal değişiklikler ile daraltmak yada spesifikasyon limitlerini gözden geçirerek genişletmektir. (GRANT ve LEAVENWORTH, 1987)

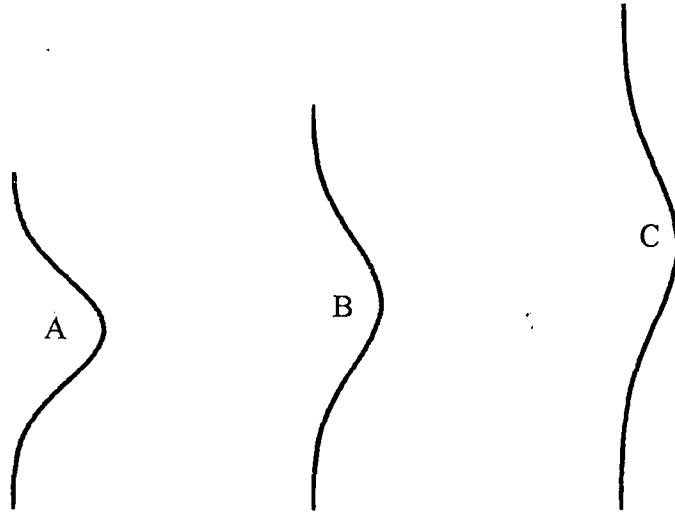


Şekil 3.11. Proses dağılımının spesifikasyon limitlerinden büyük olması

### 3.3.1.2. PROSES İLE TEK (ALT) SPESİFİKASYON LİMİTİNİN ARASINDAKİ MUHTEMEL İLİŞKİ

Değeri  $\bar{X}' - 3\sigma'$  olan prosesin minimum değeri ile alt spesifikasyon limiti arasında şu durumlar meydana gelebilir :

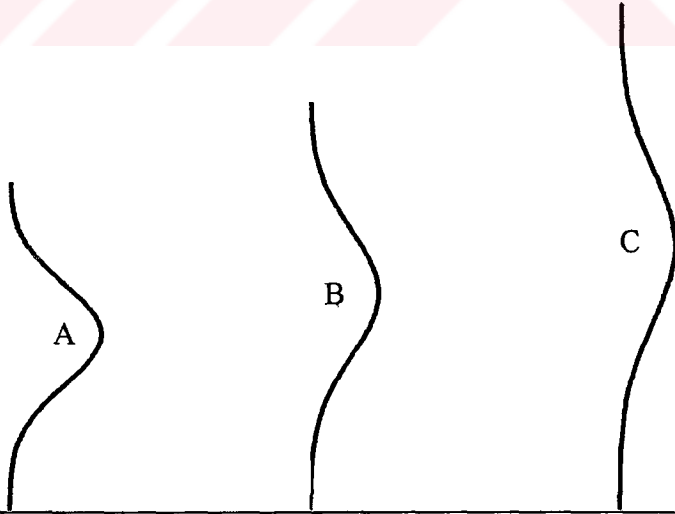
a) Prosesin en düşük değeri ( $\bar{X}' - 3\sigma'$ ) alt spesifikasyon limitinin oldukça üzerindedir (Şekil 3.12.). Bu durumda ürünler için yeterli miktarda bir güvenlik payı vardır.



ALT SPESİFİKASYON LİMİTİ

**Şekil 3.12.** Proses alt değerlerinin alt spesifikasyon limitinin üzerinde olması.

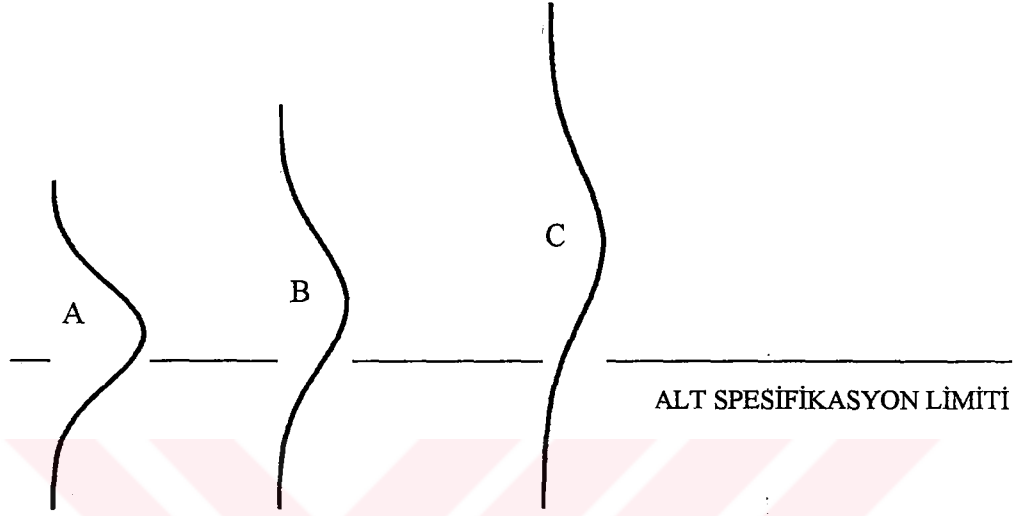
b) Prosesin en düşük değeri ( $\bar{X}' - 3\sigma'$ ) hemen hemen alt spesifikasyon limitine eşittir (Şekil 4.13.). Bu durumda proses kontrol altında tutulduğu sürece ürünler spesifikasyonları karşılayabilirler.



ALT SPESİFİKASYON LİMİTİ

**Şekil 3.13.** Proses alt değerlerinin alt spesifikasyon limitlerine eşit olması.

c) Prosesin en düşük değeri ( $\bar{X}' - 3\sigma'$ ) alt spesifikasyon limitinin altındadır (Şekil 3.14.). Burada, proseste dağılma aralığını daraltmak yada alt spesifikasyon limitini daha aşağıya çekmek için radikal değişiklikler yapılmadığı sürece, spesifikasyonları karşılayamayan ürünlerin varlığı kaçınılmaz olacaktır.



Şekil 3.14. Proses alt değerinin alt limitin altında olması.

Şekil 3.12.-3.14.'de dağılımın ortalaması, varyansı ve spesifikasyon limitleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için A, B ve C gibi üç farklı dağılım kullanılmıştır. Bu üç farklı dağılım da aynı minimum değere eşittir. Bununla birlikte B dağılımının A'ya göre, C'nin de B'ye göre ortalaması ve dağılımı daha büyüktür. Kimi durumlarda dağılımın dağılma aralığının küçük olması fire ve kayıpların önlenmesinde oldukça önemlidir. Örneğin; bir salça konserve dolun prosesinde, prosesin dağılma aralığı daraltılabildiği ölçüde, aşırı doldurmadan doğan taşmalardan kaynaklanan kayıplar azaltılabilir. Ancak bu durum, bazen de Şekil 3.13. ve 3.14.'teki dağılımlarda görülebildiği gibi bir dezavantaj olabilir. Zira Şekil 3.13.'te görülen üç dağılımın ortalamasının da aynı oranda düşmesi sonucu ortaya çıkacak durum Şekil 3.14.'de görülebilir. Burada; A dağılımında, spesifikasyon limitlerinin dışında kalan ürünlerin sayısı B'ye göre, B'de spesifikasyon limitlerinin dışında kalan ürünlerin sayısı C'ye göre daha fazladır.

Buraya kadar olası durumları anlatılan tek spesifikasyon limit yukarıda anlatıldığı gibi alt spesifikasyon limiti de olabileceği gibi üst spesifikasyon limiti de

olabilir. Üst spesifikasyon limiti için de yapılacak olası durum değerlendirmeleri alt limit için yapılanlar ile aynı olacaktır. (GRANT ve LEAVENWORTH, 1987)

### 3.3.2. ÖLÇÜLEMİYEN (NİTEL) KALİTE ÖZELLİKLERİ İÇİN KONTROL DİYAGRAMLARI

Bunlar ise kırık, çatlak, bozuk, lekeli vs. gibi duyu organlarımız aracılığı ile değerlendirilebilen özelliklerdir. p, np, u ve c olmak üzere dört farklı çeşidi vardır. p ve np kontrol diyagramları hatalı parça adetlerinin takibinde, u ve c kontrol diyagramları ise bir parçadaki hata adedinin takip edilmesinde kullanılmaktadır. Bu diyagramların prosesin izlenmesine yönelik avantajları ve dezavantajları aşağıdaki Tablo 3.5.'de özet bir şekilde görülebilir.

a) p diyagramları : Bir örnekteki hatalı yüzdesini gösterir. Örnek büyüklüğü n, sabit olabileceği gibi değişken de olabilir. Eğer n sabitse kontrol limitleri de sabittir. Örnek büyüklüğü değişiyorsa;

- Kontrol limitleri örnekten örneğe değişir ve her örnek için ayrıca hesaplanmalıdır.
- Yakın geleceğe ait ortalama alt örnek grubunun kestirimi yapılmalıdır. Bu tahmini ortalama alt örnek grubu için kontrol limitleri hesaplanmalıdır. Eğer elde edilen alt örnek grubunun sayısı tahmini ortalama sayıdan çok farklı ise bu durumda sözkonusu örnek için kontrol limitleri ayrıca hesaplanmalıdır.
- Farklı alt örnek gruplarını temel alan birkaç farklı kontrol limitleri hesaplanmalıdır. Bu limitler alt örnek gruplarının tahmini; minimum, ortalama ve maksimum değerleri temel alınarak hesaplanabilir.

$\pm 3 \sigma$  için kontrol limitleri :

$$\text{Merkez çizgisi : } \bar{p} \quad (3.18.)$$

$$AKL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \quad (3.19.)$$

Tablo 3.5. Ölçülemeyen özellikler için kontrol diyagramları.

| Kusurlu ürün sayısını izlemeye kullanan kontrol diyagramları |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diyagram tipi                                                | Avantajlar                                                                      | Dezavantajlar                                                                                                                                                                                                                       |
| p                                                            | Kusurlu ürün oranını gösterir. Binomial model esas alınmıştır.                  | Tek bir p veya np diyagramı ile pek çok kalite karakteristiği izlenebilir.                                                                                                                                                          |
| np                                                           | Kusurlu ürün sayısını gösterir. Binomial model esas alınmıştır.                 | Yüksek kalite seviyeleri ile ilgili çalışmalarda p ve np diyagramları için geniş örnek hacimlerine ihtiyaç vardır<br>Örnek hacmi esas alınarak oluşturulduğu için yorumu daha zordur. (p diyagramına göre)                          |
| Kusur sayısını izlemeye kullanan kontrol şemaları            |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                     |
| Diyagram tipi                                                | Avantajlar                                                                      | Dezavantajlar                                                                                                                                                                                                                       |
| c                                                            | Bir ürün kusur sayısını gösterir. Binomial model esas alınmıştır.               | c ve u diyagramları bir ürünün birçok farklı tip kalite kusurlarını izlemek için kullanılabilir.                                                                                                                                    |
| u                                                            | Bir ürün için ortalama kusur sayısını gösterir. Binomial model esas alınmıştır. | Yüksek kalite seviyeleri ile ilgili çalışmalarda c ve u diyagramları için geniş örnek hacimlerine ihtiyaç vardır.<br>c ve u diyagramları bir ürünün kusur sayısı esas alınarak oluşturulduğu için yorum farklılıklarına neden olur. |

$$\bar{U}KL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (3.20.)$$

Burada ;

$n$  : örnek hacmi.

$\bar{p}$  : bir örnek grubunun ortalama hata oranı.

$m$  : kontrol diyagramının oluşturabilmek için alınmış örnek alt grupları sayısı.

### ÖRNEK 3.2.

$p$  diyagramı için bir örnek olay.

Bir fabrikadaki yaklaşık bir aylık üretim dönemi içinde üretilen ürünlerden farklı hacimlerde olmak üzere alınan örnek grupları sayıları ve kusurlu ürün rakamları Tablo 3.6.'da gösterilmektedir.

Bu değerler kullanılarak  $p$  diyagramı için kontrol limitleri formül 3.18, 3.19 ve 3.20 kullanılarak hesaplanır.

Sonuçlar :

$$\bar{p} = 152/11625 = 0.0131$$

$$\sigma_p = 0.00577$$

$$M\check{C} = 0.0131$$

$$\bar{U}KL = 0.0131 + (3 * 0.00577) = 0.0304$$

$$AKL = 0.0131 - (3 * 0.00577) = - 0.0042 \text{ olduğu için } 0 \text{ 'dır.}$$

Sonuçlar ve veriler diyagram (Şekil 3.15.) üzerine işlendiğinde alınan örnek gruplarından 01/12 tarihinde alınan limitlerin dışındadır. Burada, yapılan üretimde kusurlu ürün sayısını arttıran nedenlerin varlığı mevcuttur. Bu durum ortaya çıkar çıkmaz nedenlerin araştırılarak gerekli önlemlerin alınması ve hatalı ürün adedinin düşürülmesi gerekmektedir.

Tablo 3.6. Alınan ürün verileri.

| Numune Tarihi     | Örnek Hacmi ( $n_j$ ) | Kusurlu Parça Sayısı | Kusurlu Parça Oranı ( $p_j$ ) |
|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 17/11             | 515                   | 0                    | 0.000                         |
| 18/11             | 400                   | 6                    | 0.015                         |
| 19/11             | 460                   | 4                    | 0.009                         |
| 20/11             | 515                   | 4                    | 0.008                         |
| 21/11             | 425                   | 7                    | 0.016                         |
| 22/11             | 435                   | 5                    | 0.011                         |
| 23/11             | 365                   | 7                    | 0.019                         |
| 24/11             | 400                   | 4                    | 0.010                         |
| 25/11             | 520                   | 5                    | 0.010                         |
| 26/11             | 340                   | 8                    | 0.024                         |
| 27/11             | 480                   | 3                    | 0.006                         |
| 28/11             | 375                   | 0                    | 0.000                         |
| 29/11             | 470                   | 8                    | 0.017                         |
| 30/11             | 300                   | 5                    | 0.017                         |
| 01/12             | 250                   | 9                    | 0.036                         |
| 02/12             | 300                   | 3                    | 0.010                         |
| 03/12             | 300                   | 5                    | 0.017                         |
| 04/12             | 250                   | 1                    | 0.004                         |
| 05/12             | 420                   | 5                    | 0.012                         |
| 06/12             | 300                   | 3                    | 0.010                         |
| 07/12             | 375                   | 10                   | 0.027                         |
| 08/12             | 435                   | 8                    | 0.018                         |
| 09/12             | 360                   | 10                   | 0.028                         |
| 10/12             | 230                   | 3                    | 0.013                         |
| 11/12             | 490                   | 6                    | 0.012                         |
| 12/12             | 420                   | 7                    | 0.017                         |
| 13/12             | 470                   | 8                    | 0.017                         |
| 14/12             | 310                   | 6                    | 0.019                         |
| 15/12             | 310                   | 0                    | 0.000                         |
| 16/12             | 405                   | 2                    | 0.005                         |
| <b>Toplam :</b>   | 11625                 | 152                  |                               |
| <b>Ortalama :</b> | 387.5                 | 5.733                | 0.0131                        |

| OPERASYON | OPERASYON İSİM VE NUMARASI | PARÇA İSİMİ VE NUMARASI | KARAKTERİSTİK | KONTROL SIKLIĞI |
|-----------|----------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|
|           |                            | X 100                   | A             | Hergün          |

Ü K L

M Ç

A K L

0,0304

0,031

0

Örnek Sayısı

Kusurlu Sayısı

Kusurlu Oranı

Saat

Tarih

Operatör

**Şekil 3.15.** Örnek 3.2. için p kontrol diyagramı.

b) np diyagramları : Bir örnekteki hatalı birim sayısını gösterir. n örnek büyüklüğünü, p ise hatalı birim yüzdesini gösterir. n, np diyagramındaki her örnek için aynı olmalıdır. Bu şema için  $\pm 3 \sigma$  kontrol limitleri :

$$\text{Merkez çizgisi : } n\bar{p} \quad (3.21.)$$

$$\text{AKL} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (3.22.)$$

$$\text{ÜKL} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (3.23.)$$

p ve np diyagramlarının çiziminde takip edilecek adımlar şu şekilde özetlenebilir :

**Adım 1 :** Kontrol diyagramları için ön çalışma ve karar verme.

- Uygulanacak kontrol diyagramı için amacın tesbit edilmesi.
- Kontrol edilecek kalite karakteristiklerinin ve kontrol noktalarının seçimi.
- Alt örnek gruplarını seçimi ile ilgili kararların verilmesi.
- Kullanılacak diyagramın kararlaştırılması (n veya np)
- Kontrol limitlerinin hesaplanmasına ilişkin kararın verilmesi.
- Verilerin kaydı için kullanılacak formun ve çizilecek diyagramın dizaynı.

**Adım 2 :** Kontrol diyagramını uygulama.

- Verilerin kaydedilmesi.
- Örnek alt gruplarının kontrol istatistiklerinin (p) hesaplanması.
- Kontrol istatistiğinin ortalama değerinin hesaplanması (p).
- Kontrol limitlerinin hesaplanması.
- Noktaların (verilerin) ve kontrol limitlerinin diyagram üzerine yerleştirilmesi.

**Adım 3 :** Uygulamanın sürdürülmesi.

- Kontrol istatistikleri için standart bir değerin seçilmesi ( $p_0$ ).

- Kontrol limitlerinin hesaplanması.
- Limitlerin ve noktaların diyagram üzerine işlenmesi.
- Proseste kontrol dışı durumun varlığının araştırılması.
- Standart ( $p_0$ ) değerinin periyodik olarak gözden geçirilmesi ve revize edilmesi.

**Adım 4 :** Kontrol diyagramları esas alınarak yapılacak uygulamalar ve raporlamalar.

- Prosesi tatmin edici bir kalite düzeyine getirmeye yönelik uygulamalar.
- Prosesin kapasitesine bağlı olan ürün spesifikasyonlarını gözden geçirmek.
- Kalite seviyesi ile ilgili olarak üst yönetime raporlar sunmak.

### ÖRNEK 3.3.

np diyagramı için örnek

Otomotiv yan sanayii olan bir fabrikada belirli uzunlukta kesilmiş kabloların ucuna soket takılarak yapılan gruptama işleminden oluşan bir üretim prosesi için her gün 100 adetten oluşan örnek grupları alınmaktadır. Tablo 3.7.'deki veriler proseste 20 gün süreyle üretilen ürünlerden alınan 100'er adetlik örnek gruplarındaki kusurlu sayılarını vermektedir. Bu verileri kullanarak np diyagramının çizimi ve yorumu aşağıdaki gibidir.

$$\bar{p} = 87/2000 = 0.0435$$

$$n\bar{p} = 100 \cdot 0.0435 = 4.35$$

$$\sigma_{np} = 2.0398$$

$$M\check{C} = n\bar{p} = 4.35$$

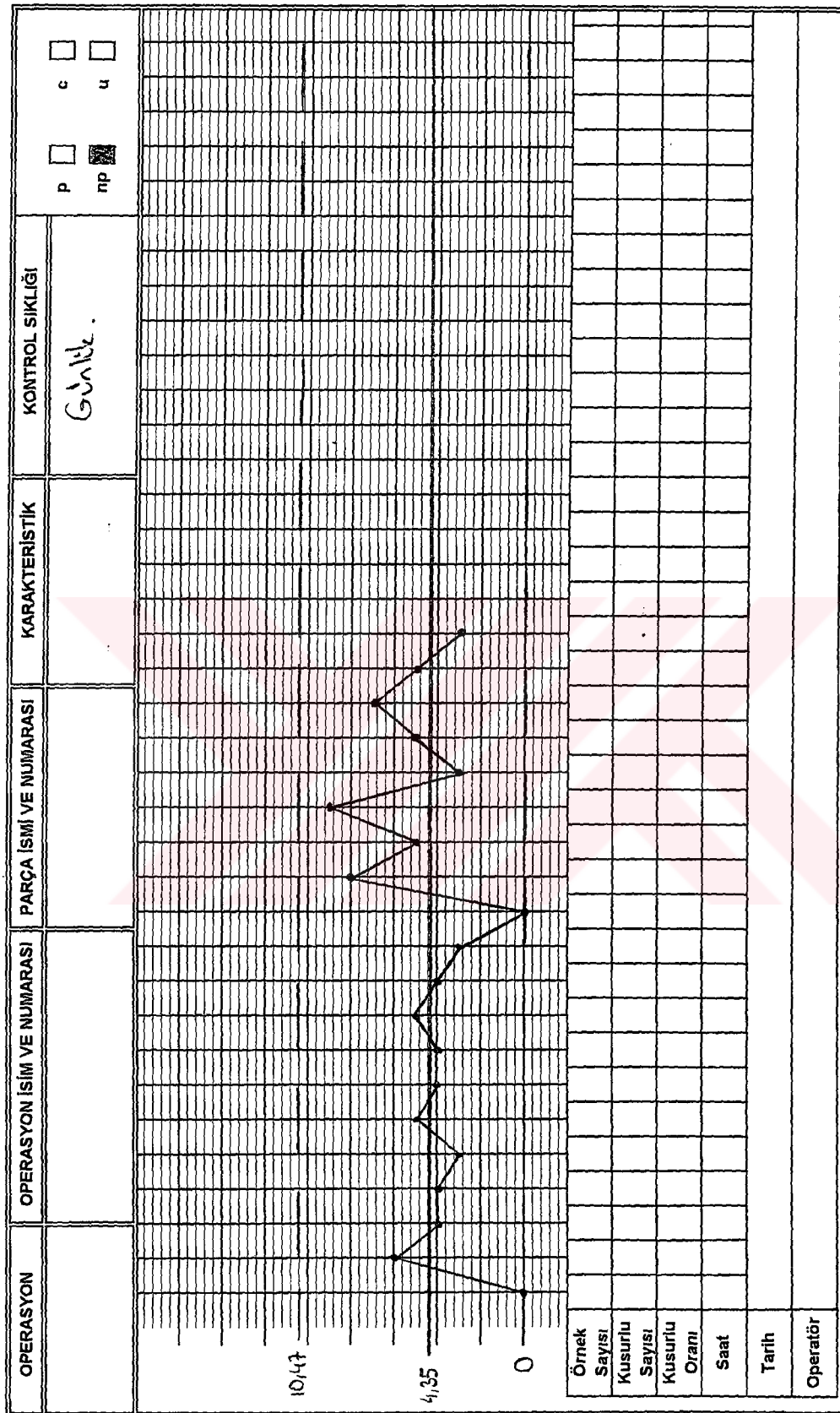
$$\check{U}KL = n\bar{p} + 3\sigma_{np} = 10.47$$

$$AKL = n\bar{p} - 3\sigma_{np} = -1.77 \text{ olduğu için } 0 \text{ 'dır.}$$

Şekil 3.16.'dan da görülebileceği gibi ortalama kusur sayısını gösteren tüm örnek grupları kontrol limitlerinin içindedir. Bu durumda proseste herhangi bir kalite sorunu (şimdilik) yoktur.

**Tablo 3.7.** np diyagramı için toplanan veriler.

| <b>Numune Tarihi</b> | <b>Örnek Hacmi (<math>n_j</math>)</b> | <b>Kusurlu Parça Sayısı</b> |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 01/03                | 100                                   | 0                           |
| 02/03                | 100                                   | 6                           |
| 03/03                | 100                                   | 4                           |
| 04/03                | 100                                   | 4                           |
| 05/03                | 100                                   | 3                           |
| 06/03                | 100                                   | 5                           |
| 07/03                | 100                                   | 4                           |
| 08/03                | 100                                   | 4                           |
| 09/03                | 100                                   | 5                           |
| 10/03                | 100                                   | 4                           |
| 11/03                | 100                                   | 3                           |
| 12/03                | 100                                   | 0                           |
| 13/03                | 100                                   | 8                           |
| 14/03                | 100                                   | 5                           |
| 15/03                | 100                                   | 9                           |
| 16/03                | 100                                   | 3                           |
| 17/03                | 100                                   | 5                           |
| 18/03                | 100                                   | 7                           |
| 19/03                | 100                                   | 5                           |
| 20/03                | 100                                   | 3                           |
| <b>Toplam :</b>      | 2000                                  | 87                          |



**Şekil 3.16.** Örnek 3.3. için np kontrol diyagramı.

c) c diyagramları : Bir örnekteki ortalama hata sayısını gösterir. Bu diyagramlar için örnek büyüklüğü sabit olduğundan, kontrol limitleri de sabit olacaktır.  $\pm 3 \sigma$  için kontrol limitleri :

$$\bar{c} = \frac{\sum_{j=1}^m c_j}{m} \quad (3.24.)$$

$$\text{Merkez çizgisi : } \bar{c} \quad (3.25.)$$

$$\text{AKL} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.26.)$$

$$\text{ÜKL} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.27.)$$

Burada;

$\bar{c}$  : yığındaki birim başına ortalama hata sayısı.

$c_j$  : gözlenen j'ci birimdeki hata sayısı.

$\bar{c}$  : Bir örnek grubundan hesaplanan, birim başına düşen ortalama hata.

### ÖRNEK 3.4.

Otobüs üreten bir fabrikada, karoser imalat ve montajı prosesinin kontrolü sonucunda otobüs dış kaplaması üzerinde düz olmayan bölgelerin sayısı 40 otobüs için Tablo 3.8'de gösterilmektedir. Bu tablonun yardımı ile üretilen otobüslerin dış kaplama hata adedi için çizilecek c diyagramı formül 3.24, 3.25, 3.26 ve 3.27 kullanılarak oluşturulabilir.

**Tablo 3.8.** c diyagramı için alınmış veriler.

| Otobüs No       | Yüzey Pürüz Sayısı | Otobüs No | Yüzey Pürüz Sayısı |
|-----------------|--------------------|-----------|--------------------|
| 1               | 1                  | 21        | 4                  |
| 2               | 0                  | 22        | 2                  |
| 3               | 2                  | 23        | 3                  |
| 4               | 3                  | 24        | 2                  |
| 5               | 4                  | 25        | 0                  |
| 6               | 5                  | 26        | 0                  |
| 7               | 3                  | 27        | 2                  |
| 8               | 2                  | 28        | 2                  |
| 9               | 0                  | 29        | 0                  |
| 10              | 0                  | 30        | 4                  |
| 11              | 2                  | 31        | 2                  |
| 12              | 4                  | 32        | 3                  |
| 13              | 4                  | 33        | 0                  |
| 14              | 3                  | 34        | 0                  |
| 15              | 1                  | 35        | 1                  |
| 16              | 4                  | 36        | 2                  |
| 17              | 3                  | 37        | 1                  |
| 18              | 2                  | 38        | 1                  |
| 19              | 3                  | 39        | 3                  |
| 20              | 4                  | 40        | 2                  |
| <b>Toplam :</b> | 50                 |           | 34                 |

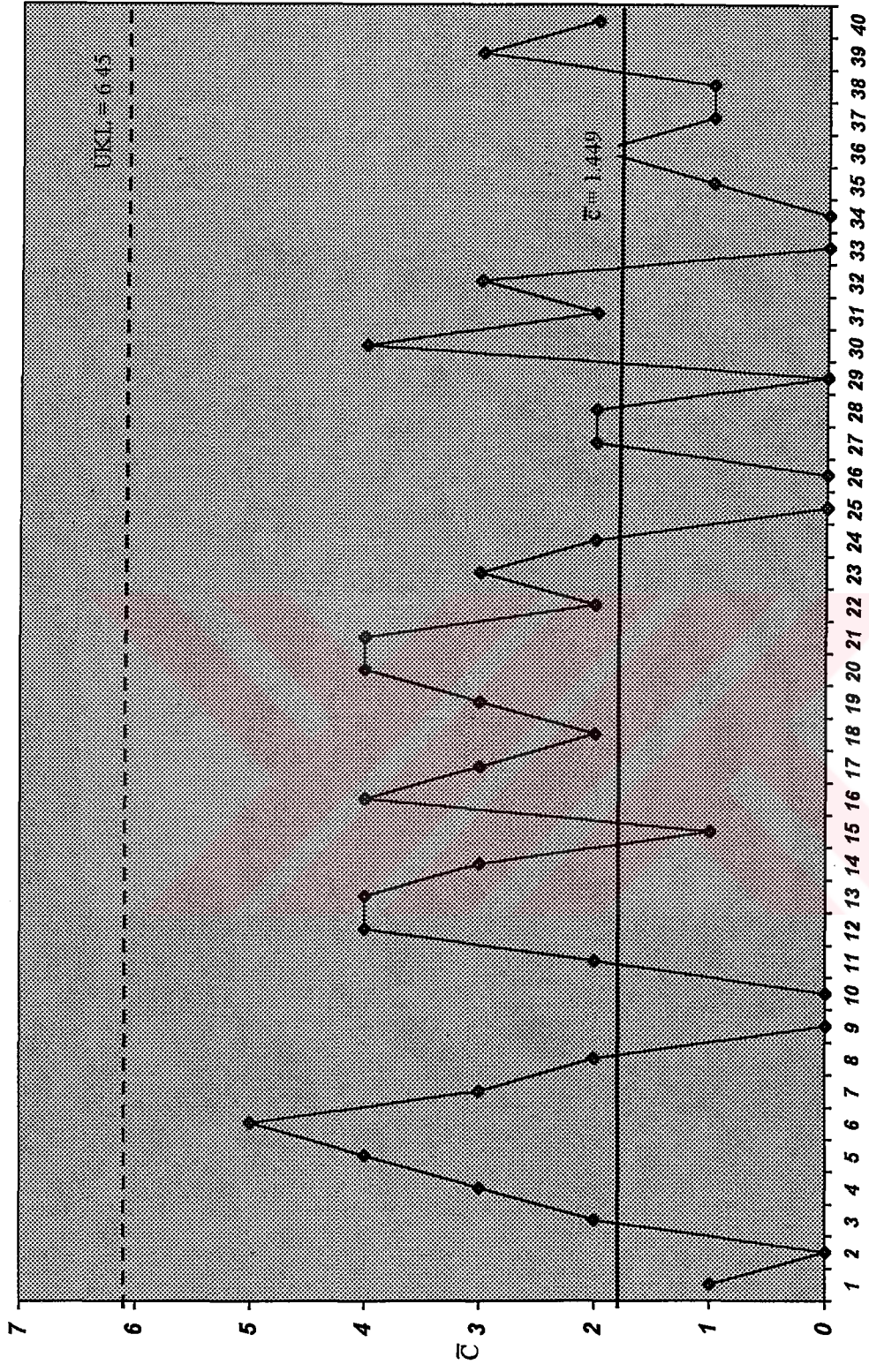
Sonuçlar;

$$M\check{C} = \bar{c} = 84/40 = 2.1$$

$$\check{U}KL = 2.1 + (3 * 1.449) = 6.45$$

$$AKL = 2.1 - (3 * 1.449) = -2.25 \text{ olduğu için } 0 \text{ 'dır.}$$

Limitler ve veriler şemaya çizilir görüldüğü gibi bütün noktalar limitlerin arasındadır. Bu da kalite açısından herhangi bir sorunun olmadığını gösterir. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17. c kontrol diyagramı.

d)  $\bar{u}$  diyagramları : Bir örnekteki ortalama hata sayısını gösterir. Örnek büyüklüğü sabit olmayabilir. Sabit değilse kontrol limitleri değişir ve her işaretlenen nokta için yeniden hesaplanmalıdır.  $\pm 3 \sigma$  için kontrol limitleri :

$$\bar{u} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{u}_j}{\sum_{j=1}^m n_j} \quad (3.28.)$$

$$\bar{u}_j = \frac{u_j}{n_j} \quad (3.29.)$$

Merkez çizgi :  $\bar{u}$  (3.30.)

$$AKL = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_j}} \quad (3.31.)$$

$$\bar{U}KL = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_j}} \quad (3.32.)$$

Burada;

$u$  : yığındaki birim başına ortalama hata sayısı.

$u_j$  : gözlenen  $j$ 'ci birimdeki hata sayısı.

$\bar{u}$  : Bir örnek grubundan hesaplanan, birim başına düşen ortalama hata.

### ÖRNEK 3.5.

Duvara asılan (farklı büyüklükteki) not panoları üreten bir firmada üretilen panoların boyutları, bu panolardaki kusur sayısı, parça başına kusur sayısı, kontrol diyagramının çizimi için gerekli bilgiler Tablo 3.9.'da görülmektedir.

**Tablo 3.9.** u kontrol diyagramı için veriler.

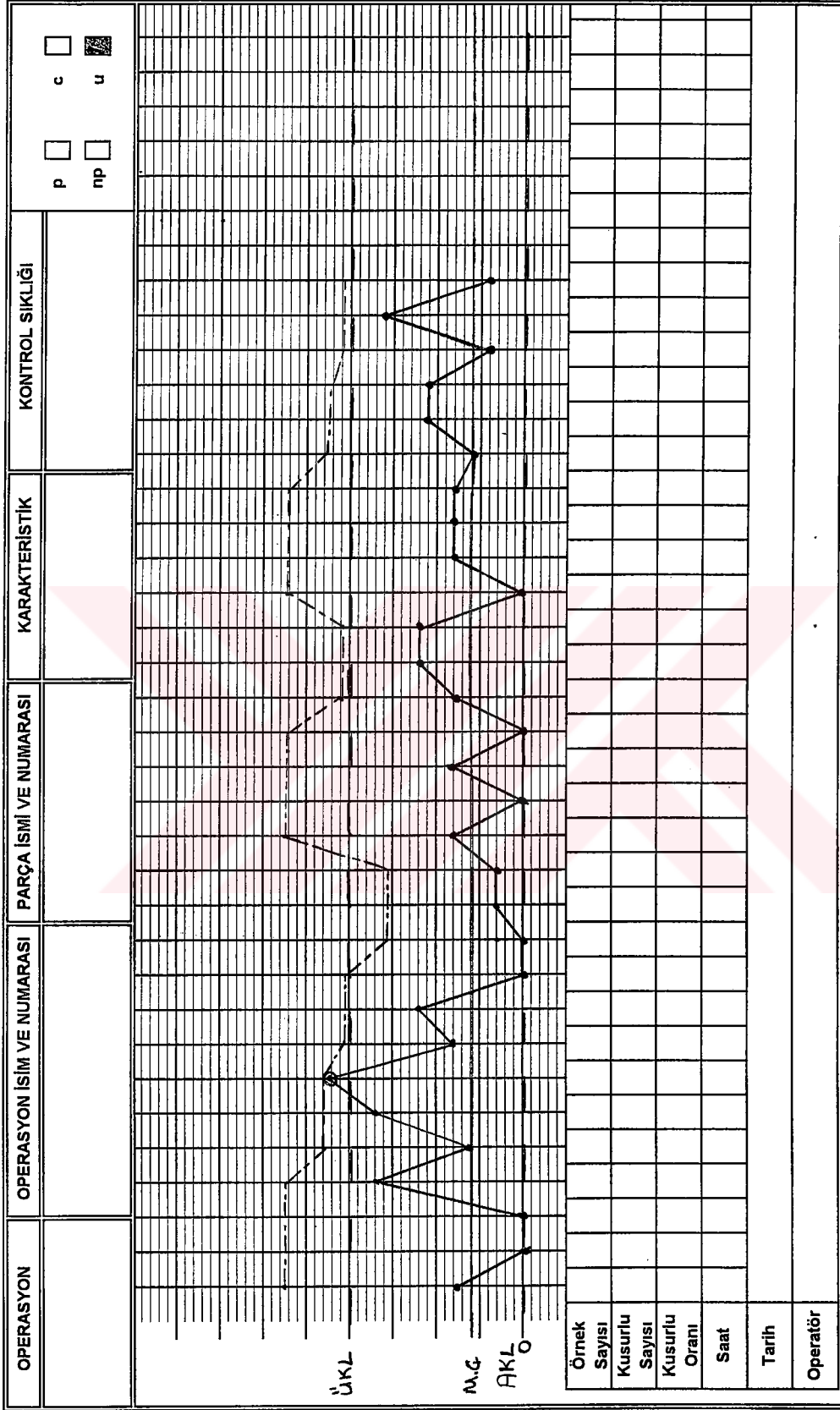
| Ürün No         | Ürün Boyutu (cm <sup>2</sup> ) | Hata Sayısı ( c ) | Parça Başına Hata Sayısı (u) | 1/√n   | ÜKL    | AKL |
|-----------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------|--------|--------|-----|
| 1               | 120                            | 1                 | 0.008                        | 0.0913 | 0.0275 | -   |
| 2               | 120                            | 0                 | 0.000                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 3               | 120                            | 0                 | 0.000                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 4               | 120                            | 2                 | 0.017                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 5               | 180                            | 1                 | 0.006                        | 0.0745 | 0.0236 | -   |
| 6               | 180                            | 3                 | 0.017                        | 0.0745 | 0.0236 |     |
| 7               | 180                            | 4                 | 0.022                        | 0.0745 | 0.0236 |     |
| 8               | 250                            | 2                 | 0.008                        | 0.0632 | 0.0209 | -   |
| 9               | 250                            | 3                 | 0.012                        | 0.0632 | 0.0209 |     |
| 10              | 250                            | 0                 | 0.000                        | 0.0632 | 0.0209 |     |
| 11              | 640                            | 0                 | 0.000                        | 0.0395 | 0.0154 | -   |
| 12              | 640                            | 2                 | 0.003                        | 0.0395 | 0.0154 |     |
| 13              | 640                            | 2                 | 0.003                        | 0.0395 | 0.0154 |     |
| 14              | 120                            | 1                 | 0.008                        | 0.0913 | 0.0275 | -   |
| 15              | 120                            | 0                 | 0.000                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 16              | 120                            | 1                 | 0.008                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 17              | 120                            | 0                 | 0.000                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 18              | 250                            | 2                 | 0.008                        | 0.0632 | 0.0209 | -   |
| 19              | 250                            | 3                 | 0.012                        | 0.0632 | 0.0209 |     |
| 20              | 250                            | 3                 | 0.012                        | 0.0632 | 0.0209 |     |
| 21              | 120                            | 0                 | 0.000                        | 0.0913 | 0.0275 | -   |
| 22              | 120                            | 1                 | 0.008                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 23              | 120                            | 1                 | 0.008                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 24              | 120                            | 1                 | 0.008                        | 0.0913 | 0.0275 |     |
| 25              | 180                            | 1                 | 0.006                        | 0.0745 | 0.0236 | -   |
| 26              | 180                            | 2                 | 0.011                        | 0.0745 | 0.0236 |     |
| 27              | 180                            | 2                 | 0.011                        | 0.0745 | 0.0236 |     |
| 28              | 250                            | 1                 | 0.004                        | 0.0632 | 0.0209 | -   |
| 29              | 250                            | 4                 | 0.016                        | 0.0632 | 0.0209 |     |
| 30              | 250                            | 1                 | 0.004                        | 0.0632 | 0.0209 |     |
| <b>Toplam :</b> | 4920                           | 26                |                              |        |        |     |

Sonuçlar :

$$\bar{u} = 26/4920 = 0.00610$$

$$\bar{n} = 4920/30 = 164$$

Buradan kontrol limitleri:



Şekil 3.18. Örnek 3.5. için u kontrol diyagramı.

$$M\check{C} = 0.0061$$

$$\check{U}KL = 0.0061 + (3 * 0.0061) = 0.02$$

$$AKL = 0.0061 - (3 * 0.0061) = -0.01 \text{ olduğundan } 0 \text{ 'dır.}$$

Ayrıca her farklı örnek alt grup hacimleri için de kontrol limitleri hesaplanmış ve Tablo 3.9.'da gösterilmiştir. Çizilen diyagram incelendiğinde 7 nolu ürün grubu limitlerin dışındadır. Ancak tam olarak yapılan kontrol limitleri hesabında bu nokta, bu değere karşı gelen kontrol limitlerinin içindedir. Bu durum, proses 7 nolu nokta için gerekli tedbirler alınmak suretiyle kontrol altında tutulmuştur şeklinde yorumlanabilir.

### 3.4. DİYAGRAMLARIN YORUMU İÇİN KULLANILAN KONTROL KURALLARI

Kontrol diyagramlarını yorumlarken; prosesin kontrol dışında olduğunu gösteren bir takım ip uçlarını, başarılı ve dikkatli bir şekilde tesbit ve yorumlamaya bağlıdır. Pratikte kontrol diyagramlarını yorumlamak için bir takım genel kurallar geliştirilebilir. Kontrol kuralları genellikle,  $3\sigma$  kontrol diyagramı alanlara bölündükten sonra uygulanır. Bu alanlar A, B, ve C olmak üzere üç temel alandır. A alanı; Merkez çizgisinden  $\pm 1\sigma$  kadar olan alandır. B alanı; Merkez çizgisinden  $\pm 2\sigma$  kadar olan alandır. C alanı; Merkez çizgisinden  $\pm 3\sigma$  kadar olan alandır. Şekil 3.19.'de  $\bar{X}$  diyagramı için bu alanların olasılık değerleri görülebilir. Bu olasılık değerleri  $R$ ,  $R_M$ ,  $S$ ,  $p$ ,  $np$ ,  $c$  ve  $u$  kontrol diyagramları için farklı olacaktır. CuSum diyagramının dışında diğer kontrol diyagramları için kullanılan kontrol kuralları  $\bar{X}$  diyagramları için kullanılan kurallar ile benzerdirler. Bunların arasında en çok uygulananlardan biri de AT&T ve Motorola tarafından geliştirilen kurallardır. Bu kurallar pragmatik kurallar olup (birinci kuralın dışında) mevcut duruma göre farklı kurallar ile değiştirilmeleri, veya birtakım kuralların daha ilave edilmesi mümkündür.

Herhangi bir kontrol diyagramı aşağıdaki durumlardan birini gösteriyor ise proses kontrol dışına çıkmıştır :

- 1) Kontrol limitlerinin dışına düşen bir nokta (genellikle 3-sigma).
- 2) Birbirini izleyen üç noktadan,  $\pm 2$ -sigma alanının birinin dışına iki adedinin düşmesi.

|     |        |                      |             |
|-----|--------|----------------------|-------------|
| ÜKL | Alan C | P (Alan C) = 2.14 %  | MÇ+3 sigma  |
|     | Alan B | P (Alan B) = 13.6 %  | MÇ +2 sigma |
|     | Alan A | P (Alan A) = 34.13 % | MÇ +1 sigma |
| MÇ  | Alan A | P (Alan A) = 34.13 % | MÇ +1 sigma |
|     | Alan B | P (Alan B) = 13.6 %  | MÇ +2 sigma |
|     | Alan C | P (Alan C) = 2.14 %  | MÇ +3 sigma |
| AKL | Alan C | P (Alan C) = 2.14 %  | MÇ +3 sigma |
|     | Alan B | P (Alan B) = 13.6 %  | MÇ +2 sigma |
|     | Alan A | P (Alan A) = 34.13 % | MÇ +1 sigma |

**Şekil 3.19.** 3-sigma limitleri için  $\bar{X}$  diyagramının alanları ve normal dağılım esas alınmış olasılıkları.

- 3) Birbirini izleyen beş noktadan,  $\pm 1$ -sigma alanının birinin dışına dört adedinin düşmesi.
- 4) Ardışık yedi noktanın;
  - Merkez çizgisinin üzerinde,
  - Merkez çizgisinin altında,
  - Devam eden bir yükseliş trendinde,
  - Devam eden bir düşüş trendinde olması.
- 5) Birbirini izleyen on noktadan,  $\pm 1$ -sigma alanının içine (her iki A alanı dahil) dokuz adedinin düşmesi.

Bu kontrol kuralları istatistiksel hata riski gözönünde tutularak kullanılmalıdır.

### 3.5. PROSES GEÇMİŞ BİLGİLERİNİN KAYDI

Proseste denge; mevcut şartlar altında ulaşılmaya çalışılan durumdur. Eğer bir proseste denge kurulabilmiş ise prosesin performansı olabilecek en iyi seviyededir. Daha ileri düzeyde gelişmeler (Hedefe yaklaşabilmek veya varyansın küçültülmesi gibi) proseste küçük düzeltmeler ile değil değişiklikler ile mümkün olacaktır. Bu da prosesin girdilerinin, prosesin veya her ikisinin de değiştirilmesi ihtiyacını doğurabilir.

Proses ile ilgili geçmişte yaşadığımız tecrübelerden birşeyler öğrenebilmek ancak bu tecrübelerin dökümanate edilmesi ile mümkündür. Dökümantasyonda şu iki temel hususun olmasına dikkat edilmelidir;

- 1) Proseste her sorun (nedenleri ve etkileri), çözümü ve sonuçları.

## 2) Tecrübelerin sınıflandırılması ve önem derecelerine göre sıralanması.

Dökümantasyonda başarılar olduğu kadar başarısızlıkların da olması aynı hataların tekrar edilmemesi açısından önemlidir. Dökümanite edilen bilgilerin değerlendirilmesinde Pareto analizi ve diyagramlarından yararlanılabilir. Böylece (proseste) geçmişte en çok karşılaşılan sorunların ve bunların kaynaklarının tesbiti mümkün olmaktadır. Bu da bize çabaların, bu sorunların ortadan kaldırılması için bunların üzerine yoğunlaştırılması imkanını verir. Dökümantasyon için pek çok farklı formatta belge hazırlanabilir. Basit bir örnek olarak Şekil 3.20.'deki gibi bir format hazırlanabilir.

| Talaşlı | İmalat | Küçük mil işleme holü              | Proses tarihçesi                 |                                |                               |                                                                             |
|---------|--------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Tarih   | Zaman  | Düzeltilici hareket nedeni.        | Özel neden                       | Uygulanan düzeltici faaliyet   | Sonuç                         | Öğrenilen sonuç                                                             |
| 10/8    | 13:15  | Mil yüzeyinde pürüz                | Takım aşınması                   | Aşınan takımın değiştirilmesi. | Mil yüzeyinde istenen kalite. | Yok.                                                                        |
| 20/8    | 10:50  | Mil rulman çapı ölçüsünde sapmalar | Tezgah ayarının yanlış yapılması | Ayarın düzeltilmesi            | İstenen ölçünün sağlanması    | Yok.                                                                        |
| 01/9    | 8:45   | Mil yüzeyinde pürüz.               | Takım aşınması                   | Aşınan takımın değiştirilmesi  | Mil yüzeyinde istenen kalite  | Takım ömrü ile ilgili bir çalışma yapılarak periyodik değişimin sağlanması. |
| ....    | ....   | ....                               | ...                              | ...                            | ...                           | ...                                                                         |

Şekil 3.20. Proses tarihçesinin dökümantasyonu.

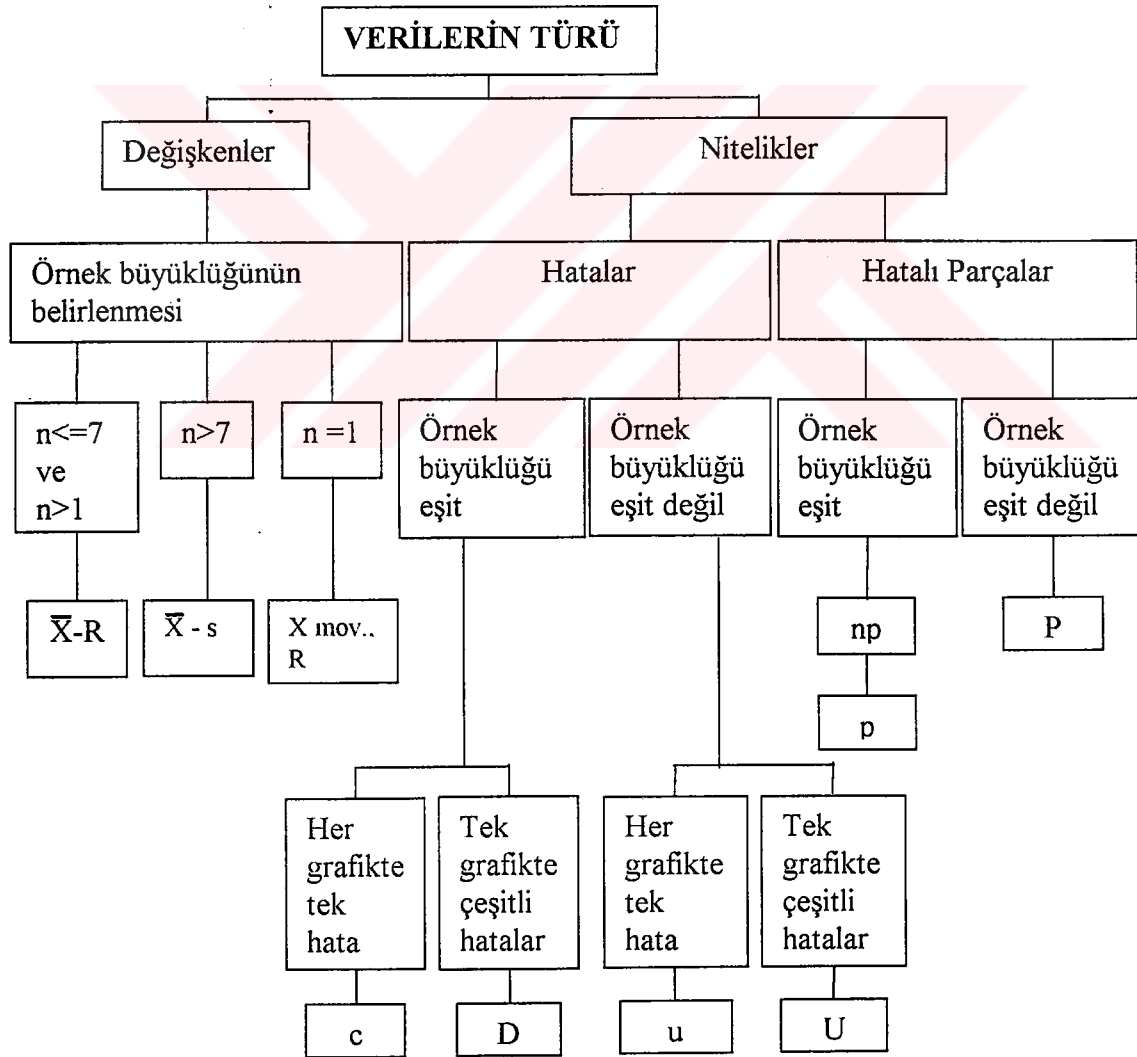
### 3.6. HEDEF BAZLI KONTROL DİYAGRAMLARI

Proses kontrol diyagramları parametreleri (ÜKL'leri,AKL'leri ve Merkez Çizgiler), çoğunlukla gerçek proses verileri olan geçmiş veriler ile hesaplanır. Gerçek değerlerin kullanılmasında amaç prosesin gerçek durumunun yansıtılmasıdır. Bununla birlikte parametrelerin hesaplanmasında gerçek veriler yerine  $p_0$ ,  $c_0$ ,  $\bar{X}_0$  ve  $\sigma_0$  gibi hedef değerler de kullanılabilir. Burada amaç, prosesin hangi durumda olması gerektiğinin yansıtılmasıdır. Hedef değerler kullanılırken çok dikkatli olmak gerekir. Örneğin; prosesin gerçek verilerinin hedef değerlerine çok yakın olmadığı sürece

diyagramların dengeyi göstermesi beklenemez. Eğer bizim proses hedefimiz  $p_0 = 0.01$  iken prosesin değerleri  $p = 0.10$  ise bu durumda kesin bir yanlış uygulama vardır. Büyük bir proses geliştirmesi yapılmadıkça bu hedef değerlere ulaşılması imkansızdır.

Parametrelerin hesaplanmasında hedef değerler kullanılırken diyagramlar için verilmiş formüllerde prosteden elde edilen istatistik değerlerin yerine hedef değerler  $p_0$ ,  $c_0$ ,  $\bar{X}_0$  ve  $\sigma_0$  konularak hesaplamalar yapılır. Hedef bazlı proses kontrol diyagramları, kalite geliştirme ekiplerini üretim sisteminin geliştirilmesi için motive edebilir. Yada tam tersine engelleyebilir. Bu yüzden kullanımına karar vermeden önce ayrıntılı bir şekilde düşünölmelidir.

Buraya kadar anlatılan kontrol diyagramlarının seçimi ve bu seçim için göz önüne alınması gereken kriterleri aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.



Şekil 3.21. Verilerin türüne göre kontrol diyagramları.

## BÖLÜM 4

### İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜN UYGULAMA AŞAMALARI

İstatistiksel Proses Kontrolü çalışmaları iki ana gruba ayrılabilir. Detaylı olarak aşağıda anlatılacak olan bu aşamalar Tablo 4.1.'de özet bir şekilde anlatılabilir.

Tabloda görülen aşamaları daha detaylandırarak aşağıdaki gibi bir uygulama planı oluşturulabilir. Uygulanmasına karar verilen bir istatistiksel proses kontrol çalışması, şu altı temel adıma ayrılabilir.

#### 4.1. PROSESİN TANIMLANMASI

İncelenecek prosesin tüm yönleri ile ele alınarak tanımlanmasıdır. Prosesin tanımlanabilmesi için, öncelikle proses hakkında bilgilerin çok detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu da, tanımlamada; prosesi en iyi tanıyan çalışanların bilgilerine başvurunun yanında, çoğunlukla prosesin belirli bir süre gözlem altına alınarak gerekli verilerin toplanması ile sağlanır. Tanımlamada; proses akış şemaları gibi araçlardan yararlanılabilir. Proses akış şeması, proste yer alan işlem veya etkinliklerin belirli sembollerin kullanılarak dökümante edilmesidir. Kullanılan bu sembollerden başlıcaları aşağıda gösterilmiştir. (AKAL, 1991)

-  İşlem : Bir girdiyi değişikliğe uğratan ve genellikle bir makine, insan veya her ikisi tarafından gerçekleştirilen operasyon.
-  Taşıma : Bir girdinin fiziksel olarak yer değiştirmesidir.
-  Geçici depolama (bekleme) : Bir girdinin bir sonraki planlanmış faaliyet için kısa süreli ve geçici olarak beklemesi.

Tablo 4.1. İstatistiksel prosos kontrolü metodolojik şema.

|             | TANIM                                              | HEDEF                                                                                        | GÖSTERGELER                                           | İŞLETİM AŞAMALARI                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.<br>AŞAMA | YETERLİLİK<br>ARAŞTIRMASI<br>- Başlangıç Amı İçin- | YETERLİLİĞİN<br>SAYISAL TAHMİNİ *<br>• Makina yeterliliği<br>• Proses yeterliliği            | Cm-Cmk<br>Cp-Cpk                                      | A) Ölçüm için ön hazırlık; ölçüm<br>B) Veri toplanması ve yorumu, dağılımın tahmini ve istatistiksel parametrelerin hesaplanması ( $\bar{X}$ ve S)<br>C) Makinaların doğal toleransının hesaplanması<br>D) Cm ve Cmk değerlerinin hesaplanması<br>E) Prosesle ilgili olarak A-D aşamalarının tekrarı. ** |
| 2.<br>AŞAMA | YETERLİLİĞİN<br>SÜRDÜRÜLMESİ<br>-Zaman İçinde-     | PROSES<br>DEĞİŞKENLİĞİNİN<br>HESAPLANMIŞ<br>SINIRLAR<br>DAHİLİNDE<br>OLMASININ<br>SAĞLANMASI | KONTROL<br>DIYAGRAMLARINDA<br>EĞİLİMLERİN<br>OKUNMASI | A) KONTROL DIYAGRAMI limitlerinin hesaplanması ***<br>B) KONTROL DIYAGRAMININ doldurulması ve aynı anda eğilimlerin yorumlanması                                                                                                                                                                         |

\* Ürün / proses parametresinin kendine özgü her bir özelliği için

\*\* Sadece makina yeterliliği kanıtlanmış ise

\*\*\* Sadece proses yeterliliği kanıtlanmış ise



Yoklama (kontrol) : Nitelik veya nicelik ile ilgili yapılan yoklamalardır.



Sürekli depolama : Bir kayıt ya da yetkiye bağlı olarak malzemenin depoya girişi ya da çıkışındaki denetimli bir depolama; ya da örnek olarak tutmak amacı ile bir nesnenin saklanması göstermektedir.

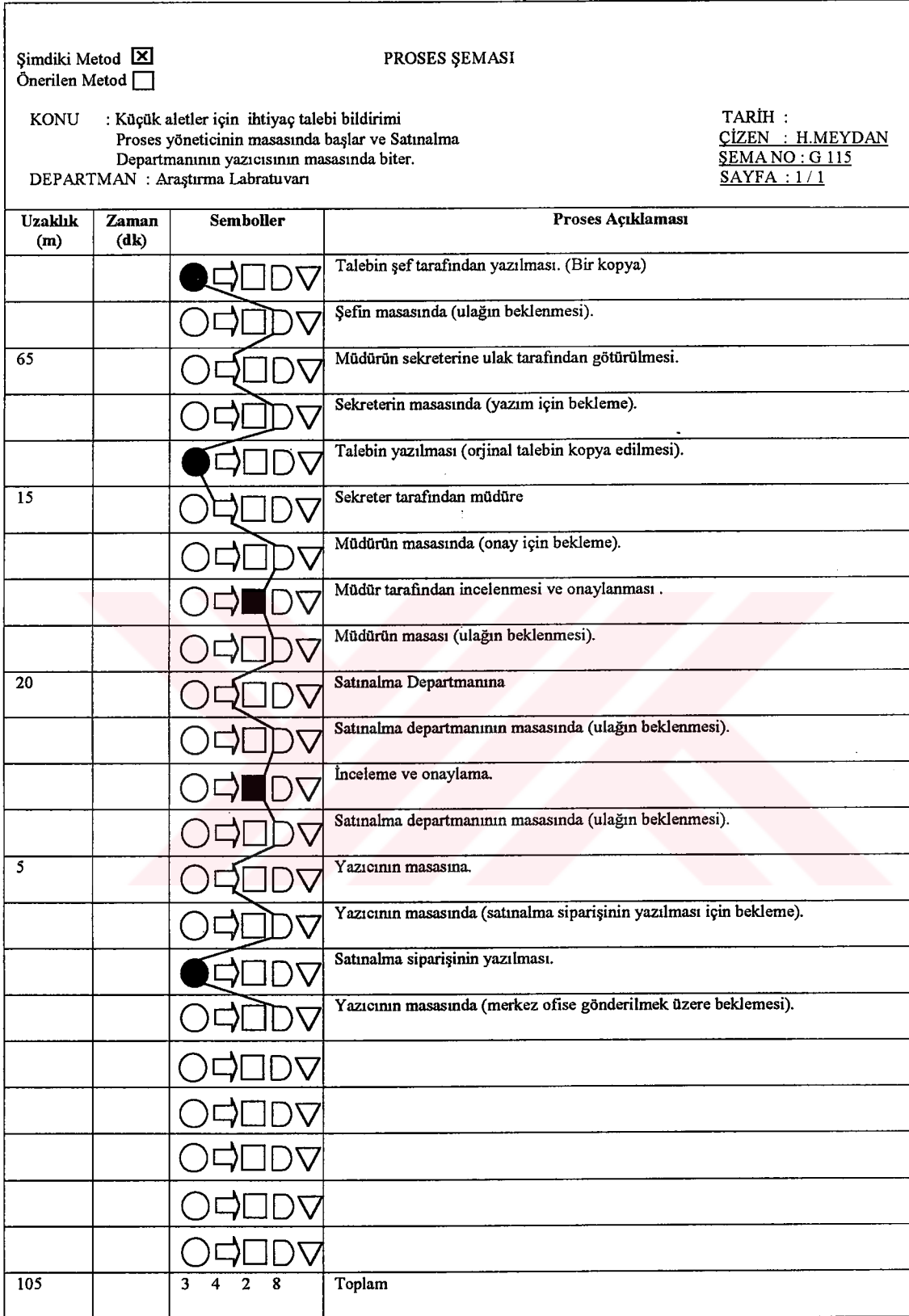


İ.P.K.noktası : Prosesin İ.P.K. diyagramları ile takip edildiği noktadır.

Bu temel semboller kullanılarak yapılmış bir proses akış şeması Şekil 4.1.'de görülebilir. Proses akış şemaları mevcut proses için oluşturulabileceği gibi proseste herhangi bir değişikliğin önerilmesi için de çizilebilir. Mevcut durumu ve önerilen durumu gösteren proses akış şemalarının karşılaştırılması ile, yapılacak değişiklikle prosesteki faaliyetlerin ne kadar azaltıldığı açık bir şekilde görülebilir.

#### 4.2. KONTROL EDİLECEK KARAKTERİSTİKLERİN BELİRLENMESİ

İstatistiksel proses kontrol karakteristiklerinin doğru seçilmesi, olayın başlangıcının doğru yapılması anlamındadır. İstatistiksel proses kontrolü konusunda doğru yaklaşım, teknik resimler üzerinde istatistiksel proses kontrol parametrelerini belirleyip, sınıflandırmaktır. Söz konusu sınıflandırma, karakteristiklere / ölçülere verilen toleranslara göre yapılır. Karakteristiklerin / ölçülerin, üç veya dört grupta toplanması gereklidir. Bu gruplar önemliden önemsiz doğru Tablo 4.2.'deki gibi sıralanabilir.



Şekil 4.1. Bir ofis prosedürü için mevcut durumu gösteren akış şeması.

**Tablo 4.2.** Karakteristiklerin önem derecelerine göre sınıflandırılması

|      | ÖNEM SINIFINA GÖRE SINIFLAMA      | SINIFLANDIRMANIN TEKNİK RESİM / DÖKÜMANLARDA GÖSTERİLİŞ ŞEKLİ | TEKNİK RESİM/DÖKÜMANLARDAN SAPMA HALİNDE OLABİLECEKLER                                                                                                                                            |
|------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| *    | Kritik olmayan ölçüler            | ⊖                                                             | Ciddi bir sorun yaşanmaz.                                                                                                                                                                         |
| **   | Önemli ölçüler                    | ⊕                                                             | Ürün performansında, sonradan düzeltilmesi gereken uygunsuzluk çıkabilir.                                                                                                                         |
| ***  | Kritik ölçüler                    | Ⓒ                                                             | Ürün performansı, güvenilirlik, toplam maliyet ve firma imajı açısından çok sakıncalı olabilecek sonuçlar ortaya çıkabilir.                                                                       |
| **** | Raporla izlenmesi gereken ölçüler | Ⓓ                                                             | Kanunlar/standartlar açısından da düzenli bir dökümantasyon sistemiyle izlenmesi gereken kritik ölçüler bu gruba girer. (Örn.: Emniyetle ilgili parçalar, insan hayatını etkileyebilecek olanlar) |

Yapılan sınıflama ve sıralama işleminden sonra, ürün için en hayati öneme haiz olan karakteristikler kontrol edilecek karakteristikler olarak alınmalıdır. Bu aşamadan sonra, bu karakteristikleri temsil eden ölçüm parametreleri (uzunluk, hacim, ivme, basınç, ağırlık vb.), en uygun ölçü birimi ve buna ait bir ölçek tesbit edilmelidir.

#### 4.3. ÖLÇÜ ALETLERİNİN SEÇİMİ, TEST ve KALİBRASYONU

Kontrol edilecek bu karakteristikleri toplamada, hangi ölçme aletlerinin ve yöntemlerinin kullanılacağına tesbit edilmesi gerekmektedir. Kullanımına karar verilen ölçü aletlerinin doğru değerleri yansıtabilmesi için kontrol ve gerekiyorsa kalibrasyonunun yapılması da gereklidir. Ölçme aletlerinin seçiminde; hassasiyet, kesinlik, kapasite ve yanıt verme süresi kriterlerine dikkat edilmelidir. Burada önemli olan, tesbit seçilecek ölçme aletinin bu kriterlerinin, kontrol edilecek karakteristik için yeterli olmasıdır. Kriterlerin ihtiyaç duyulandan daha iyi olması, bize artı bir değer katmayacağı gibi, daha hassas alet daha yüksek maliyet getireceğinden istenilen bir durum değildir.

#### 4.4. YETERLİLİK ANALİZİ

Bu bölüm, tezgah yeterlilik analizi ve proses yeterlilik analizi olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu analizlerden önce tezgah/proses yeterlilik analizleri için kontrol dışı bir proses inceleniyorsa dikkat edilmesi gereken hususları tesbit edebilmek için aşağıdaki gibi bir liste hazırlanabilir. Listedeki soruların yanıtlarını “Evet” ya da “Hayır” olarak gruplayıp, verilen cevapların durumuna göre bir değerlendirme yapmak yararlı olacaktır.

- Kullanılan ölçü aletlerinin hassasiyetleri farklı mıdır ?
- Farklı operatörler tarafından kullanılan yöntemlerde farklılıklar var mıdır ?
- Proses çevre koşullarından etkilenmekte midir ? (Örn.; ısı, nem oranı vs.)
- Çevre koşullarında önemli bir değişiklik olmuş mudur ? (dışardaki yol trafiği; civardaki tezgahlar; titreşim yaratacak nedenler vb.)
- Proses alet aşınmasından etkilenmekte midir ?
- Prosese herhangi bir eğitimsiz işçinin katılımı olmuş mudur ?
- Hammadde kaynağında bir değişiklik olmuş mudur ?
- Proses, operatörün iş yoğunluğundan etkilenmekte midir ?
- Bakım prosedürlerinde herhangi bir değişiklik olmuş mudur ? (farklı soğutma ısısı; farklı yağ; değişken periyodik bakım frekansları vb.)
- Tezgah sık sık ayarlanmakta mıdır ?
- Seçilen örnekler farklı tezgahlardan, farklı vardiyalardan, farklı operatörlerden mi gelmektedir ?
- Operatörler “Kötü haberleri” rapor etmekten korkmakta mıdır ? (TSE İPK NOTLARI)

Yapılan bu ön hazırlık aşamasından sonra yeterlilik analizlerine geçilmesi çok daha verimli olacaktır.

##### 4.4.1. TEZGAH YETERLİLİK ANALİZİ

Kısa zaman süreci içinde küçük sayıda numune verileri ile operasyon potansiyelini belirlemek için kullanılır. Bu indeks özel nedenleri göstermez. Kısa zaman süreci içerisinde yapılan bu tür çalışmalar sadece tezgahın kendisinden gelen

değişimleri tahmini olarak belirlemede kullanılır. Zaman içerisinde diğer operasyonlardan gelen etkileri yansıtmaz. Tezgah yeterliliğinde amaç  $\pm 4\sigma$ 'nin spesifikasyon limitleri içinde kalmasıdır.

Yeterlilik çalışmalarının başlıca kullanım alanları;

- Bir prosesin kapsamlı incelenmesi aşamasında,
- Yeni bir proses veya tezgahın performansının incelenmesi çalışmalarında ve buna benzer diğer çalışmalarda uygulanabilir.

Tezgah yeterliliğinin belirlenmesinde  $C_m$  ve  $C_{mk}$  olarak isimlendirilen tezgah yetenek indekslerinden yararlanılır. Yeterlilik analizinde güvenilir bir sonuç elde edebilmek için en az 50 adet veri toplamak gereklidir.

$C_m$  : Tezgahın spesifikasyon limitleri içerisinde  $\pm 4\sigma$  ile parça işleyebilme kapasitesine sahip olup olmadığını irdeler. Formülasyonu :

$$C_m = \frac{\text{Belirlenen Toplam Tolerans}}{\text{Doğal Tolerans}} \quad C_m = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{6\hat{\sigma}} \quad (4.1.)$$

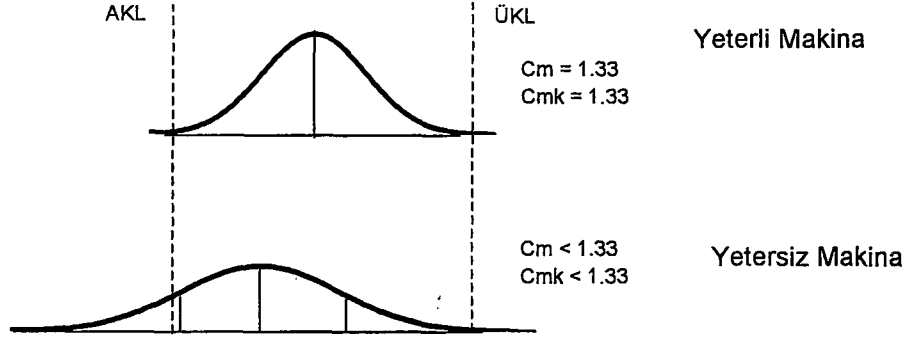
$C_{mk}$  : Özellikle tezgahın nominal değerden ne kadar saptığını irdeler. Elde edilen ortalama ile spesifikasyon limitlerini karşılaştırır. Formülasyonu :

$$C_{mk-\text{üst}} = \frac{\text{Belirlenen üst limit} - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \quad (4.2.)$$

$$C_{mk-\text{alt}} = \frac{\bar{X} - \text{Belirlenen alt limit}}{3\hat{\sigma}} \quad (4.3.)$$

$C_{mk}$ ,  $C_{mk-\text{üst}}$  ve  $C_{mk-\text{alt}}$ 'nin küçük olanıdır.

Spesifikasyon limiti  $\pm 3\sigma$  alınırsa;  $C_m$  ve  $C_{mk}$  indeksleri bire eşit çıkacaktır. Eğer spesifikasyon limiti olarak  $\pm 4\sigma$  alınırsa; bu durumda  $C_m$  ve  $C_{mk}$  indeksleri 1,33 olarak bulunur. Hesaplanan tezgah yeterlilik indekslerinin normal dağılım eğrisi üzerinde gösterilişi Şekil 4.2.'de görülebilir.



**Şekil 4.2.** Yeterli ve yetersiz tezgah.

Klasik bir tezgah yeterlilik analizi şu adımları içermelidir.

**Adım 1 : Hazırlık**

1. Geyç ve ölçme ekipmanı kalibrasyonlu ve kalibrasyon tarihi geçmiş olmamalıdır.
2. Tezgah ve aparatlar ayarlanmış, tezgah seri üretim başlangıcı onayı almış olmalıdır. (Tezgah rejimde olmalıdır.)
3. İlgili mühendisler, saha sorumluları, kontrol elemanları ve operatörler İstatistiksel Proses Kontrol ve kontrol dışı durumlarda ne yapılacağı konularında eğitilmiş olmalıdırlar.
4. Eğer bir proste birden fazla aparat kullanılmakta ise, her aparat ayrı bir proses olarak kabul edilmelidir. Birden çok aparatlı proste, tezgah yeterliliğini belirleyebilmek için sadece tek bir aparat kullanılması sağlanmalıdır.
5. Tezgah Yeterlilik Analizi Formu prosese verilir.
6. Tezgah Yeterlilik Analizi Formu operatör tarafından doldurulur. Aşağıda belirtilen durumlarda operatör, formu dolduramıyorsa Kalite Sorumlusunun belirlediği bir Kalite Enspektörü formu doldurabilir. Bu durumlar ;

- Tezgah işlem zamanı yetersizliği,
  - Özel ölçme ekipmanı kullanılması,
  - Doldurmayı engelleyen diğer haklı nedenler.
7. Tezgah Yeterlilik Analizi Formunun, başlık kısımları ve operasyon ile ilgili bilgiler doldurulur, ölçülecek karakteristik belirlenir.

**Adım 2 : Ölçme ve Kaydetme.**

1. Üretim öncesinde en az 50 adet uygun parça seçilir ve numaralandırılır.
2. Tezgahı çok iyi tanıyan ve tüm fonksiyonlarını kullanmayı bilen bir operatör seçilir.
3. Tezgahın ayarı işlenecek parçaya göre, belirlenen teknik spesifikasyonlar dikkate alınarak yapılır.
4. Tezgahın rejime girmesi beklenir ve ardışık olarak 5 parça işlenip, ölçülerek resim toleranslarında (nominal ölçüye yakın) olduğu belirlenir. Alınan ölçümler nominal ölçüde veya yakın değil ise tekrar tezgah ayarı yapılır. Ardışık 5 parça işlenip tekrar ölçülür, nominale yakın veya değişkenliğin en az olduğu belirlendiği takdirde seçilen 50 parça sırası ile işlenir. Seri imalat başlangıcı onayı almadan önce ayar için işlenen parçalar Tezgah Yeterlilik Analizi Formuna kaydedilmez.
5. Sırası ile işlenen parçalar Tezgah Yeterlilik Analizi Formuna kayıt edilir.

**Adım 3 : Tezgah Yeterliliğinin Hesaplanması**

1. Tolerans aralığı (T) hesaplanır.

$T_{\max}$  : Üst tolerans değeri.

$T_{\min}$  : Alt tolerans değeri.

$$T = T_{\max} - T_{\min}$$

2. Alınan (en az) 50 adet ölçümden aritmetik ortalama (  $\bar{X}$  ) hesaplanır.
3. Alınan (en az) 50 adet ölçümden Standart Sapma (  $\sigma$  ) hesaplanır.

4. Tezgahın doğal toleransı (TD) hesaplanır.

$$TD = k \cdot \hat{\sigma} \quad k=6 \text{ veya } 8$$

(4.4.)

5. Tezgahın yeterliliği (  $C_m$  ,  $C_{mk}$  ) hesaplanır.

**Adım 4 :** Sonucun yorumlanması.

İstatistiksel proses kontrol yapılan bir prosese ölçüm değerleri arasındaki değişimler rastlantısalıdır. Bu durum prosesin kontrol altında olduğunu belirtir. Önlenebilir hatalar belirlenmiş ve giderilmiş demektir.

Tezgah yeterlilik katsayısı (  $C_m$ ,  $C_{mk}$  ) istenen değeri 1,33'den büyük olmalıdır.

Tezgah yeterlilik çalışmasında yukarıda bahsedilen  $C_m$  ve  $C_{mk}$  indeksleri hesaplanılarak yorumlar yapılabileceği gibi, bu analizi daha kolaylıkla yapabilmek için Düz Çizgi Metodu adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Tezgah yeterliliği çalışmasında Düz Çizgi Metodunun kullanılması, aşağıdaki nedenlerden dolayı daha uygundur.

- Düz çizgi metodu normal dağılıma uyumu görsel olarak daha iyi açıklar.
- Ekstrapolasyon ve interpolasyon hesaplamalarına daha uygundur.
- Bireysel ölçümler ve diğer hataların düzeltilmesi düz çizgi metodunda daha kolaylıkla yapılabilmektedir.

Tezgah yeterlilik çalışması için geliştirilen bu yöntem aşağıdaki gibi uygulanır. Uygulamada kullanılan diyagram Şekil 4.3.'de görülebilir.

**Adım 1 :** Öncelikle yeterlilik analizi çalışmasına alınacak numune sayısının tesbit edilmesi gerekmektedir. Bu sayı genellikle 50'dir. Proses normal dağılım göstermiyorsa numune sayısı en az 50 adet, eğer mümkünse daha fazla olmalıdır.

**Adım 2 :** Kullanılan bütün malzemelerin spesifikasyon içinde olmalıdır.

**Adım 3 :** Anakütleden alınan örnekler kesintisiz ardışık olarak alınmalıdır.

**Adım 4 :** Tezgahlardan çıkan parçaları ölçmek suretiyle çetele tablosuna işaretlenmelidir.

**Adım 5 :** Proseste kullanılan ölçüm aletlerinin belirtilen toleransın 1/10'u hassasiyetinde olmalıdır.

**Adım 6 :** Spesifikasyon limitleri çizilmelidir.

**Adım 7 :** Çetele tablosu incelendiğinde prosesin dağılımı prosesin dağılımı normal dağılımı göstermiyorsa, doğru ve sağlıklı sonuç elde etmek için diğer bazı yöntemler kullanılmalıdır.

**Adım 8 :** Her ölçüm hizasına sırası ile frekans ve kümülatif frekans yazılır. Bunlara ilave olarak kümülatif frekans toplam numune sayısına bölünerek yüzde değeri hesaplanır.

**Adım 9 :** Hesaplanan bu yüzde değerleri ok (  $\rightarrow$  ) istikameti izlenerek çizelgenin sol kısmından başlayarak işaretlenir.

**Adım 10 :** Tezgah yeterlilik analizi formunun solundan başlayan ok takip edilerek dikey kümülatif frekans çizgisi ile kesiştiği yer işaretlenir. Bu işlem kümülatif frekansların tamamı için tekrarlanır. (Sadece %100'e işaret konulmaz.)

**Adım 11 :** İşaretlenen noktalar düzgün bir çizgi oluşturacak şekilde sıralanırsa, bu noktaların ortalarından geçecek olan düz çizgi çizilerek,  $\pm 4\sigma$  çizgisini kesecek tarzda sıfır (orijin) ile 100 çizgisi arasında uzatılarak devam ettirilir.

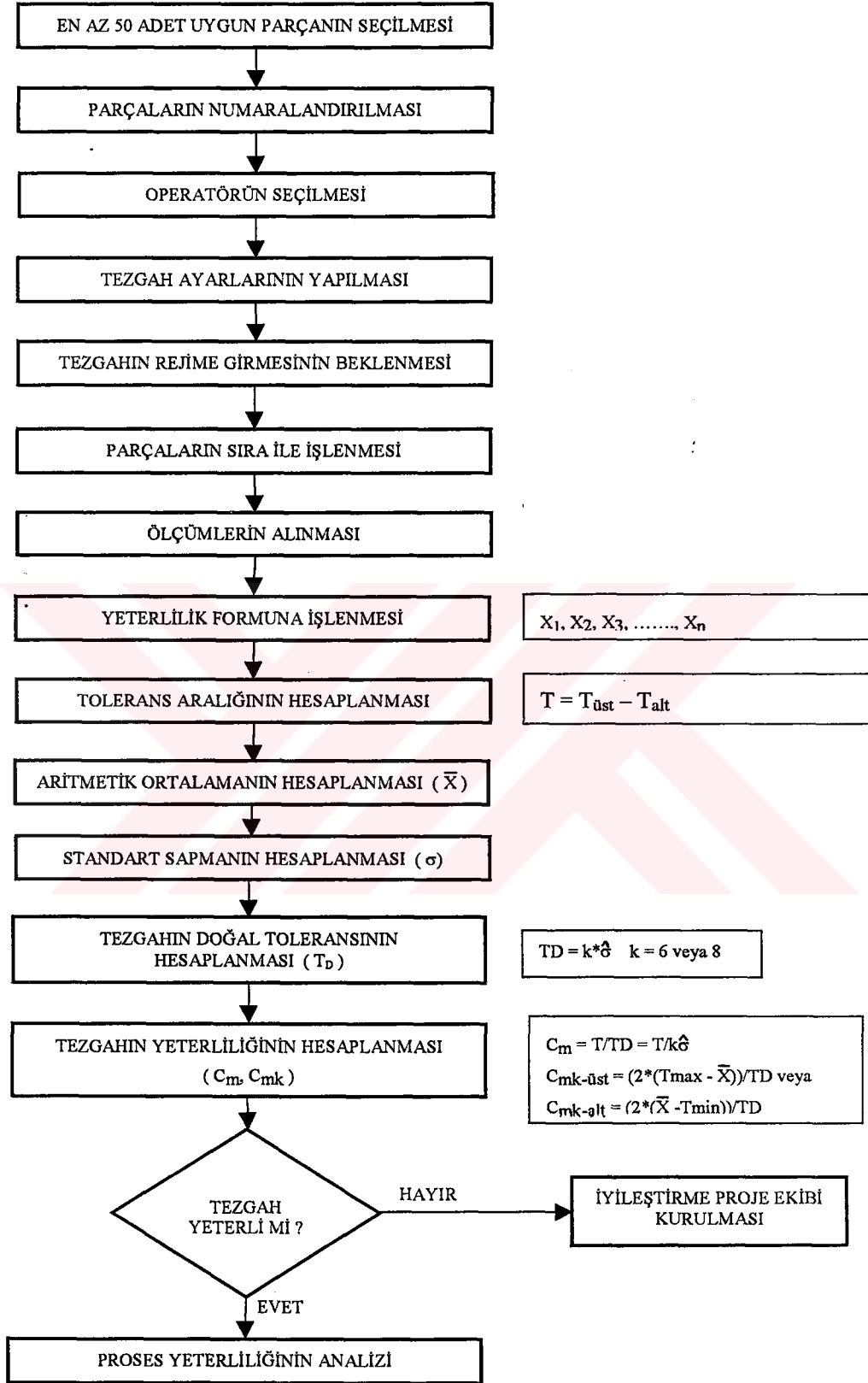
**Adım 12 :** Elde edilen çizgi eğer düz bir doğru ise, bu durumda tezgah yeterlidir denilmektedir.

(AKIN, 1996),(FORD-OTOSAN İPK EĞİTİM NOTLARI)

Tezgah yeterlilik analizi işlemi için Şekil 4.4.'deki gibi bir işlem şeması çizilebilir. Bu şemadanda görülebileceği gibi analiz sonucu tezgahın yeterli çıkması durumunda bir sonraki adım olan proses yeterliliğinin analiz edilmesine geçilmelidir.



## TEZGAH YETERLİLİK ANALİZİ İŞLEM ŞEMASI



Şekil 4.4. Tezgaah yeterlilik analiz işlem sırası.

Tezgah yeterlilik analizi sonuçlarının yorumu aşağıdaki gibi yapılabilir:

- Çizilen çan eğrisinin her iki ucu da spesifikasyon sınır çizgilerini kesmiyorsa, tezgah yeterli ve % 99.99 uygun parça üretiyor demektir.
- Çizilen çan eğrisinin bir ucu veya her iki ucu spesifikasyon sınır çizgilerini kesiyorsa tezgah yetersizdir. Bu durumun düzeltilmesi için orjinal yatay çizgiyi paralel olarak kaydırarak şekilde prosesin yayılmasını veya prosesin hem yayılmasını, hem de ortalamasının hedeflerden sapmasını kontrol altına alacak önlemler alınmalıdır.
- Tezgah yetersiz olduğunda istatistik seriye ait verilerin dağılımı ve standart sapması çok büyük demektir. Bu durum makinanın hatalı konumlanması, kompleks ve çok hassas işleme toleransları, yatak aşınması vb. gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Tezgahlarda önlemler alınarak dağılım düzeltilirse, çizilen çan eğrisinin eğiminin azaltılması suretiyle tezgah yeterliliğini artıracak şekilde  $\pm 4\sigma$  limitleri içine yerleştirilmesi mümkün olabilir.
- Yatay çizginin  $\pm 4\sigma$ 'yi kestiği noktalar arasındaki mesafenin orta noktası ortalamayı verir.
- Yatay çizginin  $\pm 4\sigma$ 'yi kestiği noktalar arasındaki mesafe tahmini  $8\sigma$  yeteneğini verir.

Genel olarak operasyonlar normal dağılım göstermesine rağmen bazı durumlarda normal dağılım göstermezler. Bu durumlar;

- Normal dağılımdan çok, standart istatistiksel modele uyan dağılımlar. Yuvarlaklık, düzlemsellik ve tek tarafı sıfır olan özellikler genelde kaçık bir durum göstermektedirler.
- Hiçbir standart modele uymayan kompleks dağılımlar.
- Bununla birlikte, takımların aşınmasından dolayı meydana gelen ortalamanın yer değiştirmesi normal olmayan dağılımlara neden olabilir.
- Birkaç operasyonun sonucu olan veya birbirine benzeyen birkaç tezgahın ürünü normal dağılmamış olabilir veya ayrı ayrı herbir tezgahın ürünleri normal dağılmayabilir.
- Bir tezgahın ürününün dağılımı normal olmamasına rağmen, değişimin özel nedenleri operasyonda mevcut olabilir. Bu sebeplerden normal

olmayan dağılım modelleri ortaya çıkabilir. Buna örnek olarak hasarlı bir takım veya parçayı yerleştirirken çapak kalması neticesi böyle bir normal olmayan dağılım modeli ortaya çıkabilir. (FORD-OTOSAN EĞİTİM NOTLARI)

Tezgahın yetersizliği durumunda buna sebep olan ana nedenler ve bu nedenlerin ortadan kaldırılması için yapılabilecekler şöyle sıralanabilir:

- ◆ Standart sapma veya değişim aralığı büyüktür. Bunun düzeltilmesi,
- ◆ Tezgahın kendi içindeki toleranslarında meydana gelen değişimler. Bu değişimlerin kontrolü ile (yatak aşınması vs. kontrolü).
- ◆ Makina veya tezgaha parçaların yanlış bağlanması. Parça bağlantılarının gözden geçirilmesi ve diğer teknik önlemlerle bu durum ortadan kaldırılabilir.
- ◆ Tezgahın yetersizliği ortalama değerin yüksek veya düşük olmasından kaynaklanabilir. Böyle bir durumda yapılması gerek işlem; tezgah ayarıyla oynayarak dağılımın ortalamasının değiştirilmesi ve  $\pm 4\sigma$  olan limit spesifikasyonları içine alınarak makina veya tezgahın ideal konuma getirilmesidir. Bu durumda doğal doğrusal çizgi orjinal konumuna paralel olarak kayarak uygun konumuna gelecektir.

#### 4.4.2. PROSES YETERLİLİK ANALİZİ

Bir prosesin üretim yeteneğini tanımlama yollarından birisi proses yeterlilik analizidir. Proses yeteneği; “bir prosesin sağlayabildiği en az kalite değişkenliği” olarak tanımlanabilir. Proses yeteneği insan, cihaz, materyal, metod ve çevre faktörlerine bağımlı olup bu faktörlerin değişiminden etkilenmektedir. Proses yeterliliği, prosesin değişkenliğinin, ürünün toleransına ne oranda uyduğunun ölçüsüdür veya başka bir tanımlama ile proses performansının tolerans limitleri ile bağlantısını irdeleyen bir karşılaştırmadır ve yetenek indeksleri ile açıklanır.

Proses yeterlilik çalışmaları genel olarak iki tiptir:

a) Başlangıç proses yeterliliği : Yeni veya düzeltilmiş bir proses hakkında ilk bilgileri elde etme amacıyla yapılan kısa süreli bir çalışmadır. Çalışma için en az 20 adet örnek alt grubu oluşturulmalıdır. Bu çalışma bize proses hakkında detaylı ve

uzun dönemli bilgi vermez. (örn.; girdi malzemelerindeki parti farklılıklarını yansıtamaz).

b) Çalışan proses yeterliliği : Proses performansının spesifikasyon limitleri ile olan bağlantısını irdeleyen uzun dönemli çalışmadır. Çalışma prosesin dağılımını etkileyen tüm genel nedenleri yansıtacak kadar uzun dönemli olmalıdır. Bu da genellikle en az 20 günlük bir üretim periyodunun, incelenmek üzere gözlem altına alınması demektir. (FORD-OTOSAN İPK EĞİTİM NOTLARI), (KOGEM İPK EĞİTİM NOTLARI)

Bir imalat prosesinin tolerans sınırları içinde kalıp kalmadığı ölçülebilir. Proses kontrol altında tutulduğunda  $6\sigma$  değeri yaygın olarak kullanılır. Bunun ölçüsü olarak  $6\sigma$  açıklığı tanımlanır ve bu “Doğal Toleranslar” olarak adlandırılır.

Proses yeterlilik analizi ile şu sorulara cevap bulunur:

- Prosesin ortalaması nedir ?
- Prosesin standart sapması nedir ?
- Prosesin ortalaması zamanla nasıl değişmektedir ?
- Prosesin standart sapması zamanla nasıl değişmektedir ?

Proses yeteneği analizi ile;

- ♦ Prosesin toleranslara uygunluğu tahmin edilir.
- ♦ Örnek alma sıklıkları belirlenir.
- ♦ Taşeronlar arasında seçim yapmak için bir kriter sağlanır.
- ♦ Alınacak önlemlerle imalat prosesinde değişkenlik azaltılır.

Bir prosesin yeterliliği aşağıdaki şartlar sağlanarak arttırılabilir:

- Varyasyona neden olan özel nedenlerin tümü ortadan kaldırılarak.
- Proses ortalaması hedeflenen değere mümkün olduğunca yaklaştırılarak.
- Varyasyona neden olan genel nedenler azaltılarak.

Proses yeteneği, sayısal olarak spesifikasyon limitleri ve dağılım arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Prosesin normal olasılık dağılımını izleyen bir sonuç verdiği ve kontrol altında olduğu varsayıldığında, üretilen parçaların % 99.7’si proses yeteneği karşılığı olan alan içinde olacaktır. Böyle bir dağılıma sahip prosesin doğal değişkenlik sınırları  $\pm 3\sigma$  olarak belirlenebilir. (AKIN, 1996)

Proses yeterlilik analizinde normal dağılımlar için  $C_p$  ve  $C_{pk}$  olarak gösterilen proses yeterlilik indekslerinden faydalanılır. Bunlardan  $C_p$ ; proses yayılımının spesifikasyon limitleri ile olan ilişkisini belirler. Prosesin tolerans limitleri içerisinde

parça işleyebilme kapasitesini belirler.  $C_{pk}$  ise; proses ortalamasının hedef olan nominal değer ile ilişkisini irdeler. Aynı zamanda proses yayılımını da hesaba katar.  $C_{pk}$  indeksinin bu kontrolü yapabilmesi için çift taraflı olarak yapılması gerekmektedir.

$C_p$  ve  $C_{pk}$  indeksleri proses yeteneğinin uygunluğunun sayısal olarak değerlendirilmesidir. Prosesin değişiminin spesifikasyon limitleri içinde olup olmadığının belirlenmesine yardımcı olur. Bu indekslerin değişik değer aralıkları için farklı yorumları vardır.

Eğer  $C_p$  ve  $C_{pk} > 1,33$  ise proses tamamen spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektedir.

Eğer  $1,33 \geq C_p$  ve  $C_{pk} > 1,0$  ise proses kabul edilir. Ancak bu proses, spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir. Bu nedenle proses kontrolü devam ettirilmelidir.

Eğer  $C_p$  ve  $C_{pk} \leq 1$  ise proses yetersizdir. Prosesi geliştirmek için tatmin edici düzeyde bir çaba gösterilmelidir.

Proses analizinde ilgili prosesin üst ve alt spesifikasyon limitleri verilmişse, ortalama değeri bulabilmek ve değerlendirebilmek amacıyla spesifikasyon limitleri içindeki yayılım genişliğini değerlendirmek ( $C_p$ ) gerekir. Formülasyonu :

$$C_p = T / 6\sigma \quad (T: \text{Spesifikasyon limitleri genişliği}) \quad (4.5.)$$

$$(T = T_{\text{üst}} - T_{\text{alt}})$$

Formüldeki standart sapmanın hesaplanması iki türlü yapılabilir. Birincisi, belli bir periyottaki malzeme sayısı alınmak suretiyle kalite karakteristiklerini kullanarak, proses yeteneğini değerlendirmek için bir histogram çizilmek suretiyle standart sapma hesaplanmasıdır. Diğer yol ise,  $\sigma = 2 / d_2$  formülünün kullanılmasıdır. Formüldeki  $d_2$  çarpan katsayısı örnek hacmine göre tablodan elde edilen bir sabittir. İkinci yöntem standart sapmanın daha kolay ve pratik yoldan tahminini sağlamaktadır.

Klasik bir tezgah yeterlilik analizi şu adımları içermelidir (alt örnek grubu sayısı = 5 alınmıştır).

### Adım 1 : Hazırlık

1. Geyç ve ölçme ekipmanı kalibrasyonlu olmalı ve kalibrasyon tarihi geçmiş olmamalıdır.
2. Tezgah ve aparatlar ayarlanmış, tezgah seri üretim başlangıç onayı almış olmalıdır. (Tezgah rejimde olmalıdır.)
3. İlgili mühendisler, saha sorumluları, kontrol elemanları ve operatörler İstatistiksel Proses Kontrol ve kontrol dışı durumlarda ne yapılacağı konularında eğitilmiş olmalıdırlar.
4. Proseste her Proses Kontrol Diyagramının ( $\bar{X}$  ve R), bir karakteristiğe ait olması gereklidir.
5. Eğer bir proseste birden fazla aparat kullanılmakta ise, her aparat ayrı bir proses olarak kabul edilmelidir. Birden çok aparatlı proseste, dörtten fazla aparat var ise tüm aparatlara bir diyagram açmak olanaksızdır. Bu durumda Kalite sorumlusu tüm aparatları tek diyagramda birleştirmeye yetkilidir. Proses yetenek analizi sonuçları incelendiğinde aparattan aparata yeterlilik değişiminin, toplam değişimin % 30'dan az olduğu görülmelidir ve bütün aparatların hesaplanan ortalama toleranslarının farkı, resim toleransının % 20'sinden büyük olmamalıdır.
6. Proses Kontrol Diyagramı ( $\bar{X}$  ve R) prosese verilir.
7. Proses Kontrol Diyagramı ( $\bar{X}$  ve R) operatör tarafından doldurulur. Aşağıda belirtilen durumlarda operatör, diyagramı dolduramıyorsa Kalite Sorumlusunun belirlediği bir Kalite Enspektörü diyagramı doldurabilir. Bu durumlar ;
  - Tezgah işlem zamanı yetersizliği,
  - Özel ölçme ekipmanı kullanılması,
  - Doldurmayı engelleyen diğer haklı nedenler.
8. Proses Kontrol Diyagramının ( $\bar{X}$  ve R), başlık kısımları ve operasyon ile ilgili bilgiler doldurulur.
9. Proseste, Proses Kontrol Diyagramının ( $\bar{X}$  ve R) kullanılmaya başlanmasından sonra vardiya başlangıcında ve yeni ayar sonrasında 5 parçadan belirlenen karakteristiğin ölçüsü alınarak, toleranslar içinde olup olmadığı kontrol edilir. Toleranslar içinde

ise, proses yeterliliğine devam edilir, değil ise tekrar yapılır ve toleranslar sağlanana kadar ölçüm alınır.

10. Örneklerin alınması, belirlenen aralıklarda fakat 8:00, 10:00, 12:00 gibi belirli saatlerde yapılmamalı, 8:42, 11:17, 15:36 gibi rastlantısal saatlerde yapılmalıdır.
11. Proses yeterliliğinin ideal yapılabilmesi için alınan numune grup sayısı 20-30, ölçülen parça sayısı ise 100-120 arasında olmalıdır.

**Adım 2 : Ölçme ve proses kontrol diyagramının ( $\bar{X}$  ve R) hazırlanması.**

Geçici kontrol limitleri belirlendikten sonra, aşağıda belirtilen işlem sırası uygulanır.

1. Üretime başlanır ve 5 parçalık bir grup alınır, ölçülür ve değerler ilk kolona yazılır.
2. 5 parçalık bir grubun ölçüm toplamı “Toplam” bölümüne yazılır.
3. 5 parçalık bir grubun ortalaması “Ortalama ( $\bar{X}$ )” bölümüne yazılır.
4. 5 ölçümden en büyük ile en küçüğünün farkı alınarak “Dağılma aralığı (R)” bölümüne yazılır.
5.  $\bar{X}$  ve R değerleri, kart üzerinde  $\bar{X}$  ve R bölgelerinde noktalar halinde işaretlenir.
6. İkinci bir beş parçalık grup alınır ve aynı işlemler tekrarlanır. Noktalar birleştirilerek grafik oluşturulur. Bu işlem en az 20 (tercih edilen 25 gruptur) grup için uygulanır.

**Adım 3 : Kontrol limitlerinin hesaplanması.**

1.  $\bar{R}$  (dağılma aralıklarının ortalaması) değerinin hesaplanır.
2. Örnek alt gruplarının ortalamalarının ( $\bar{X}$ ) ortalaması ( $\bar{\bar{X}}$ ) hesaplanır.
3.  $\bar{X}$  ve R değerleri için alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanır ve diyagram üzerine çizilir.

**Adım 4 : Kontrol diyagramlarının yorumlanması.**

1. Tamamlanmış kontrol diyagramı operasyondan alınır.
2. Diyagram, doldurulması sırasında belirlenen herhangi bir kontrol dışı durum için düzeltici faaliyet gereklidir. Kontrol dışı durumlar incelenir. Kontrol dışı durumlar içeren prosesler ile ilgili olarak Operasyon Bilgi Formu doldurularak raporlanır.

3. Kontrol diyagramında ardışık gelen 50 grup ölçüleri, kontrol limitleri içinde olduğu zaman kontrol sıklığının azaltılması düşünülebilir. Örneğin, 3 saatte bir yerine 6 saatte bir ölçüm gibi.

**Adım 5 :** Proses yeterlilik katsayısının ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ) hesaplanması.

1. Tolerans aralığı (T) hesaplanır.
2. Alınan ölçümlerden aritmetik ortalama ( $\bar{X}$ ) hesaplanır.
3. Standart sapma ( $\sigma$ ) hesaplanır.
4. Yeterlilik indeksleri ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ) hesaplanır.

**Adım 6 :** Yeterliliğin değerlendirilmesi.

Proses yeterlilik endeksinin yorumlanmasındaki temel mantık, normal olasılık dağılımlarının kontrol diyagramları bölümünde açıklanan özelliklerden şöyle açıklanabilir.

$C_p$  ve  $C_{pk} > 1$  ise proseste  $\pm 3\sigma$ , spesifikasyonlardan küçüktür. Bu durumda, üretimden örnekleme ile alınarak incelenen ve yeterlilik analizi uygulanan numunelerin % 0.3'ünden daha az bir miktarı spesifikasyonlara uymayacaktır.

$C_p$  ve  $C_{pk} < 1$  ise proseste  $\pm 3\sigma$ , spesifikasyonlardan büyüktür. Bu durumda, üretimden örnekleme ile alınarak incelenen ve yeterlilik analizi uygulanan numunelerin % 0.3'ünden daha fazla bir miktarı spesifikasyonlara uymayacaktır.

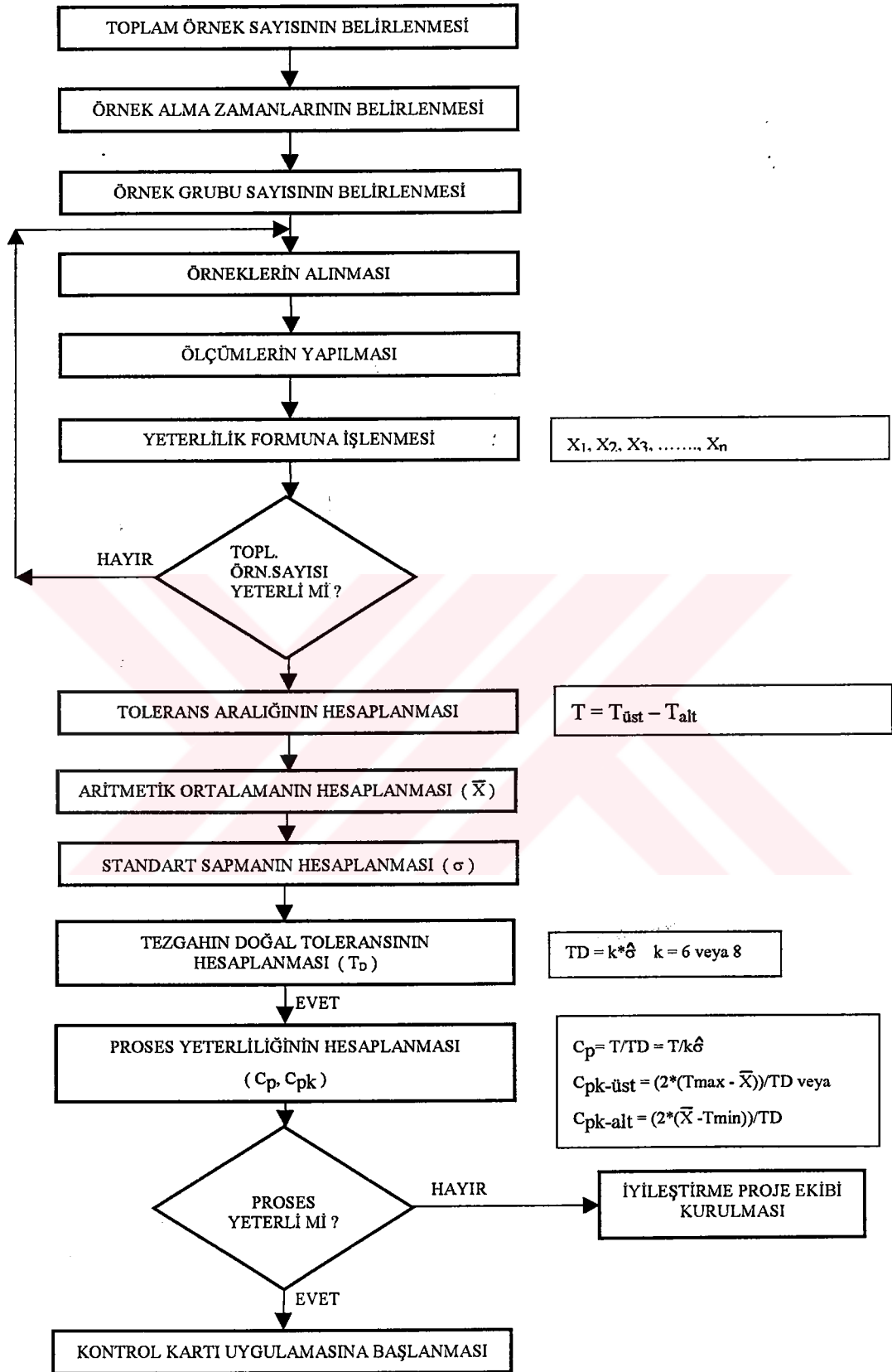
Bir prosesin kontrol altında olup olmadığı, şu ipuçları değerlendirilerek tesbit edilebilir :

- Kontrol altındaki proses normal dağılım gösterir.
- Normal dağılım gösteren veya gösterdiği varsayılan bir proseste; kontrol şemalarında noktaların 2/3'ü merkez çizgi üzerinde veya yakınındadır. Çok az nokta üst ve alt kontrol limitlerine yakındır. Noktalar merkez çizginin iki yanına dengeli dağılmıştır ve kontrol limitlerinin dışında nokta yoktur. Kontrol altında olan yeterli bir proseste doğal nedenlerden kaynaklanan değişkenlik vardır.

Prosesin kontrol dışında olması durumunda, herhangi bir alt grup değerinin kontrol limitleri dışında yer alacağı açıktır. Bu durumda doğal olmayan (özel) ve kaynağı tesbit edilebilen bir sapma vardır. Bazı durumlarda bütün örnek alt grup değerleri kontrol limitleri içinde kalmakla birlikte, prosesin kontrol dışında olması (Yetersiz) mümkündür. Bu durumda proseste, doğal olmayan (özel) nedenler mevcuttur. Bu da yığın ortalamasından sapmalar olduğunun göstergesi ve eğer

KONTROL ALTINDAKİ PROSESİN  
YETERLİLİK İNDEKSİ

## PROSES YETERLİLİK ANALİZİ İŞLEM ŞEMASI



Şekil 4.5. Proses yeterlilik analizi işlem aşamaları.

tedbir alınmazsa çok yakın bir gelecekte örnek alt grup ortalamalarının kontrol limitlerini zorlayarak, dışarı çıkabileceğini işaret eden bir uyarıdır.

Proses yeterlilik analizi işlemi için Şekil 4.5.'deki gibi bir işlem şeması çizilebilir. Bu şemadan da görülebileceği gibi analiz sonucu prosesin yeterli çıkması durumunda bir sonraki adım olan kontrol şemaları uygulaması aşamasına geçilmelidir.

#### 4.4.2.1. NORMAL OLMAYAN DAĞILIMLAR İÇİN YETENEK ANALİZİ

Bir proseste veriler genellikle normal dağılım gösterirler. Ancak bazı istisnai durumlarda veriler normal olmayan bazı dağılımları gösterir. En sık görülen normal olmayan dağılım türleri :

- Log normal dağılım.
- Weibull dağılımı.

Proses verileri normal olmayan bir dağılımı gösteriyorsa, bu durumda proses yeterlilik indekslerinin hesaplanması yüzde metodu ile bulunan değerler yardımıyla yapılır. Bu metod, normal dağılım için  $6\sigma$  değeri olan % 99.73 olasılığını veren değerlerin ilgili dağılım için alınarak yeterlilik indekslerinin hesaplanmasıdır. Bu değerler genellikle dağılımın iki tarafından % 0.135'lik bir miktarına karşılık gelen değerdir. Bu şekilde hesaplanacak indeksler için formüller : (FORD-OTOSAN İPK EĞİTİM NOTLARI)

$$C_p = (\bar{U}SL - ASL) / (99.865 \text{ için değer} - 0.135 \text{ için değer}) \quad (4.6.)$$

$$C_{pk-\text{üst}} = (\bar{U}SL - \bar{X}) / (99.865 \text{ için değer} - \bar{X}) \quad (4.7.)$$

$$C_{pk-\text{alt}} = (\bar{X} - ASL) / (\bar{X} - 0.135 \text{ için değer}) \quad (4.8.)$$

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pk-\text{üst}}, C_{pk-\text{alt}}) \quad (4.9.)$$

### ÖRNEK 4.1.

Temel istatistiksel tekniklerin, tezgah yeterlilik ve proses yeterlilik analizlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki gibi bir örnek yararlı olacaktır.

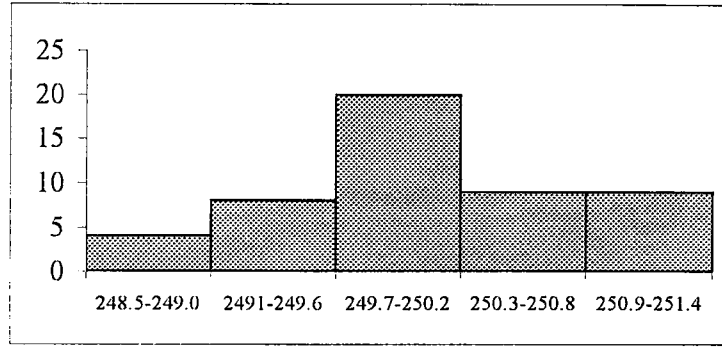
Ürün için belirlenen standart ölçü 250mm, spesifikasyon limitleri ise  $\pm 1.5$  mm olarak belirlenmiştir. Yapılacak çalışma için örnek alt grup hacmi (n) 5 ve ölçü birimi 1 mm olarak alınacaktır.

Uygulama tezgah yeterlilik çalışması için gerekli ön hazırlık çalışmaları yapılarak 50 adet ürünün ardışık olarak işlenmesi ile başlamıştır. Üretilen 50 ardışık ürün için elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 4.3.'de görülebilir. Tabloda ayrıca her örnek alt grubu için dağılma aralığı (R) ve aritmetik ortalama ( $\bar{X}$ ) değerleri de yer almaktadır.

**Tablo 4.3.** Tezgah yeterliliği için üretilen ardışık 50 ürünün değerleri.

| Parça No | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Ortalama | Dağılma Aralığı (R) |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|
| 1        | 250.1 | 250.6 | 249.7 | 251.1 | 249.3 | 250.16   | 1.8                 |
| 2        | 250.4 | 250.2 | 250   | 249.6 | 249.5 | 249.94   | 0.9                 |
| 3        | 249   | 250.3 | 250   | 249.8 | 250.4 | 249.9    | 1.4                 |
| 4        | 249.5 | 248.6 | 249.6 | 250   | 251.2 | 249.78   | 2.6                 |
| 5        | 249.7 | 249   | 250   | 251   | 250.3 | 250      | 2                   |
| 6        | 250.1 | 250.6 | 251.3 | 249.4 | 249.8 | 250.24   | 1.9                 |
| 7        | 248.5 | 249.6 | 250   | 251.3 | 251.1 | 250.1    | 2.8                 |
| 8        | 250.1 | 251.2 | 250.6 | 249.9 | 249.8 | 250.32   | 1.4                 |
| 9        | 250.4 | 250.1 | 251   | 250.6 | 249.7 | 250.36   | 1.3                 |
| 10       | 249.5 | 249.9 | 250   | 250.2 | 251   | 250.12   | 1.5                 |

Tablodaki verilerin histogramını oluşturabilmek için sınıf aralığı değeri 0.5 olarak alınarak histogram çizilir. Histograma göre veriler normal dağılımı göstermektedirler.



**Şekil 4.6.** Verilerin histogramı

Tablodaki değerler kullanılarak  $\hat{\sigma}$ ,  $C_m$  ve  $C_{mk}$  değerleri hesaplanır.  $\hat{\sigma}$  için Tablo A.1.'den  $d_2 = 2.326$  alınır.

Elde edilen sonuçlar;

$$\hat{\sigma} = 1.76/2.326 = 0.7567$$

$$C_m = T/6\hat{\sigma} = 0.6608 < 1.33$$

$$C_{mk} = \text{Min}(C_{mk-\text{üst}}, C_{mk-\text{alt}})$$

$$C_{mk-\text{alt}} = (\bar{X} - 248.5)/3\hat{\sigma} = 0.7013 < 1.33$$

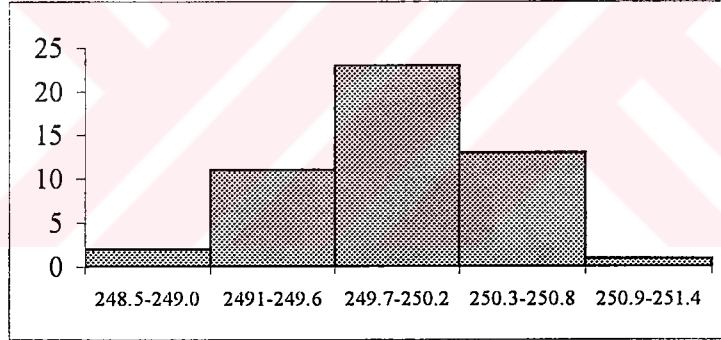
$$C_{mk-\text{üst}} = (251.5 - \bar{X})/3\hat{\sigma} = 0.6203 < 1.33$$

Bu sonuçlara göre tezgah yeterli değildir. Yeterliliği arttırmak için düzeltici faaliyetleri içeren bir iyileştirme Proje Ekibi oluşturularak tezgah için revizyon çalışmaları yapıldıktan sonra ikinci bir tezgah yeterlilik analizi yapılmıştır. Bu çalışma için alınan ürünlere ait veriler Tablo 4.4.'te gösterilmektedir.

**Tablo 4.4.** İyileştirilmiş tezgahıtan alınan veriler.

| Parça No | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Ortalama | Dağılma Aralığı (R) |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|
| 1        | 250.1 | 250.2 | 249.7 | 250.3 | 249.3 | 249.92   | 1                   |
| 2        | 250.4 | 250.2 | 250   | 249.6 | 249.5 | 249.94   | 0.9                 |
| 3        | 249.8 | 250.3 | 250   | 249.8 | 250.2 | 250.02   | 0.5                 |
| 4        | 249.9 | 250.1 | 249.8 | 250   | 250.1 | 249.98   | 0.3                 |
| 5        | 249.7 | 249.9 | 250   | 250.1 | 250.3 | 250      | 0.6                 |
| 6        | 250.1 | 250.2 | 250.1 | 249.7 | 249.9 | 250      | 0.5                 |
| 7        | 249.6 | 250.1 | 250   | 250.2 | 249.8 | 249.94   | 0.6                 |
| 8        | 250.1 | 250.4 | 250.6 | 249.9 | 250   | 250.2    | 0.7                 |
| 9        | 250.4 | 250.1 | 250.3 | 250.2 | 250   | 250.2    | 0.4                 |
| 10       | 249.8 | 249.9 | 250   | 249.7 | 250.1 | 249.9    | 0.4                 |

Yine bu veriler için çizilen histogram aşağıdaki gibidir.

**Şekil 4.7.** Verilerin histogramı.

Bu veriler kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\sigma} = 0.59/2.326 = 0.2537$$

$$C_m = T/6\hat{\sigma} = 1.9712 > 1.33$$

$$C_{mk} = \text{Min}(C_{mk-\text{üst}}, C_{mk-\text{alt}})$$

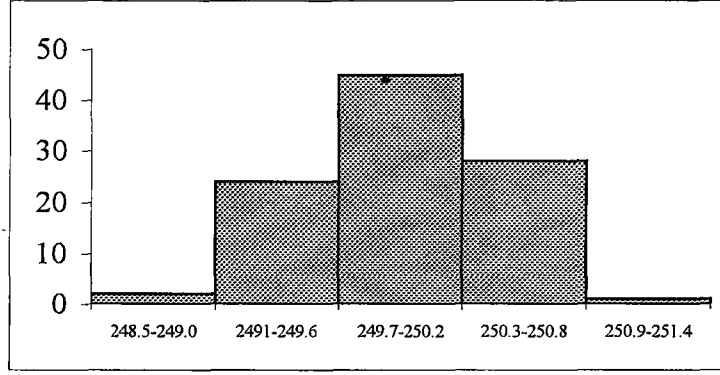
$$C_{mk-\text{alt}} = (\bar{X} - 248.5)/3\hat{\sigma} = 1.9843 > 1.33$$

$$C_{mk-\text{üst}} = (251.5 - \bar{X})/3\hat{\sigma} = 1.9580 > 1.33$$

Bu sonuçlara göre tezgah yeterlidir ve proses yeterliliği analizine geçilebilir. Proses yeterliliği analizi için 45 günü kapsayan bir süre içinde Tablo 4.5.'deki veriler toplanmıştır. Bu veriler için çizilmiş histogram ise Şekil 4.8.'de gösterilmektedir.

**Tablo 4.5.** Proses yeterliliği için toplanmış veriler.

| Parça No | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Ortalama | Dağılma Aralığı (R) |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|
| 1        | 250.1 | 250.2 | 249.7 | 250.3 | 249.3 | 249.92   | 1                   |
| 2        | 250.4 | 250.2 | 250   | 249.6 | 249.5 | 249.94   | 0.9                 |
| 3        | 249.8 | 250.3 | 250   | 249.8 | 250.2 | 250.02   | 0.5                 |
| 4        | 249.9 | 250.1 | 249.8 | 250   | 250.1 | 249.98   | 0.3                 |
| 5        | 249.7 | 249.9 | 250   | 250.1 | 250.3 | 250      | 0.6                 |
| 6        | 250.1 | 250.2 | 250.1 | 249.7 | 249.9 | 250      | 0.5                 |
| 7        | 249.6 | 250.1 | 250   | 250.2 | 249.8 | 249.94   | 0.6                 |
| 8        | 250.1 | 250.4 | 250.6 | 249.9 | 250   | 250.2    | 0.7                 |
| 9        | 250.4 | 250.1 | 250.3 | 250.2 | 250   | 250.2    | 0.4                 |
| 10       | 249.8 | 249.9 | 250   | 249.7 | 250.1 | 249.9    | 0.4                 |
| 11       | 250.1 | 250.2 | 249.7 | 250.3 | 249.6 | 249.98   | 0.7                 |
| 12       | 250.4 | 250.2 | 250.1 | 249.6 | 249.8 | 250.02   | 0.8                 |
| 13       | 249.8 | 250.3 | 250   | 249.9 | 250.4 | 250.08   | 0.6                 |
| 14       | 249.9 | 250.1 | 249.8 | 250   | 250.1 | 249.98   | 0.3                 |
| 15       | 249.8 | 249.9 | 250   | 250.1 | 250   | 249.96   | 0.3                 |
| 16       | 250.1 | 250.2 | 250.1 | 249.7 | 249.8 | 249.98   | 0.5                 |
| 17       | 249.6 | 250.1 | 250   | 250.2 | 249.8 | 249.94   | 0.6                 |
| 18       | 250.1 | 250.4 | 250.3 | 249.9 | 249.8 | 250.1    | 0.6                 |
| 19       | 250.4 | 250.1 | 250.3 | 250.2 | 250   | 250.2    | 0.4                 |
| 20       | 250.3 | 249.9 | 250   | 250.2 | 249.8 | 250.04   | 0.5                 |



**Şekil 4.8.** Verilerin histogramı

Tablodaki değerler kullanılarak  $\hat{\sigma}$ ,  $C_p$  ve  $C_{pk}$  değerleri hesaplanır.  $\hat{\sigma}$  için Tablo A.1.'den  $d_2 = 2.326$  alınır.

Elde edilen sonuçlar;

$$\hat{\sigma} = 0.56/2.326 = 0.2408$$

$$C_p = T/6\hat{\sigma} = 2.0768 > 1.33$$

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pk-\text{üst}}, C_{pk-\text{alt}})$$

$$C_{pk-\text{alt}} = (\bar{X} - 248.5)/3\hat{\sigma} = 2.0505 > 1.33$$

$$C_{pk-\text{üst}} = (251.5 - \bar{X})/3\hat{\sigma} = 2.1031 > 1.33$$

Elde edilen sonuçlar prosesin yeterli olduğunu göstermektedir. Mevcut durumun korunması ve hatta iyileştirilmesi için kontrol diyagramı uygulamasına devam edilmelidir. Maliyet açısından örnek alma zamanlarının genişletilmesi faydalı olabilir.

## BÖLÜM 5

### T.E.E. SUTEM İŞLETMESİ İPK PİLOT UYGULAMASI

#### 5.1. T.E.E. SUTEM İŞLETMESİNİN TANITIMI

##### 5.1.1. TÜRK ELEKTRİK ENDÜSTRİSİ A.Ş. 'NİN TARİHÇESİ

Türk Elektrik Endüstrisi A.Ş. (TEE) bu yıl 33. yaşını kutlamaktadır. 21 Nisan 1965'de General Electric, Arçelik ve İş Bankası tarafından buzdolabı kompresörleri, çamaşır makinası motorları ve genel maksat motorları üretmek üzere İstanbul-Topkapı'da Türk General Electric adıyla kurulan şirket Temmuz 1966'da deneme üretimine başlamış ve aynı yılın ekim ayında da seri üretime geçmiştir. 1979 yılında General Electric hisselerini Türk ortaklarına satmış, 1986 yılında da İş Bankası kendi payını Arçelik'e devretmiştir. Bugünkü haliyle TEE A.Ş. hisselerinin %99'u Arçelik'e aittir. TEE A.Ş. satışlarının % 60'ı da Arçelik'e yapılmaktadır.

20 Aralık 1989'da trifaze sanayi motorları üreten İstanbul-Sultançifliği'ndeki Elektrik Motorları İşletmesine sahip olan TEE A.Ş., 6 Ocak 1992'de de Eskişehir'deki Kompresör İşletmesi'ni devralmıştır. Böylece TEE A.Ş., Topkapı'da bulunan TOPEM, Sultançifliğinde bulunan SUTEM, Eskişehir'de bulunan ESKOM İşletmeleri ve yine Topkapı'da yer alan MERKEZ'inde faaliyetlerini sürdürmektedir.

1993 yılından beri 3 işletmesi de ISO 9001 kalite belgesine sahip olan TEE A.Ş.'nin ihracatı da son yıllarda hızla gelişmiştir. 1993 sonundaki 8.6 milyon dolarlık ihracat tutarı, 1994'de 14.6 milyon dolara ulaşmıştır. 1995 hedefi ise 22 milyon dolar olarak belirlenmiştir. İhracatın çoğunluğu Batı Avrupa ülkelerine, özellikle de Almanya'ya gerçekleşmektedir.

32 yıldır ülkemizin motor ve kompresör ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan TEE A.Ş. bugün 368'i mühendis, 1800 çalışanı, 3 işletmesi, yılda 4 milyon adedi bulan motor ve 1.5 milyon adedin üstüne çıkan kompresör üretimi ile kendi konusunda Avrupa ve dünyanın sayılı firmalarından birisidir.

Şimdi firmanın 3 işletmesinin tarihçelerine bir göz atalım.

#### TOPEM (TOPKAPI ELEKTRİK MOTORLARI) İŞLETMESİ.

1965 : Türk General Elektrik Endüstrisi A.Ş., 21.04.1965 tarihinde buzdolabı kompresörleri, çamaşır makinası motorları ve genel maksat motorları üretimi yapmak üzere kuruldu.

1966 : Ekim ayında seri üretime geçildi.

1979 : Yabancı ortak hisselerini Türk ortaklarına devretti ve şirketin adı Türk Elektrik Endüstrisi A.Ş. olarak değiştirildi.

1981 : Arçelik A.Ş.'nin, Eskişehir'deki kendi kompresör fabrikasında kompresör üretimine geçmesiyle, motor üretimi önem kazandı.

1984 : Siemens lisansı ile elektrik süpürgeleri için seri motor üretimine başlandı. (500 Watt ve 800 Watt tipleri)

1986 : Arçelik A.Ş. Türkiye İş Bankası 'nın hisselerini satın alarak, şirket üzerinde tam kontrol sağladı.

1987 : Siemens lisansı ile Simodo tipi çamaşır makinası motoru üretimine başlandı.

1988 : Siemens lisansı ile elektrik süpürgeleri için 100 Watt tipi seri motor üretimine başlandı.

1989 : Elektrik Motorları İşletmesi (SUTEM İşletmesi), 20.12.1989 tarihinde Arçelik A.Ş.'den devralındı.

1990 : Üniversal A.C. çamaşır makinası yatırımı başlatıldı.

1991 : TOPEM İşletmesi TEE A.Ş. Organizasyonu içinde ayrı bir yapı olarak kuruldu. Siemens lisansı ile ilk Üniversal A.C. motor üretimi gerçekleştirildi.

1992 : Siemens lisansı ile ilk Üniversal D.C. motor üretimi gerçekleştirildi. Bulaşık makinası motoru üretimi başlatıldı. Arçelik'in kompresör fabrikası, TEE A.Ş.'ye TEE ESKOM İşletmesi olarak devredildi.

1993 : Siemens lisansı ile ilk bulaşık motoru üretimi gerçekleştirildi. Sanyo lisanslı elektrik süpürgesi motoru ve Plaset lisanslı senkron pompa motoru yatırımları başlatıldı. Üniversal motor ikinci kademe yatırımına başlandı. TSE ve SGS YARSLEY'den ISO 9001 Kalite Sertifikası alındı.

1994 : Elektrik süpürgesi motoru, senkron pompa motoru ve üniversal motor ikinci kademe yatırımları tamamlandı.

TEE TOPEM İşletmesi, İstanbul'un Avrupa yakasında, Topkapı semtinde yer almaktadır. Toplam 45.000 m<sup>2</sup>'lik arazide 25.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. TOPEM'de 300'ü saat ücretli, 75'i maaşlı toplam 375 personel görev yapmaktadır. Dönemin modern üretim teknolojisine sahip bu işletmede;

1. Seri motorlar-Sanyo lisanslı süpürge motorları(400.000 adet/yıl)
2. Tam otomatik çamaşır makinası için yıkama ve sıkma motorları (1.000.000 adet/yıl)
3. Bulaşık makinası motorları (400.000 adet/yıl)
4. Senkron tahliye pompa motorları (1.000.000 adet/yıl) üretilmektedir.

#### SUTEM (SULTANÇİFTLİĞİ ELEKTRİK MOTORLARI) İŞLETMESİ

1970 : Watt'ın BBC-İsviçre lisansı ile kuruluşu.

1971 : Küçük motorların üretimine başlanması.

1978 : Şirketin üretim sahasının tevsii işlerinin bitmesi.

1985 : Şirketin üretim faaliyetini durdurması.

1989 : Şirketin Koç Holding'e bağlı Arçelik tarafından satın alınarak, üretimin yeniden başlaması.

1990 : İşletmenin TEE A.Ş.'ye devredilmesi.

1992 : Tek fazlı motorların üretimine başlanması.

1992 : 250 gövde 3 fazlı motor üretiminin gerçekleştirilmesi.

1993 : TSE ve SGS YARSLEY'den ISO 9001 belgesi alınması.

1995 : Üretim kapasitesinin 260.000 adet/yıl'a çıkarılması.

1996 : Üretim kapasitesinin 320.000 adet/yıl'a çıkarılması.

1997 : Üretim kapasitesinin 380.000 adet/yıl'a çıkarılması.

1998 : Üretim kapasitesinin 400.000 adet/yıl'a çıkarılması. (Hedef)

İstanbul'un Anadolu yakasında, Şile yolu üzerindeki Sultançiftliği mevkiinde yerleşik olan SUTEM İşletmesi'nde monofaze ve trifaze sanayi motorları üretilmektedir. 43.000 m<sup>2</sup> alan üzerindeki 18.000 m<sup>2</sup>'lik kapalı sahasında 275'i saat ücretli, 67'si memur olmak üzere toplam 375 kişi görev yapmaktadır.

1989 yılında yıllık 30.000 adet olarak yeniden trifaze motor üretimine başlayan işletmede 1997 yılına kadar artarak devam eden üretim adetleri Tablo.5.1.'de gösterilmektedir. 1992 yılında TOPEM İşletmesi'nden devir alınan

genel ve özel maksat monofaze motor üretimi de giderek artmış ve 1995 yılında toplam kapasite 480.000 adet/yıl'a ulaşmıştır.

**Tablo 5.1.** Yıllara göre trifaze motor üretimi.(SUTEM)

| YILLAR | 1989   | 1990   | 1991    | 1992    | 1993    | 1994    | 1995    | 1996    | 1997    |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ÜRETİM | 30.000 | 80.000 | 120.000 | 142.000 | 186.411 | 220.266 | 262.766 | 325.459 | 382.181 |

1997 yılında günlük üretim kapasitesi 63-250 gövde trifaze motorlarda 1.800 adet, monofaze genel maksat ve parça motorlarda 610 adet, özel maksatlı motorlarda 5.375 adet olmuştur. Üretilen motor çeşitleri de 1989'da 42 standart motordan 1995'te 99 standart modele, 1989'da toplam 100 modelden 1995'de toplam 1.550 modele çıkmıştır.

SUTEM İşletmesinde uluslararası standartlara uygun olarak üretilen trifaze motorların 1989'da 2.000 adet olan ihracatı 1997'de 173.883 adet olarak gerçekleşmiştir. Üretimin %50'sini Batı Avrupa'nın Almanya, Fransa, Hollanda, İngiltere gibi yüksek teknolojiye sahip ülkelerine ihraç eden SUTEM, bu sayede yurt içindeki müşterilerine de daha kaliteli ve daha iyi hizmet vermektedir.

1993 yılında uluslararası şirketlerin denetiminden geçen SUTEM, ISO 9001 belgesi almaya layık görülmüştür. Altı ayda bir yapılan ara denetim ve 3 yılda bir yapılan belgeleme denetimi ile sahip olduğu belgenin devamlılığı sağlanmaktadır.

KOÇ 2000 Projesi kapsamında yürütülen Toplam Kalite çalışmaları işletmede Kalite Çemberleri, İyileştirme Proje Ekipleri ve Bireysel Öneri Sistemi gibi uygulamalar ile sürdürülmektedir.

1993 yılında başlayan Kalite Çemberleri faaliyetleri, çember sayısının her yıl artması ile 1997 yılında 27 adet çembere ulaşmıştır. 1997 yılı sonu itibari ile 40 adet sunuş yapılmış, bu sunuşların 16 adedi uygulanmıştır.

TEE A.Ş. genelinde 1994 yılından itibaren TÜSİAD-Kalder Kalite Ödülü için yapılan başvurularda SUTEM İşletmesinde üç işletmeden biri olarak aktif bir katılım göstermektedir. Yapılan başvurularda en son 1997 yılında olmak üzere iki kere finale kalınmıştır.

1997 yılı içerisinde ESKOM İşletmesi'nin almış olduğu ISO 14001 Çevre Standartı için SUTEM İşletmesinde çalışmalar 1997 yılı Ağustos ayında başlamıştır. Çalışmaların 1998 yılı içerisinde bitirilmesi hedeflenmiştir.

## ESKOM (ESKİŞEHİR KOMPRESÖR) İŞLETMESİ.

1975 : Kompresör fabrikası kurma kararı alındı.

1976 : Tecumseh (ABD) ile kompresör üretimi için lisans anlaşması yapıldı.

1977 : Fabrika tamamlanarak üretime başlandı.

1984 : Yeni modeller AZ ve AE-2 kompresörlerin üretimi için Tecumseh (ABD) ile lisans anlaşması imzalandı.

1992 : Kompresör fabrikası TEE A.Ş.'ye devredildi ve adı TEE ESKOM İşletmesi oldu.

1993 : TSE ve SGS YARSLEY'den ISO 9001 belgesi alınması.

1994 : R134a'lı 'Ozon Dostu' kompresör üretimine başlandı.

TEE ESKOM İşletmesi, Eskişehir-Ankara karayoluna 10 km mesafede, Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almaktadır. Toplam 80.000 m<sup>2</sup>'lik saha üzerinde 13.000 m<sup>2</sup>'lik kapalı alanda üretim yapılmaktadır.

ESKOM İşletmesi'nde 680'ı saat ücretli 97'si maaşlı olmak üzere toplam 705 personel görev yapmaktadır.

Kuruluşundan itibaren üretim kapasitesi sürekli artan bu işletmede 1995 yılında tamamlanan yatırımla günlük kompresör üretimi 5.000 adetten 7.000 adete çıkmıştır.

ESKOM'da üretilen soğutma kompresörleri ve termostadları öncelikle Arçelik tarafından buzdolabı üretiminde kullanılmaktadır. Üretimin Arçelik ihtiyacı dışında kalan bölümünün bir kısmı yurtdışındaki müşterilere ihraç edilirken, bir kısımda yurt içindeki müşterilere dağıtılmaktadır.

1993'te 3.3 milyon dolar, 1994'te 4.7 milyon olan ihracatı 1995'te 12 milyon dolara ulaşmıştır.

ISO 9001 belgesine 1993'te sahip olan ESKOM İşletmesi'nde üretilen kompresörler TSE ve uluslararası standartlara (VDE, NF, BEAB) uygunluk belgelerine de sahiptir.

ESKOM ayrıca son yıllarda önem kazanan az enerji harcayan verimli kompresörleri de başarı ile üretmektedir.

Halen AE, AE-V, AZ olmak üzere üç değişik tipten, R-12'li normal ve R134a'lı ozon dostu kompresörler üretilmektedir. Ayrıca R-600'lü yeni kompresörlerin üretimi için deneme çalışmaları yürütülmektedir.

## 5.2. İŞLETMENİN ÜRÜNLERİ

İşletmenin ürünleri genel olarak monofaze ( tek fazlı ) ve trifaze ( Üç fazlı ) olmak üzere iki grupta incelenebilir. Şekil 5.1.'de işletmenin ürünleri görülmektedir.

### 5.2.1. TRİFAZE MOTORLAR

#### A) Mekanik Özellikler:

Motorlar 63-250 gövde büyüklüklerinde, 3 fazlı, tam kapalı, kısa devre rotorlu ve fan soğutmalı olarak üretilmektedir.

Yapı Şekli : Tüm gövde büyüklüklerinde ayaklı, flanşlı ve ayaklı flanşlı yapı şekilleri mümkündür.

Koruma Tipi : Standart koruma tipi IP54'tür.

Mil Ucu : Mil uçlarına DIN 332-2'ye uygun olarak dış çekilir ve DIN 6885/1'e uygun olarak kama kanalı açılır. Motor kamalı olarak teslim edilir.

Soğutma Fanı : Sıcaklığa dayanıklı plastikten yapılmış olup, her iki dönüş yönünde çalışmaya uygundur.

Boya : Motorlar RAL 6011 yeşil renkte boya ile boyanarak teslim edilir.

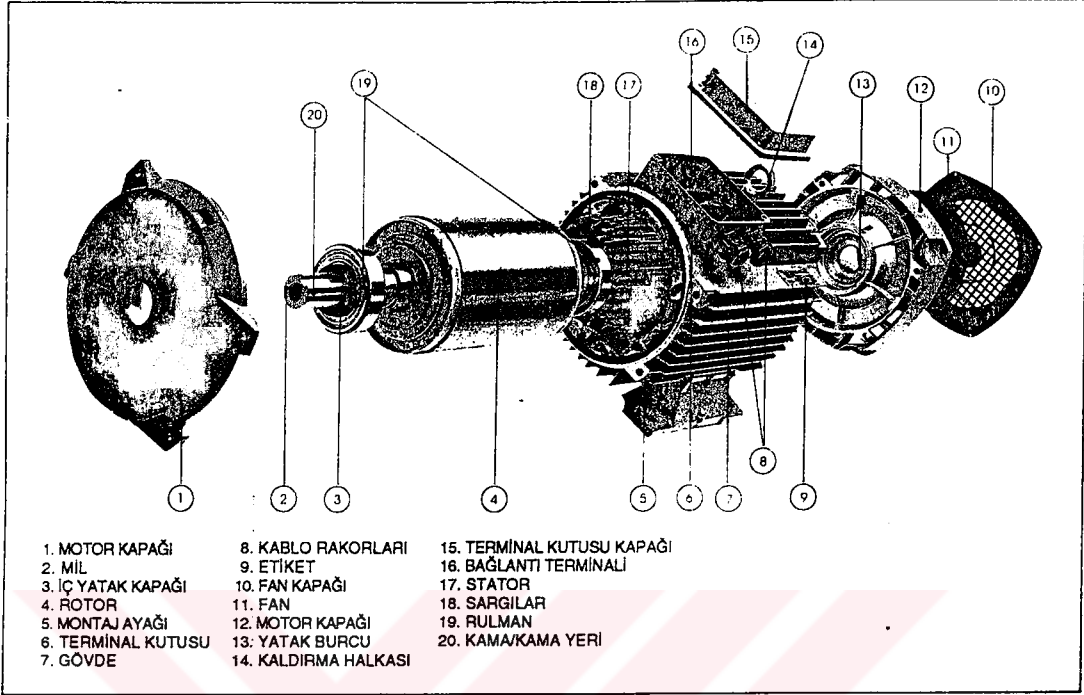
#### B) Konstrüksiyon Özellikleri:

Gövde : Motor gövdeleri hafif, korozyona ve şoka dayanıklı, ısı iletme özelliği yüksek olan alüminyum alaşımından basınçlı döküm metodu ile üretilmektedir.

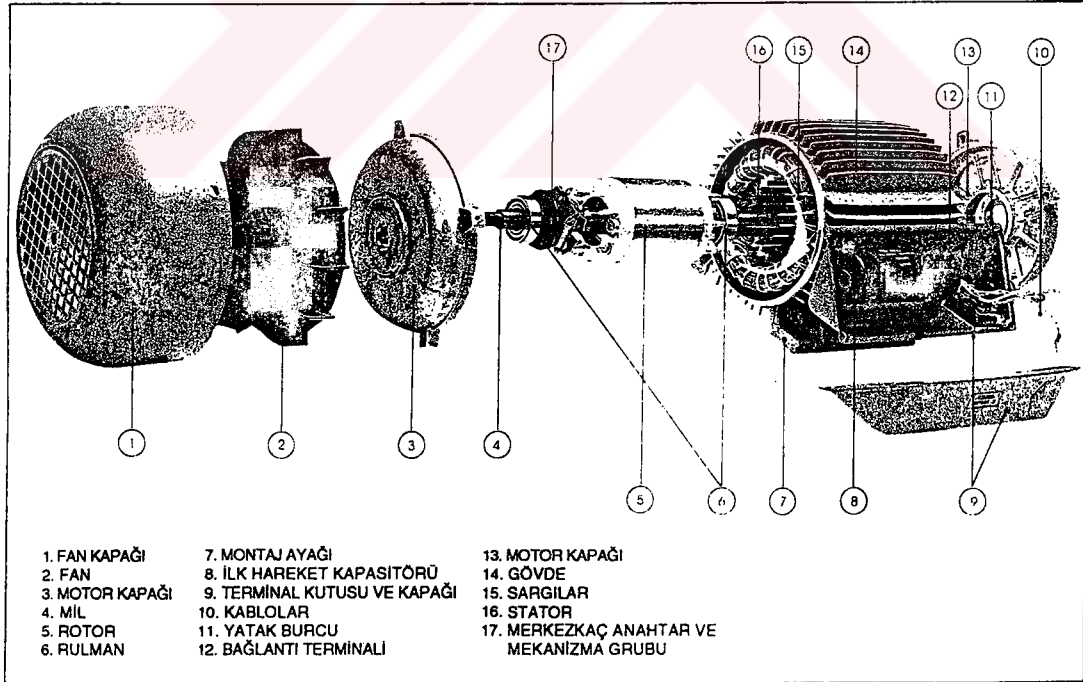
Ayaklar : 90-250 gövde büyüklüklerindeki motorlarda ayakların sökülebیلme özelliği değişik montaj şekilleri için esneklik sağlamaktadır.

Kapaklar : Tüm ayaklı motorların kapakları ve 132 gövdeye kadar flanşlı kapaklar alüminyumdan, daha büyük flanşlı kapaklar ise pikten yapılır. Alüminyum kapaklarda rulman yuvaları çelik veya pik burç ile takviye edilmiştir. Kapak konstrüksiyonu yağ ve toz keçesi montajına uygundur.

## ÜÇ FAZLI GENEL MAKSAT MOTORLARI



## TEK FAZLI GENEL MAKSAT MOTORLARI



Şekil 5.1. SUTEM İşletmesi ürünleri.

Terminal Kutusu : 63-80 gövdelerde mil tarafından bakışa göre sağda, 90-250 gövdelerde ise üstte ve mil tarafına yakındır.

#### C) Elektriksel Özellikler:

Gerilim ve Frekans : Motorlar normal olarak 380 Volt, 50 Hz şebeke gerilimine göre dizayn edilmiştir. Bunun dışındaki şebeke gerilim ve frekansına uygun motorlar da üretilebilir.

Tablo Değerleri : Tabloda verilen güçler ve işletme değerleri aşağıdaki şartlar için geçerlidir:

- Anma geriliminden  $\pm$  %5 sapmalar.
- 50 Hz frekans.
- Çalışma rejimi sürekli ( S1 ).
- Max. 40 C ortam sıcaklığı.
- Deniz seviyesinden 1000 m.'ye kadar olan yükseklikler.

İzolasyon Sınıfı : Motorların standart izolasyon sınıfı F'dir. Buna göre 40 °C ortam sıcaklığında sargıların sıcaklık artışı 100 K olabilir.

#### D) Özel Uygulamalar:

Standardın dışındaki özel uygulamalar mümkündür.

- Özel mil veya çift mil çıkışı.
- Özel flanş.
- Değişik tip flanşlar.
- Sabit yatak.
- Diğer standart koruma tipleri ( IP 55,65 vb. ).
- Değişik gerilim ve frekans.
- Yoğuşmayı gidermek için boşaltma deliği.
- Rulmanı dıştan yağlama düzeni.
- Özel boya.

## MOTOR TİP KODLARININ AÇIKLANMASI

Örnek Motor Kodu: EF QU 90 S 4 A W

EF : Motorun özellikleri.

- : Normal.

EF : Frenli.

QU : Motor Tipi.

QU : Kapalı, dıştan kendinden fan soğutmalı.

QK : Kapalı, kendinden soğutması olmayan.

FA : İnşa Tipleri.

- : Ayaklı B3, B6, B7, B8, V5, V6.

FA : A flanşlı B5, V1, V3.

FB : B flanşlı B14, V18, V19.

FC : C flanşlı B14, V18, V19.

PA : Ayaklı ve A flanşlı B3/B5, V1/V5, V3/V6.

PB : Ayaklı ve B flanşlı B3/B14, V5/V18, V6/V19

PC : Ayaklı ve C flanşlı B3/B14, V5/V18, V6/V19.

X : Ayaksız gövde, flanş kapaksız B9, V8, V9.

FN : NEMA flanşlı.

FS : Müşteri isteğine göre özel flanş.

90 : Motorun Yapı Büyüklüğü.

Tabandan mil eksenine yükseklik ( mm. ).

S : Motor Uzunluğu.

S : Kısa.

M : Orta.

L : Uzun.

4 : Kutup Sayısı.

2, 4, 6, 8 Kutup

2/4, 4/8, 4/6, 6/8 iki devirli.

A : Sac Paketi Uzunluğu.

A, B, C ( Dış boyutlara bağlı olmaksızın ).

W : Mekanik Özellikler.

- : Normal.

W : Özel mil ucu.

2W : Normal veya özel iki mil uçlu.

Q : Özel Rulman.

N : Dışardan yağlama imkanı.

## 5.2.2. MONOFAZE MOTORLAR

### A) Mekanik Özellikler:

Motorlar 71-80-90 gövde büyüklüklerinde, tek fazlı, tam kapalı, kısa devre rotorlu ve fan soğutmalı olarak üretilmektedir.

Yapı Şekli : Tüm gövde büyüklüklerinde ayaklı, flanşlı ve ayaklı-flanşlı yapı şekilleri mümkündür.

Koruma Tipi : Standart koruma tipi IP 44'tür.

Yataklar : Yataklar için standart bilyalı rulmanlar kullanılır.

Mil Ucu : Mil uçlarına DIN 6885/6888'e uygun olarak kama kanalı açılmıştır.

Motor kamalı olarak teslim edilmektedir.

Soğutma Fanı : Sıcaklığa dayanıklı plastikten yapılmış olup, her iki dönüş yönünde çalışmaya uygundur.

Boya : Motorlar gri renkte boyanmaktadır.

### B) Konstrüksiyon Özellikleri:

Gövde : Motor gövdeleri hafif, korozyona ve şoka dayanıklı, ısı iletme özelliği yüksek olan alüminyum alaşımından basınçlı döküm metodu ile üretilmektedir.

Ayaklar : Ayaklar sabittir.

Kapaklar : Tüm motor kapakları alüminyumdan yapılmaktadır. Fan kapağı sactandır.

Alüminyum kapaklarda rulman yuvaları çelik bilezik ile takviye edilmiştir.

Terminal Kutusu : Terminal kutusu mil tarafından bakışa göre sağdadır.

Merkezkaç Anahtar ve Mekanizma : Motor içinde monte edilmiş anahtar ve mekanizma grubu ile peşpeşe ve alçak voltajda yüksek momentlerle kalkış imkanları sağlanmıştır.

Kondansatörler : Motorlar daimi devre ve kalkış kondansatörlü olarak yapılmaktadır.

### C) Elektriksel Özellikler:

Gerilim ve Frekans : Motorlar normal olarak 220 Volt, 50 Hz şebeke gerilimine göre dizayn edilmiştir. Bununla birlikte diğer voltaj ve frekans değerlerinde de üretilebilirler.

Tablo Değerleri : Tabloda verilen güçler ve işletme değerleri aşağıdaki şartlar için geçerlidir:

- \* Anma gerilimden  $\pm$  %5 sapmalar.
- \* 50 Hz frekans.
- \* 40 °C ortam sıcaklığı.
- \* Deniz seviyesinden 1000 metreye kadar olan yükseklikler.

İzolasyon Sınıfı: Motorların standart izolasyon sınıfı B'dir. Buna göre 40 °C ortam sıcaklığında sargıların sıcaklık artışı 80 K olabilir.

### D) Özel Uygulamalar:

Standartların dışında aşağıdaki özel uygulamalar mümkündür:

- \* Özel mil ve çift mil çıkışı.
- \* Özel flanş.
- \* Özel izolasyon sınıfı.
- \* Değişik gerilim ve frekans.
- \* Daha yüksek koruma tipleri ( IP 54, IP 55 ).

### Motor Tip Kodlarının Açıklaması:

Örnek Motor Kodu : 5 KC 8 7 C 013 01

5 : Döner Makine. ( Elektrik Motoru ).

KC : KC - Kalkış kapasitörlü endüksiyon motoru.

KCP - Daimi devre kapasitörlü endüksiyon motoru.

8 : 7 - 71 Gövde.

8 - 80 Gövde.

9 - 90 Gövde.

7 : Tam kapalı fan soğutmalı motor.

C : A - 2800 d/d.

C - 1400 d/d.

013 : Beygir Gücü BG.

01 : Grup Nosu.

Motorlar IEC tavsiyelerine, DIN, VDE ve Türk Standartları TS 4239'a uygun olarak üretilmektedir.

### 5.3. SUTEM İŞLETMESİ İPK ÇALIŞMASI

KOÇ 2000 projesi çerçevesi içinde TEE A.Ş.'de de İstatistiksel Proses Kontrol ile ürün kalitesini daha üretilmeden ve minimum kayıpla sağlayabilmek amacıyla çeşitli kalite çalışmaları başlatılmıştır. SUTEM İşletmesi olarak İPK faaliyetleri için 1996 yılı sonunda karar alınmıştır. Yapılacak temel faaliyetlere ait bir plan Şekil 5.2.'de yer almaktadır.

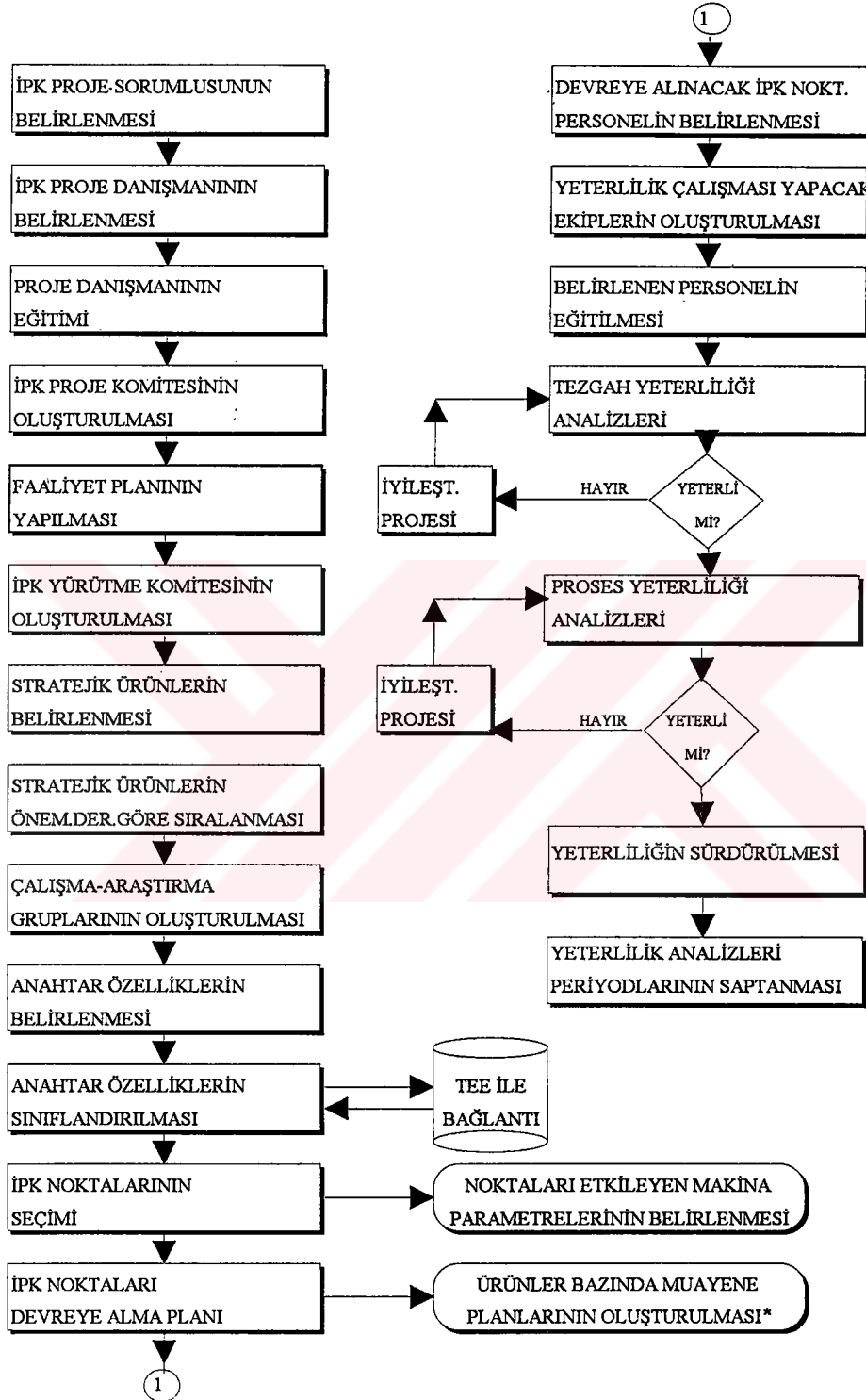
1997 yılı sonu itibari ile yapılan çalışmalar aşağıda özet bir şekilde anlatılmaktadır.

Şekil 5.2.'de yer alan temel faaliyetlerden Stratejik ürünlerin belirlenmesi aşamasına kadar olan faaliyetler, mutlaka üst yönetimin tam katılımı ve desteğini içermelidir. Ayrıca asli görevi, projenin başından sonuna kadar tüm aşamalarını yürütmek ve kontrol etmek olan bir proje ekip lideri görevlendirilmelidir. Seçilen bu lider görevi yerine getirebilecek bilgi (Toplam Kalite felsefesi, Temel İstatistiksel Yöntemler vb.) ve yeteneklere (liderlik, yaratıcılık vb) sahip olmalıdır. Uygulama öncelikle bir pilot bölgede yürürlüğe konularak tecrübe ve bilgi edinilmeli, daha sonra tüm gerekli proseslere yaygınlaştırılmalıdır. SUTEM işletmesinde, bu aşama üst yönetimin önderliği ve katılımı ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Seçilen proje danışmanı KOGEM'de (yeni adı ile İDEA) istatistiksel proses kontrolü ile ilgili detaylı bir eğitim programına katılmıştır. Daha sonra faaliyet planı ve İPK Yürütme Komitesi oluşturulmuştur. İPK yürütme komitesinin denetimi ve proje liderinin önderliği ile pilot bölge seçilen kapak ve mil işleme holü için aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### 5.3.1. STRATEJİK ÜRÜNLERİN BELİRLENMESİ

Seçilen pilot bölge içinde işlenen ürünlerden stratejik olanlarının tesbit edilmesi gereklidir. Bu ürünlerin seçilmesi ve sıralanmasında müşteri şikayetleri, iskarta raporları, ürün denetimleri gibi geçmiş verilerden faydalanılmalıdır.

### İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL İŞLEM SIRASI



Şekil 5.2. SUTEM İşletmesi İPK uygulama planı.

İşletmede yapılan değerlendirme sonucunda aşağıda sayılan stratejik ürünler tesbit edilmiştir:

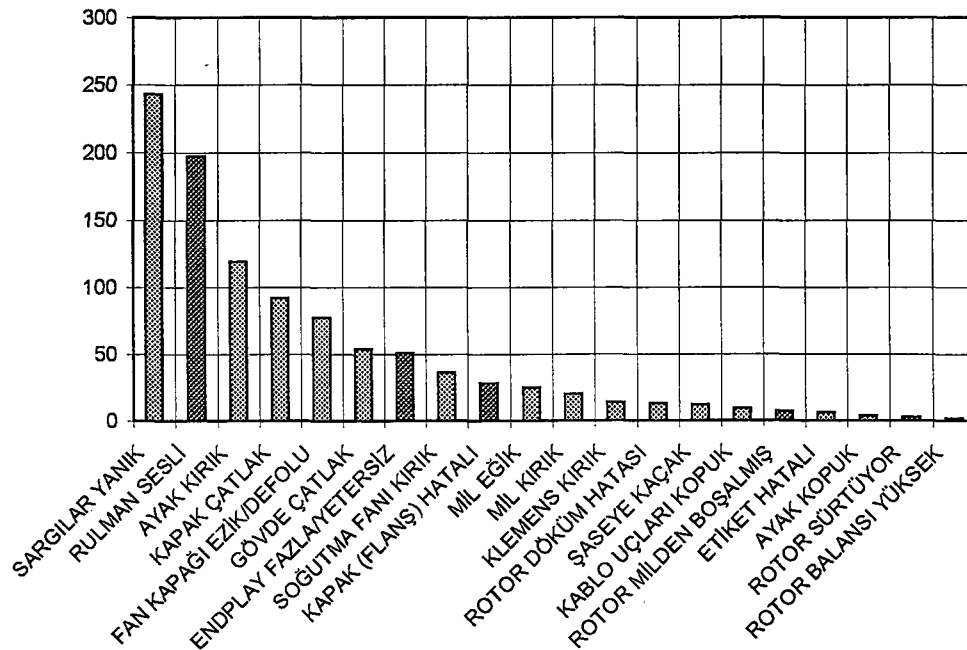
- Yeni tasarımlar (QS motorlar )
- Yurtdışı satış adeti en yüksek olan tipler
- Müşteriler tarafından istenen kritik ölçüler
- Müşteri şikayetinin en yüksek olduğu tipler
- Iskarta oranı en yüksek olan yarımamüller
- Kalite indeksi en düşük olan tipler

### 5.3.2. STRATEJİK ÜRÜNLERİN ÖNEM SIRASINA DİZİLMESİ

Ürünlerin önem sırasına dizilmesinde aşağıdaki kriterler ve veriler dikkate alınmalıdır.

#### a) Müşteri şikayetleri :

İşletmenin ürünleri ile ilgili olarak müşterilerden gelen şikayetler (son bir yıla veya mümkünse daha uzun bir döneme ait) incelenerek, müşterileri en çok rahatsız eden sorunlar tesbit edilmelidir. Müşteri şikayetleri bilgileri, müşteri iade raporları veya belirli dönemlerde yapılan müşteri memnuniyeti anketleri kullanılarak sağlanmalıdır. SUTEM işletmesi için yapılan değerlendirme sonuçları Şekil 5.3.'de bir grafik olarak gösterilmiştir.

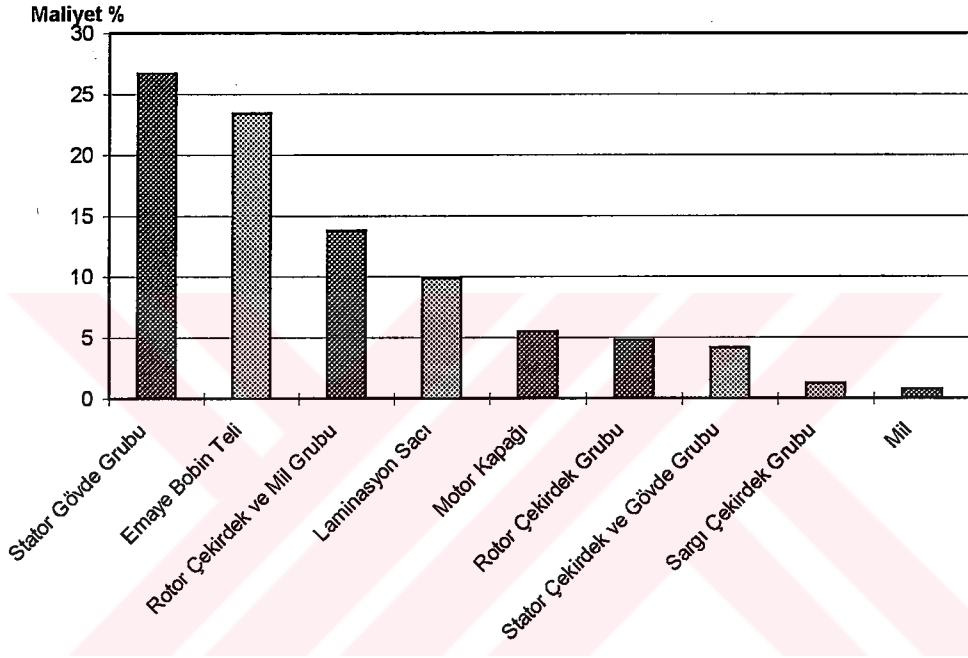


Şekil 5.3. Kritik ürünlerin belirlenmesi için toplanan müşteri iadeleri bilgileri

b) Iskartalar :

Kritik ürünlerin belirlenmesi ve sıralanmasında kullanılan ikinci önemli bilgi kaynağı üretim tarafından günlük olarak tutulan ıskarta ve fire raporları olmalıdır. Bu raporlardaki bilgiler kullanılarak, işletmenin en fazla kayıp verdiği ürünler ve bu ürünlerin üretildiği prosesler tesbit edilir.

SUTEM işletmesi ıskarta raporlarından derlenen bilgiler çerçevesinde Şekil 5.4.'deki gibi bir grafik hazırlanmıştır.

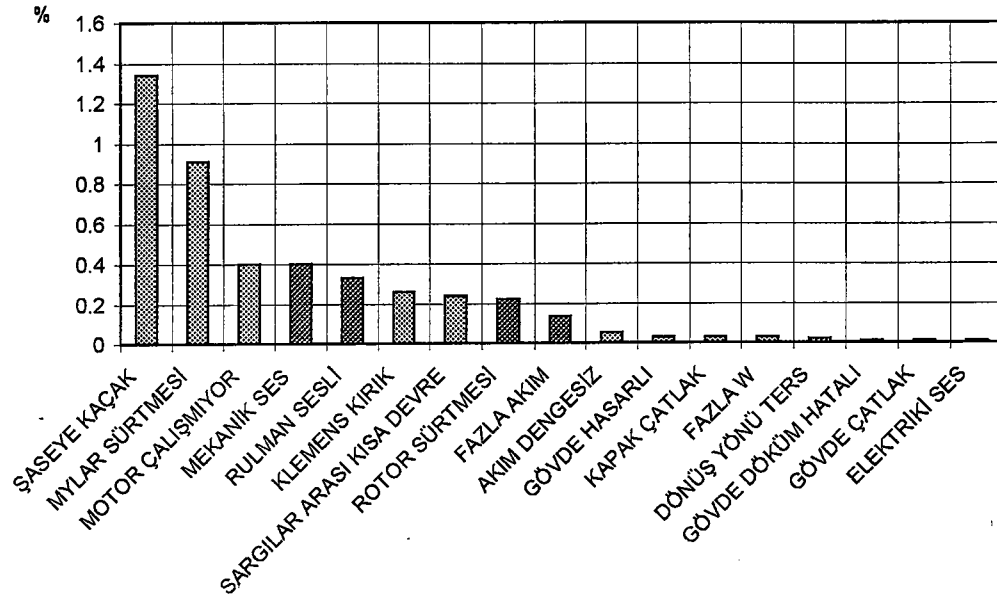


Şekil 5.4. Iskarta raporlarına göre ürün gruplarının toplam maliyet içindeki yüzdesi.

c) Kalite indeksi :

Üretilen nihai ürün kalitesi, bize ürünün komponentlerinin de kalitesi hakkında bilgiler verecektir. Stratejik ürünlerin seçimi ve sıralanmasında bu bilgilerden elde edilen sonuçlar da mutlaka değerlendirilmelidir.

Kalite endeksini belirlemek için yapılan son kontrol işlemi ile elde edilen verilerle SUTEM için çizilen grafik :



Şekil 5.5. Son kontrol hataları grafiği.

d) Ürün denetim sonuçları (MERKEZ + SUTEM) :

Stratejik ürün seçimi ve sıralamasında müşteri şikayetleri, kalite endeksi (son kontrol raporları), hurda raporları ile elde edilen verilere ek olarak ürün denetim raporlarının sonuçları da mutlaka değerlendirilmede kullanılmalıdır. Böylece üretimde gözden kaçmış veya sonradan ortaya çıkmış ve henüz müşteri tarafından bir şikayet unsuru olarak tesbit edilmemiş sorunlar da değerlendirme kapsamına sokulmuş olur.

SUTEM işletmesinde ürün denetimleri sonucu elde edilen veriler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

**Tablo 5.2.** Ürün denetimi sonuçları (Kapak dış çap ölçümü).

| Yarımamül | Hata    | Tip             | Tolerans | Sapma        |
|-----------|---------|-----------------|----------|--------------|
| Kapak     | Dış çap | 63 fr trifaze   | 0.035    | 0.06/-0.08   |
|           |         | 71 fr trifaze   | 0.035    | -0.02 /-0.08 |
|           |         | 80 fr trifaze   | 0.035    | 0.04/-0.1    |
|           |         | 90 fr trifaze   | 0.040    | 0.02/-0.05   |
|           |         | 100 fr trifaze  | 0.040    | 0.04/-0.06   |
|           |         | 112 fr trifaze  | 0.040    | -0.02/-0.08  |
|           |         | 132S fr trifaze | 0.046    | -0.06/-0.11  |
|           |         | 132M fr trifaze | 0.046    | -0.04/-0.07  |
|           |         | 160 fr trifaze  | 0.046    | -0.02/-0.18  |
|           |         | 180 fr trifaze  | 0.052    | -0.01/-0.12  |
|           |         | 200 fr trifaze  | 0.052    | -0.02/-0.07  |
|           |         | 225 fr trifaze  | 0.052    | -0.02/-0.10  |

**Tablo 5.3.** Ürün denetimi sonuçları (Motor sıkma torku ölçümü).

| Mamül | Hata        | Tip             | Tolerans     | Sapma        |
|-------|-------------|-----------------|--------------|--------------|
| Motor | Sıkma torku | 63 fr trifaze   | 4.5 ± 0.5 Nm | -1/-1.5 Nm   |
|       |             | 71 fr trifaze   | 4.5 ± 0.5 Nm | -1/-1.5 Nm   |
|       |             | 80 fr trifaze   | 5 ± 0.5 Nm   | -0.5/-1.5 Nm |
|       |             | 90 fr trifaze   | 5 ± 0.5 Nm   | -2/+3 Nm     |
|       |             | 100 fr trifaze  | 5 ± 0.5 Nm   | -2/+2 Nm     |
|       |             | 112 fr trifaze  | 5 ± 0.5 Nm   | -2/+2 Nm     |
|       |             | 132S fr trifaze | 9 ± 0.5 Nm   | -2/+2 Nm     |
|       |             | 132M fr trifaze | 9 ± 0.5 Nm   | -2/+2 Nm     |
|       |             | 160 fr trifaze  | 9 ± 0.5 Nm   | -2/+2 Nm     |
|       |             | 180 fr trifaze  | 22 ± 0.5 Nm  | -6/ -9 Nm    |

**Tablo 5.4.** Ürün denetimi sonuçları (Gövde kapak geçen çap ölçümü).

| Yarımamül | Hata            | Tip            | Tolerans | Sapma      |
|-----------|-----------------|----------------|----------|------------|
| Gövde     | Kapak geçen çap | 160 fr trifaze | +/-0.02  | 0.12/-0.17 |
|           |                 | 180 fr trifaze | +/-0.02  | 0.08/-0.11 |
|           |                 | 200 fr trifaze | +/-0.02  | 0.012/-0.1 |
|           |                 | 225 fr trifaze | +/-0.02  | 0.013/-0.1 |

**Tablo 5.5.** Ürün denetimi sonuçları (Kapak rulman yeri çapı ölçümü).

| Yarımamül | Hata            | Tip             | Tolerans     | Sapma         |
|-----------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|
| Kapak     | Rulman yeri çap | 63 fr trifaze   | 0.011        | +0.003/-0.004 |
|           |                 | 71 fr trifaze   | 0.011        | -0.02 /-0.08  |
|           |                 | 80 fr trifaze   | 0.011        | 0.04/-0.1     |
|           |                 | 90 fr trifaze   | 0.013/-0.006 | 0.02/-0.05    |
|           |                 | 100 fr trifaze  | 0.013/-0.006 | 0.04/-0.06    |
|           |                 | 112 fr trifaze  | 0.013/-0.006 | -0.02/-0.08   |
|           |                 | 132S fr trifaze | 0.013/-0.006 | -0.06/-0.11   |
|           |                 | 132M fr trifaze | 0.016/-0.06  | -0.04/-0.07   |
|           |                 | 160 fr trifaze  | 0.016/-0.06  | -0.02/-0.18   |
|           |                 | 180 fr trifaze  | 0.016/-0.06  | -0.01/-0.12   |

**Tablo 5.6.** Ürün denetimi sonuçları (Motor boya hatası)

| Mamül | Hata        | Genel Hatalar               |
|-------|-------------|-----------------------------|
| Motor | Boya Hatası | Eksik Runtuşlama            |
|       |             | Flanş çap temizlik yetersiz |
|       |             | Yetersiz kuruma             |

**Tablo 5.7.** Ürün denetimi sonuçları (Rotor mil gr. gruplama ölçüsü).

| Yarımamül     | Hata            | Tip            | Tolerans | Sapma     |
|---------------|-----------------|----------------|----------|-----------|
| Rotor mil gr. | Gruplama ölçüsü | 5KC77 monofaze | max.0.05 | 0.01/0.04 |
|               |                 | 5KC87 monofaze | max.0.05 | 0.02/0.03 |
|               |                 | 5KC97 monofaze | max.0.05 | 0.02/0.08 |

### 5.3.3. KRİTİK ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ VE SIRALANMASI

Stratejik ürünlerin tesbiti ve önem derecesine göre sıralanmasından sonra stratejik ürünler için kritik ölçülerin belirlenmesi aşamasına geçilir. Kritik ölçülerin belirlenmesi geçmiş verilerin incelenmesinden daha çok teknik bir analizdir. Bu analizde, daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi ürün üzerindeki ölçülerden hangilerinin ürünün performansını ve müşterinin kullanımını etkileyecek kritik ölçüler olduğunun tesbiti yer alır.

SUTEM’de yapılan bu değerlendirme işleminden sonra kritik olarak tesbit edilen ve önem sırasına dizilen ölçüler aşağıdaki gibi tesbit edilmiştir :

- Motor kapağı rulman yeri çap ölçüsü.
- Motor kapağı , rulman yeri derinlik ölçüsü.
- Motor kapağı , gövde geçen çap ölçüsü.
- Rotor mil grubu iki yatak arası ölçüsü.
- Rotor mil grubu,rotor gruplama ölçüsü.
- Stator çekirdek grubu iç çap ölçüsü.
- Stator çekirdek grubu , kapak geçen çap ölçüsü.
- Motor , kapak ve ayak bağlantı civata sıkma tork değerleri.

#### 5.3.4. İPK NOKTALARININ TESBİTİ

Seçilen ürünlerin kritik ölçülerinin işlendiği tezgahlar, İstatistiksel Proses Kontrol noktası olarak tesbit edilmelidir.

#### 5.3.5. EĞİTİM

Seçilen İstatistiksel Proses Kontrol noktalarında görev alacak personelin tesbit edilmesi ve kontrol işleminin (veri toplama ve değerlendirme) nasıl yapılması gerektiği konusunda eğitimlerin verilmesi aşamasıdır. İPK proje sorumlusunun hazırlamış olduğu eğitim programları ile, seçilen personele, anlayabilecekleri şekilde ve formatta hazırlanmış bir eğitim programı verilmelidir. Personele verilecek eğitimin içeriğinde şu dört ana konu yer almalıdır.

- İPK temel bilgileri, tanımı, kullanım amaçları.
- Kontrol diyagramı bilgileri.
- Kontrol diyagramlarının yorumlanması ile ilgili bilgiler (detaylı)
- Kontrol limiti ve spesifikasyon limiti gibi kavramlar arasındaki fark.

SUTEM işletmesinde İPK projesinin başlatıldığı günden itibaren tüm personelin (Beyaz ve Mavi Yaka) eğitimi ile ilgili yoğun bir süreç yaşanmaktadır.

### 5.3.6. TEZGAH YETERLİLİĞİ ANALİZLERİ

Yukarıdaki tüm ön hazırlık aşamaları tamamlandıktan sonra yapılacak ilk iş tezgah yeterlilik analizlerinin yapılmasıdır. Tezgah yeterlilik analizlerinde takip edilecek adımlar 4. bölümde detaylı olarak verilmiştir. Tezgah yeterlilikleri düşük çıkan tezgahlar için yeterliliklerin arttırılması amacıyla bir iyileştirme proje ekibi kurulmalı ve en kısa sürede tezgahlar yeterli duruma getirilmelidir.

SUTEM işletmesinde seçilen istatistiksel proses kontrol noktalarında yer alan tezgahların yeterliliğinin analiz edilmesi aşamasında, analiz edilen 14 tezgahtan 6 adedi yeterlilik sınırını geçememiştir. Bu tezgahlar sıra ile :

- INDEX 1 Kapak işleme tezgahı
- INDEX 3 Kapak işleme tezgahı
- MAUSER Kapak işleme tezgahı
- GF Büyük mil işleme tezgahı
- SCHAUDT Taşlama tezgahı (KT/KTA)
- DUBIED Rotor dış çap torna tezgahı

Listedeki tezgahların yeterlilik indeksleri  $C_m = 1.33$  değerinin altındadır.

Yapılan yeterlilik analizi işlemi için geliştirilen ve yetersiz çıkan tezgahlara ait iki adet örnek form Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de görülebilir.

Yetersiz çıkan tezgahların yeterliliklerinin arttırılması için bir İyileştirme Proje Ekibi kurulmuştur. Kurulan bu iyileştirme proje ekibinin görevi; tezgahların yetersizliğinin olası nedenlerinin tesbit edilerek ortadan kaldırılması konusunda alınması gereken tedbirleri belirlemek ve yönetime sunmaktır.

İlk adım tezgah yeterlilik katsayısını etkileyen faktörlerin belirlenmesidir. Ekip yapmış olduğu ilk çalışmasında, beyin fırtınası yöntemi ile olası nedenleri aşağıdaki gibi tesbit etmiş ve nominal grup tekniği (nedenlerin, grup üyeleri tarafından ağırlıklandırılarak yapılan sıralama işlemi) ile önem derecesine göre sıralamıştır. Nedenler:

- Operatörlerin eğitimi yetersiz.
- Kesici uç tipi seçimi hatalı.
- Soğutma sıvısı.
- Tezgah ilerlemesi , devir.
- Yarımamül malzeme özellikleri.

# TEZGAH YETERLİLİK ANALİZ FORMU

Tarih  
21/11/1996

Kart No  
220-2

|                           |                   |                     |
|---------------------------|-------------------|---------------------|
| Operasyon                 | Tezgaah Adı / No: | G.F.                |
|                           | Operasyon Adı:    | Mil İşleme          |
|                           | Operasyon No:     | 220                 |
|                           | Parça Adı:        | 100 L Mil           |
|                           | Parça Resim No:   | 6423009             |
| Kullanılan Ölçme Aletleri |                   | Kalibrasyon Seri No |
| Kumpas                    |                   | 011238010840        |
|                           |                   |                     |
|                           |                   |                     |
|                           |                   |                     |
|                           |                   |                     |

|                                |                                  |                      |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Parça Bilgileri                | İncelenen Karakteristik/Ölçü Adı | Rulman yerleri arası |
|                                | Resim Ölçüsü                     | 184 +0.1 / 0         |
|                                | Üst Tolerans Değeri (Tmax)       | 184.100              |
|                                | Alt Tolerans Değeri (Tmin)       | 184.000              |
|                                | Ortalama Ölçü (Tmax+Tmin)/2      | 184.050              |
| Tolerans Aralığı (T=Tmax-Tmin) |                                  | 0.100                |
| Açıklamalar                    | Operatör:                        | Ahmet Sancaklı       |
|                                | Kesici Uç                        | TNMG 433RL UG25      |
|                                | Sıcaklık:                        | 20 C                 |
|                                | Soğutma sıvısı:                  | HD 35 Bor Yağı       |

| Alınan Ölçümler | SIRA | ÖLÇÜM  | SIRA | ÖLÇÜM  | SIRA | ÖLÇÜM  | SIRA | ÖLÇÜM  | SIRA | ÖLÇÜM  | SIRA | ÖLÇÜM  | SIRA | ÖLÇÜM  |
|-----------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|                 | 1    | 184.06 | 8    | 184.06 | 15   | 184.05 | 22   | 184.04 | 29   | 184.03 | 36   | 184.04 | 43   | 184.04 |
|                 | 2    | 184.07 | 9    | 184.07 | 16   | 184.06 | 23   | 184.04 | 30   | 184.03 | 37   | 184.05 | 44   | 184.03 |
|                 | 3    | 184.05 | 10   | 184.07 | 17   | 184.04 | 24   | 184.05 | 31   | 184.04 | 38   | 184.04 | 45   | 184.04 |
|                 | 4    | 184.06 | 11   | 184.06 | 18   | 184.03 | 25   | 184.06 | 32   | 184.04 | 39   | 184.04 | 46   | 184.06 |
|                 | 5    | 184.05 | 12   | 184.05 | 19   | 184.04 | 26   | 184.05 | 33   | 184.03 | 40   | 184.05 | 47   | 184.04 |
|                 | 6    | 184.06 | 13   | 184.08 | 20   | 184.05 | 27   | 184.03 | 34   | 184.03 | 41   | 184.05 | 48   | 184.05 |
|                 | 7    | 184.07 | 14   | 184.06 | 21   | 184.05 | 28   | 184.03 | 35   | 184.06 | 42   | 184.05 | 49   | 184.04 |
|                 |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |

|                              |                 |        |        |
|------------------------------|-----------------|--------|--------|
| Tezgaah Yeterlilik Sonuçları | Ortalama        | X      | 184.05 |
|                              | Dağılım Aralığı | R      | 0.05   |
|                              | Standart Sapma  | S      | 0.0139 |
|                              | Doğal Tolerans  | Td k=6 | 0.0836 |
|                              | Bir Önceki      | Cm     |        |
|                              | Bir Önceki      | Cmk    |        |

| TEZGAH YETERLİLİK KATSAYILARI |                |
|-------------------------------|----------------|
| Cm : 1.196219                 | Olması Gereken |
| Cmkü : 0.626819               | Cm > 1.33      |
| Cmka : 0.5894                 | Cmk > 1.33     |

☐ Cm ve Cmk değeri istenen değerden büyüktür tezgaah yeterlidir.

☒ Cm değeri 1.33'den küçük olduğundan Düzeltici Faaliyet açıldı.

**Şekil 5.6.** Tezgah yeterlilik analizi formu örneği.

| TEZGAH YETERLİLİK ANALİZ FORMU |                   |                     |                   |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        | Tarih<br>28/11/1996 |      | Kart No<br>330-1 |      |        |  |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|------|------------------|------|--------|--|
| Operasyon                      | Tezgaah Adı / No: |                     | SCHAUDT           |                                                                                                                                                                                               | Parça Bilgileri |                                           | İncelenen Karakteristik/Ölçü Adı |                       | Kasnak Yeri Çap        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Operasyon Adı:    |                     | KT Taşlama        |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           | Resim Ölçüsü                     |                       | 14k6 (+0.012 / +0.001) |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Operasyon No:     |                     | 330               |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           | Üst Tolerans Değeri (Tmax)       |                       | 14.012                 |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Parça Adı:        |                     | 71M4B Rot.Çek.Gr. |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           | Alt Tolerans Değeri (Tmin)       |                       | 14.001                 |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Parça Resim No:   |                     | 6422005           |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           | Ortalama Ölçü (Tmax+Tmin)/2      |                       | 14.007                 |                     |      |                  |      |        |  |
| Kullanılan Ölçme Aletleri      |                   | Kalibrasyon Seri No |                   | Açıklamalar                                                                                                                                                                                   |                 | Operator:                                 |                                  | Mehmet Çınar          |                        |                     |      |                  |      |        |  |
| Digital Mikrometre             |                   | 013030360340        |                   |                                                                                                                                                                                               |                 | Kesici Uç:                                |                                  | 80 Kum Taş 800x305x70 |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                |                   |                     |                   |                                                                                                                                                                                               |                 | Sıcaklık:                                 |                                  | 15 C                  |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                |                   |                     |                   |                                                                                                                                                                                               |                 | Soğutma Sıvısı:                           |                                  | Renol SF-3/B          |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                |                   |                     |                   |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
| Alınan Ölçümler -X-            | SIRA              | ÖLÇÜM               | SIRA              | ÖLÇÜM                                                                                                                                                                                         | SIRA            | ÖLÇÜM                                     | SIRA                             | ÖLÇÜM                 | SIRA                   | ÖLÇÜM               | SIRA | ÖLÇÜM            | SIRA | ÖLÇÜM  |  |
|                                | 1                 | 14.007              | 8                 | 14.008                                                                                                                                                                                        | 15              | 14.012                                    | 22                               | 14.002                | 29                     | 14.006              | 36   | 14.006           | 43   | 14.004 |  |
|                                | 2                 | 14.007              | 9                 | 14.007                                                                                                                                                                                        | 16              | 14.011                                    | 23                               | 14.013                | 30                     | 14.007              | 37   | 14.008           | 44   | 14.005 |  |
|                                | 3                 | 14.007              | 10                | 14.005                                                                                                                                                                                        | 17              | 14.011                                    | 24                               | 14.006                | 31                     | 14.007              | 38   | 14.002           | 45   | 14.011 |  |
|                                | 4                 | 14.007              | 11                | 14.009                                                                                                                                                                                        | 18              | 14.008                                    | 25                               | 14.006                | 32                     | 14.003              | 39   | 14.002           | 46   | 14.003 |  |
|                                | 5                 | 14.005              | 12                | 14.013                                                                                                                                                                                        | 19              | 14.008                                    | 26                               | 14.005                | 33                     | 14.006              | 40   | 14.008           | 47   | 14.008 |  |
|                                | 6                 | 14.010              | 13                | 14.011                                                                                                                                                                                        | 20              | 14.006                                    | 27                               | 14.007                | 34                     | 14.005              | 41   | 14.003           | 48   | 14.005 |  |
|                                | 7                 | 14.008              | 14                | 14.007                                                                                                                                                                                        | 21              | 14.004                                    | 28                               | 14.011                | 35                     | 14.008              | 42   | 14.004           | 49   | 14.008 |  |
| Tezgaah Yeterlilik Soruçları   | Ortalama          | X                   | 14.01             | TEZGAH YETERLİLİK KATSAYILARI                                                                                                                                                                 |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Dağılım Aralığı   | R                   | 0.01              |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Standart Sapma    | S                   | 0.0026            |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Doğal Tolerans    | Td k=6              | 0.0156            |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Bir Önceki        | Cm                  |                   | <b>Cm</b> : 0.703452<br><b>Cmkü</b> : 0.315914<br><b>Cmka</b> : 0.387538                                                                                                                      |                 | Olması Gereken<br>Cm > 1.33<br>Cmk > 1.33 |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                | Bir Önceki        | Cmk                 |                   |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                |                   |                     |                   | <input type="checkbox"/> Cm ve Cmk değeri istenen değerden büyüktür tezgaah yeterlidir.<br><input checked="" type="checkbox"/> Cm değeri 1.33'den küçük olduğundan Düzeltici Faaliyet açıldı. |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |
|                                |                   |                     |                   |                                                                                                                                                                                               |                 |                                           |                                  |                       |                        |                     |      |                  |      |        |  |

TEE Form No : F32.112-02 Rev. 0 ( DIN A4 )

Şekil 5.7. Tezgaah yeterlilik analizi örnek formu.

- İşleme ve bağlama şekli.
- Ölçme sistemi yetersiz.
- Taşlamalarda şablon sistemi kullanılması , kullanılan taş cinsi.
- Elektrik kesintileri , dalgalanmalar.
- Tezgah teknolojileri eski.

Nominal grup tekniği ile sıralanmış nedenler:

- Tezgah teknolojileri eski (tezgah programlama sistemi hatalı yetersiz veya arızalı)
- Soğutma sıvısı , Kesici uç tipi
- Tezgah ilerlemesi , devir
- Malzeme özellikleri
- İşleme ve bağlama şekli
- Ölçme sistemi
- Taşlamalarda şablon sistemi kullanılması , kullanılan taş cinsi
- Elektrik kesintileri , dalgalanmalar

Olası nedenlerin doğrulanması ve asıl nedenlerin belirlenmesi :

a) Taşlama Tezgahları için :

- Tezgahın üzerindeki ölçme sisteminin arızalı olması , sürekli operatör müdahalesini gerektirmektedir.
- Şablonlar çabuk aşınmaktadır.
- Kesme sıvısı yüzey kalitesini ve son ölçüyü etkilemektedir.

b) Mil İşleme Tezgahları için :

- Kesici takım ömrü yetersizdir.
- Tezgah hassasiyeti yetersizdir.
- GF büyük mil işleme tezgahının X ve Z ekseninde ilerleme hızları ayarlanamıyor.
- Tezgahta ısınma problemi vardır.

c) Kapak İşleme Tezgahları için :

- Mauser tezgahında , paso verme ve ilerleme ayarları tam olarak yapılamıyor.
- Index tezgahlarında ani elektrik kesintileri ve gerilim düşümleri nedeniyle tezgah ayarları değişmektedir.
- Parçaları bağlantı fikstürlerinin aşırı sıkması sonucu ovallik ve tolerans dışılık belirlenmiştir.

Daha sonraki adım olarak belirlenen temel nedenler için çözümlerin belirlenmesi ve uygulanması aşamasına geçilmiştir. Tesbit edilen çözümler uygulamaları :

a) Taşlama Tezgahları için :

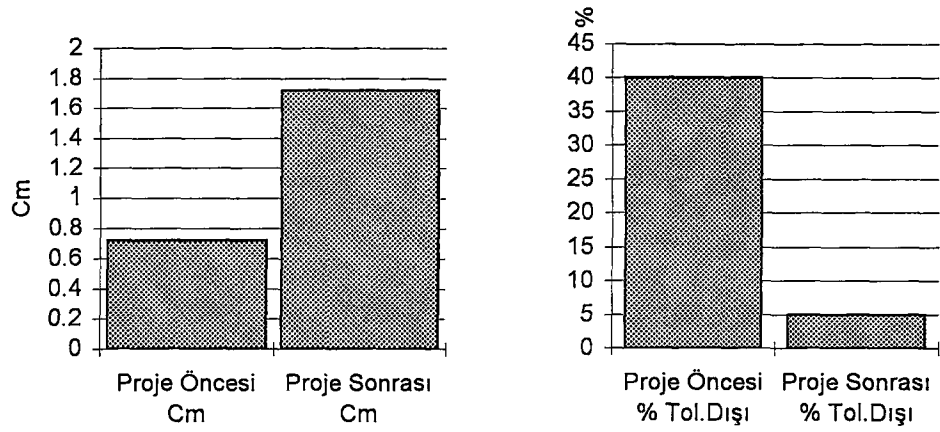
- Schaudt KT taşlama tezgahında ölçme ve kumanda sistemi PLC kontrollu yapılacaktır. Ocak 98'de devreye alınacaktır.
- Şablon sistemi ortadan kalkacaktır.
- Deterjanlı kesme sıvısı kullanılmaya başlanmıştır.

b) Kapak İşleme Tezgahları için :

- Tüm CNC tezgahlarına, ani elektrik kesintilerinden ve gerilim düşümlerinden etkilenmemesi amacı ile UPS bağlanmıştır.
- Index kapak işleme tezgahlarında parça bağlantı fikstürleri işleme parçasına uygun hale getirilerek ovallik ve tolerans dışılık azaltılmıştır.

İyileştirme Proje Ekibinin yetersiz çıkan tezgahlar için yapmış oldukları tüm çalışmalar (nedenlerin tesbiti, ortadan kaldırılması için gerekli çözümler ve bu çözümlerin uygulanması ile elde edilecek yararlar) üst yönetimin de katıldığı bir sunuş ile raporlanmıştır. Bu raporda uygulanan çözümler ile elde edilen sonuçlar ve kazançlar aşağıdaki gibi sunulmuştur.

Tezgah yeterlilik katsayıları ortalama  $C_m=0.72$  değerinden  $C_m=1.70$ 'e yükselmiştir. (Şekil 5.8.)



**Şekil 5.8.** Uygulanan çözüm önlemleri ile yeterlilik katsayılarındaki artış.

**Tablo 5.8.** Tezgah bazında yeterlilik sonuçları.

|                                    | Proje Öncesi<br>Cm | Proje Sonrası<br>Cm |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|
| INDEX 1 Kapak işleme tezgahı       | 0.39               | 1.63                |
| INDEX 3 Kapak işleme tezgahı       | 0.56               | 1.72                |
| GF Büyük mil işleme tezgahı        | 1.20               | 1.70                |
| SCHAUDT Taşlama tezgahı (KT)       | 0.70               | Devam Ediyor        |
| SCHAUDT Taşlama tezgahı (KTA)      | 0.80               | Devam Ediyor        |
| DUBIED Rotor dış çap torna tezgahı | 0.67               | 1.82                |

Uygulanan çözümler ile elde edilen faydalar genel olarak şöyle sıralanabilir :

1) Schaudt KT taşlama tezgahında ölçme ve kumanda sistemi PLC kontrollü yapılması ile;

- Tezgahtaki mekanik şablon yerine PLC haberleşmeli redüktörlü servo motor kullanılarak analog değerli ölçü sistemi oluşturulacaktır. (Şablonun bağlantı konumu zaman içinde çevre ve titreşimlerle veya şablon aşınmalarıyla bozulduğundan istenen ölçü değerlerine ulaşmak bu mevcut sistemde mümkün değildi.)
- Tezgaha ölçme sistemi kurularak istenilen ölçü ve hassasiyette mil işlenecek ve ölçü kontrolü daha az yapılarak zaman tasarrufu sağlanacaktır.

- Üretim prosesi koordinat okuyucularla gerçekleşeceğinden, mevcut sistemdeki belirli periyotlarda el kumandası ile yapılan ve zaman kaybına neden olan işlemlerden kurtulunacaktır.
- Taş bileme operasyonu önceden belirlenen periyotta gerçekleştirileceğinden tezgah yeterliliği daha yüksek olacaktır.
- Aşındırıcı taşın çap ölçüsü kullanıma bağlı olarak zamanla küçülecek taş çevre hızıda taş devri sabit olduğundan düşecektir. Dolayısıyla yüzey kalitesi bozulabilecektir. Halbuki bir servo motor yardımıyla taş çapına bağlı olarak taş dönme hızı değişebilecektir.
- Operatör yeteneğine bağlı olmaksızın istenilen ölçü ve hassasiyetinin yanında ıskarta miktarında % 85 azalma, kayıp işçilik süresinde % 35 düşme elde edilebilecektir.

2) Schaudt taşlama tezgahlarında kullanılan kesme sıvısının değiştirilmesi ile yüzey pürüzlülük değerinde 0.1 Ra iyileştirme sağlanmıştır.

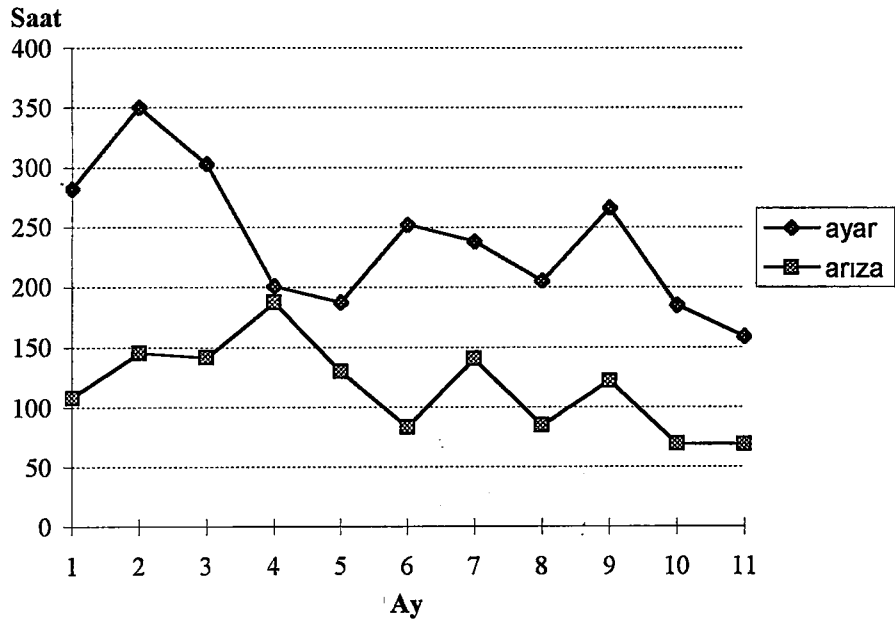
3) Schaudt taşlama tezgahlarında kullanılan kesme sıvısının değiştirilmesi ile taş bileme periyodu 40 parça/ bilemeden, 100 parça/bileme zamanına yükseldi. Yılda 600 saat bileme zamanı kazanılmış oldu.Parasal değeri yılda 1,920,000,000 TL kazanılmıştır.

4) Eski soğutma sıvısı 2~3 ayda bir tamamen değiştirilirken , yeni kullanılan deterjanlı soğutma sıvısı değişime gerek olmadan ilave ile bir yıl kullanılabilir. Bu şekilde yıllık 630,000,000 TL tasarruf sağlanmaktadır. Çevreye verilen atık madde miktarı da %90 azaltılmıştır.

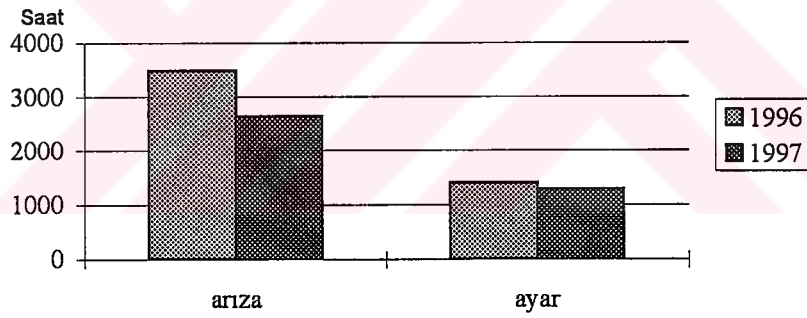
5) Tüm CNC tezgahlarına, UPS bağlanması ile ani elektrik kesintileri ve gerilim düşümleri sırasında hafızada olan programların etkilenmemesi ve değerlerin bozulmaması sağlanmıştır.

6) GF büyük mil işleme tezgahının X ve Z eksen motorları ve sürücüleri değiştirildi. İlerleme hızlarının ayarlanamaması ve tezgahta ısınma problemi giderilmiştir. Tezgah yeterlilik katsayısı  $C_m=1.20$ 'den,  $C_m=1.75$  değerine yükselecektir.

Talaşlı üretim sahasında 1997 yılı içinde ayar zamanında ortalama % 25, arıza nedeniyle bekleme süresinde ise % 10 azalma gerçekleşmiştir. 1996 yılına göre toplam bekleme sürelerinde ise %30 azalma gerçekleşmiştir.



Şekil 5.9. Ayar ve arıza süreleri karşılaştırması.



Şekil 5.10. Arıza ve ayar süreleri (saat/yıl) karşılaştırması.

Tablo 5.9. Bekleme süresi kazancı.

|                                 |               |          |
|---------------------------------|---------------|----------|
| 1996 yılı toplam bekleme süresi | 4887          | saattir. |
| 1997 yılı toplam bekleme süresi | 3905          | saattir. |
| Fark                            | 982           | saat     |
| Kazanç                          | 2,441,252,000 | TL       |

Elde edilen kazançlar maddi açıdan incelendiğinde sonuçlar Tablo 5.10.'daki gibidir.

**Tablo 5.10. Kazançlar toplamı.**

| Kazançlar Toplamı                                           |                              |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1-Schaut PLC dönüşümü                                       |                              |
| -İskarta geri dönüş kazancı (%85)                           | 985,000,000 TL/Yıl           |
| -Operatör müdahalesi işçilik zamanı kazancı (%35)           | 2,700,000,000 TL/Yıl         |
| 2-Schaut Kesme Sıvısı değişimi                              |                              |
| -Bilene zamanı işçilik kazancı                              | 1,920,000,000 TL/Yıl         |
| -Kesme sıvısı değişimi                                      | 630,000,000 TL/Yıl           |
| -Atıkların azalmasından kazanç (%80)                        | 250,000,000 TL/Yıl           |
| 3-GF Büyük mil torna X-Z eksen motor değişimi               |                              |
| -İşçilik kazancı (%20)                                      | 1,544,400,000 TL/Yıl         |
| -İskarta geri dönüş kazancı (%10)                           | 28,000,000 TL/Yıl            |
| 4-Tezgah ayar ve arıza bekleme sürelerinin geri kazanılması | 2,400,000,000 TL/Yıl         |
| <b>Toplam</b>                                               | <b>10,457,400,000 TL/Yıl</b> |

Uygulanacak önlemler için gerekli olan toplam yatırım miktarı ise Tablo 5.11.'deki gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 5.11. Gerekli yatırım giderleri.**

| Yatırım giderleri toplamı                     |                          |
|-----------------------------------------------|--------------------------|
| 1-Schaut PLC dönüşümü                         | 11,600,000,000 TL        |
| 2-Schaut Kesme Sıvısı değişimi                | 3,240,000,000 TL         |
| 3-GF Büyük mil torna X-Z eksen motor değişimi | 5,329,000,000 TL         |
| 4-CNC tezgahlara UPS bağlanması               | 847,000,000 TL           |
| <b>Toplam</b>                                 | <b>21,016,000,000 TL</b> |

### 5.3.7. PROSES YETERLİLİĞİ ÇALIŞMASI

Tezgah Yeterliliği aşamasında yeterli çıkan veya yeterliliği sonradan alınan önlemlerle artırılarak yeterli hale getirilen tezgahların içinde bulundukları prosesler için Proses Yeterlilik Analizi adımına geçilmelidir. Proses yeterlilik analizi çalışmasında izlenecek adımlar daha önce Bölüm 4'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Burada hatırlanması gereken en önemli husus; yeterlilik için prosesten alınacak verilerin, prosese etki eden tüm faktörleri yansıtabilecek özellikte olması

gerektiğidir. Bu adım sonrasında yetenekleri yeterli görülen prosesler için kontrol diyagramı uygulamasına geçilmelidir. Kontrol diyagramı için toplanacak verilerin zamanlaması ise, proses yeterlilik sonuçları değerlendirilerek kararlaştırılmalıdır.

SUTEM işletmesi için yapılan pilot çalışmada tezgah yeterlilik analizlerinden yeterlilikleri olumlu çıkmış olan prosesler için hemen sonrasında proses yeterliliği analizi çalışmaları başlamıştır. Yeterliliği olumlu çıkmayan tezgahlarda ise yapılan iyileştirme çalışmalarından sonra proses yeterliliği analizine geçilmeye başlanmıştır. Proses yeterliliği analizi çalışmaları halen devam etmekte olup, yeterli veri toplanan prosesler için yeterlilik kontrolü yapılarak, yeterli prosesler için kontrol diyagramı uygulamalarına geçilmektedir.

Aşağıda, 220 operasyon ile tanımlanan küçük mil işleme prosesi için yapılan bir proses yeterlilik analizi örnek olarak verilmiştir. Bu ürün için kritik olan değerlerden bir tanesi iki yatak arası ölçüsü olarak tesbit edilmiştir. Bu ölçü için spesifikasyonlar :

Üst spesifikasyon sınırı : 156.01

Standart Ölçü : 156

Alt spesifikasyon sınırı : 156

Bu spesifikasyon limitleri dikkate alınarak, prosesten 5'erli örnek alt gruplarından oluşan ürünler alınarak elde edilen değerler aşağıdadır.

$$\bar{X} = 156.005$$

$$\hat{\sigma} = 0.0012$$

$$C_m = 1.36 (> 1.33)$$

$$C_{mk-üst} = 1.26 (> 1 \text{ fakat } < 1.33 \text{ 'dür.})$$

Bu durumda proses kabul edilir. Ancak bu proses spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir. Bu nedenle de prosesin kontrolü sürdürülmelidir. Yukarıdaki veriler için çizilmiş proses yeterlilik şeması (Şekil 5.11.) bu yorum için bize katkıda bulunabilir.

**Tablo 5.12.** SUTEM, proses yeterlilik analizi verileri.

| Parça No | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | Ortalama | Dağılım Aralığı (R) |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------------------|
| 1        | 156.006 | 156.008 | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.0068 | 0.002               |
| 2        | 156.006 | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.0052 | 0.002               |
| 3        | 156.008 | 156.008 | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.0072 | 0.002               |
| 4        | 156.004 | 156.004 | 156.002 | 156.002 | 156.002 | 156.0028 | 0.002               |
| 5        | 156.004 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.004 | 156.0044 | 0.002               |
| 6        | 156.008 | 156.008 | 156.004 | 156.004 | 156.004 | 156.0056 | 0.004               |
| 7        | 156.004 | 156.004 | 156.002 | 156.002 | 156.004 | 156.0032 | 0.002               |
| 8        | 156.006 | 156.008 | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.0068 | 0.002               |
| 9        | 156.004 | 156.004 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.0044 | 0.002               |
| 10       | 156.004 | 156.006 | 156.006 | 156.008 | 156.008 | 156.0064 | 0.004               |
| 11       | 156.008 | 156.01  | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.0076 | 0.004               |
| 12       | 156.004 | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.0048 | 0.002               |
| 13       | 156.004 | 156.004 | 156.006 | 156.004 | 156.006 | 156.0048 | 0.002               |
| 14       | 156.008 | 156.008 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.006  | 0.004               |
| 15       | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.002 | 156.0044 | 0.004               |
| 16       | 156.008 | 156.008 | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.0072 | 0.002               |
| 17       | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.002 | 156.0044 | 0.004               |
| 18       | 156.006 | 156.004 | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.0052 | 0.002               |
| 19       | 156.004 | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.002 | 156.0044 | 0.004               |
| 20       | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.006 | 156.0052 | 0.002               |
| 21       | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.0056 | 0.004               |
| 22       | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.002 | 156.002 | 156.0036 | 0.004               |
| 23       | 156.004 | 156.006 | 156.006 | 156.008 | 156.006 | 156.006  | 0.004               |
| 24       | 156.008 | 156.008 | 156.008 | 156.006 | 156.006 | 156.0072 | 0.002               |
| 25       | 156.006 | 156.006 | 156.004 | 156.004 | 156.006 | 156.0052 | 0.002               |
| 26       | 156.004 | 156.004 | 156.006 | 156.008 | 156.006 | 156.0056 | 0.004               |

| SUTEM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |                   |                       | PROSES YETERLİLİK ANALİZ FORMU ( $\bar{X}/R$ ) |              | Kart Sorumlusu : | Kart No:          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------|------------------------------------------------|--------------|------------------|-------------------|
| Operasyon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Parça Adı | Karakteristik     | Tolerans              | Kontrol Sıklığı                                | Ölçüm Cihazı |                  | Tarih: 22.12.1992 |
| 220                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 9051.11.1 | İki Yataklı Ateşi | 156<br>+0.01<br>-0.03 |                                                | Kurupis      | Skala Aralığı    |                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |                   |                       |                                                |              | X Dağılımı       |                   |
| <p><math>\bar{X}</math> 156.0054</p> <p><math>R</math> 0.006</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                   |                       |                                                |              |                  |                   |
| <p><b>KONTROL LİMİTLERİ</b></p> <p><math>\bar{X} = 156.0054</math>, <math>R = 0.006</math></p> <p><math>ÜKL\bar{X} = \bar{X} + 0.577 \times R = 156.007</math></p> <p><math>AKL\bar{X} = \bar{X} - 0.577 \times R = 156.0034</math></p> <p><math>ÜKL_R = 2.114 \times R = 0.006</math></p>                                                                                                                                                                                                                                     |           |                   |                       |                                                |              |                  |                   |
| <p><b>PROSES YETERLİLİĞİ</b></p> <p>STD SAP = 0.0012</p> <p>Toplam Tolerans Aralığı</p> <p>Cp = 1.36</p> <p>Aşağıdaki 2 değerden küçük olan alınacaktır.</p> <p>Üst Tolerans = X</p> <p>Cpk = 1.36</p> <p>3 x STD SAP</p> <p>x-Alt Tolerans</p> <p>Cpk = 1.36</p> <p>3 x STD SAP</p> <p>Gerekli Yeterlik Değerleri :</p> <p>Cp: 1.36 Cpk: 1.26</p> <p>Gerekli Yeterlik Değerleri : (Bir önceki karttan)</p> <p>Cp: Cpk:</p> <p>Proses kontrol dışı/değil değil ise F32.112-5</p> <p>Operasyon bilgi formu doldurulacaktır.</p> |           |                   |                       |                                                |              |                  |                   |
| İmza:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |                   |                       |                                                |              |                  |                   |

Şekil 5.11. SUTEM İşletmesinde yapılmış bip proses yeterlilik analizi.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çetin rekabet şartları altında, sahip oldukları pazar paylarını korumaya çalışan tüm işletmelerin, ürünlerini daha düşük maliyet ve en az müşterilerini tatmin edecek düzeyde kalitede mal üretmeleri bir zorunluluktur. Aksi halde ürünleri, rakip ürünlere göre hem pahalı, hem de istenilen kalitede olamayan bir işletme olarak müşterilerinin belirli bir miktarını kaybedeceklerdir. Günümüzde, işletmeleri bu hedeflere (minimum maliyet ve en iyi kalite) ulaştırmada yardımcı araçlardan biri de hiç şüphesiz ki, İstatistiksel Proses Kontrolüdür. İstatistiksel Proses Kontrol, prosesin geçmiş verilerinin bir takım istatistiki yöntemler ile değerlendirilerek prosesin tutarlılığının kontrol altında tutulmasıdır. Böylelikle, eğer prosese etki eden faktörlerden herhangi birinde normal olmayan bir durum söz konusu olursa prosesin hemen durdurulması ve düzeltilmesine yardım eder. Ancak daha önce de vurgulandığı gibi İstatistiksel Proses Kontrol bize olası doğal olmayan nedenlerin varlıklarını işaret ederler. Sorunun asıl kaynağının tesbiti hakkında bilgi veremezler. Bu nedenle İstatistiksel Proses Kontrolü ile proseslerin kontrol edilmesi sırasında kullanılan araçların gönderdikleri ip uçlarını yakalayabilecek bilgi ve tecrübe gereklidir (mevcut proses ve aynı zamanda İPK araçları ile ilgili). Bu tür projelerin başarısı tüm işletmenin (üst yönetim de dahil) katılımı ve desteğini gerektirir.

Gümrük birliği ile yeni yeni motor firmalarının Türk Pazarına girmeye çalıştığı şu günlerde, T.E.E. A.Ş. hem maliyetlerini düşürebilmek hem de KOÇ GRUBU'nun en temel ilkelerinden biri olan daha iyi ve daha kaliteli ürün üretebilmek amacıyla İPK uygulamasına başlama kararı almıştır. Aynı zamanda KOÇ 2000 Projesi çerçevesinde başlayan bu çalışmalar T.E.E. A.Ş.'nin TOPEM ve ESKOM işletmelerinde ulaşılan sonuçlar ile grubun diğer kuruluşlarına örnek olmuştur. Aynı amaçlarla 1996 yılında SUTEM'de de başlatılan çalışmalar, pilot bölgede proses yeterlilik analizi safhasındadır. Diğer taraftan uygulamanın tüm işletme geneline yaygınlaştırılması için hazırlık çalışmaları devam etmektedir. Daha önce, prosesleri kalite ile ilgili olarak sürekli bir şekilde kontrol altında tutulamayan işletmede, bu proje ile sürekli bir kontrol sisteminin kurulması sağlanmış olacaktır.

Proje başarıya ulaştığı takdirde, hatalı üretilen ve daha sonra üretimin başka bir kademesinden hurdaya veya yeniden işlemeye ayrılan ürünler azalacaktır. Bu da nihai ürün olan motorların kalitesini arttırırken, ıskarta ve yeniden işleme maliyetlerindeki azalmanın etkisiyle maliyetini düşürecektir.

Bir İstatistiksel Proses Kontrol projesinin uygulanmasında mutlaka metodolojik bir yol izlenmelidir. Yapılacak tüm faaliyetler önceden planlanmalı bu faaliyetlerin doğru zamanda gerçekleştirilmesine özen gösterilmelidir. SUTEM İşletmesi, İstatistiksel Proses Kontrol faaliyetlerine 1996 ortası itibarı ile başlama kararı vermiş olmasına rağmen henüz pilot uygulamayı bitirip projeyi işletme geneline yaygınlaştıramamıştır. Zira projenin başatıldığı tarihten günümüze kadar işletmenin üretim sahalarında zaman zaman yeni yerleşim düzenlemelerine gidildiği için tüm çalışmalar bir kaç defa sıfırlanmıştır. Ancak tüm işletme çalışanları konuya olan ilgilerini kaybetmemişlerdir (bunda üst yönetimin katkısı büyüktür). İşletmenin hedefi projeyi 1998 yılı içerisinde tamamlamaktır.

İstatistiksel Proses Kontrol sonuç olarak bir mali değeri olan bir proje olduğu için uygulama kararı alınmadan önce projenin mali boyutu da değerlendirilmelidir. Ancak genel olarak, doğru bir şekilde planlanmış ve kurulmuş bir İstatistiksel Proses Kontrol sistemi işletmeye her zaman pozitif bir değer katar.

## KAYNAKLAR

- AKIN, B., (1996), "İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri", Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- BRAVERMAN, J.D., "Fundamentals of Statistical Quality Control", Reston Publishing Co., Inc., Reston, Virginia.
- EUGENE, L.G. – LEAVENWORTH, R.S. (1987), "Statistical Quality Control", McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- FORD, " Process Capability", Guidelines.
- KOGEM (İDEA), "İstatistiksel Proses Kontrolü", Eğitim Notları.
- GÜMÜŞOĞLU, Ş., (1996), "İstatistiksel Kalite Kontrol", Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.", İstanbul.
- ISO, (1995), "Statistical Methods of Quality Control", ISO Standarts Handbook, Geneve, Switzerland.
- JURAN, J.G. – GRZYNA, M.F., (1988), "Juran's Quality Control Handbook", Mc. Graw Hill Co., New York.
- KARA, İ., (1983), "Olasılık", Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- KOBU, B., (1987), "Endüstriyel Kalite Kontrolü", İ.Ü. Yayınları, No: 3425 İstanbul.
- KOBU, B., (1979), "Üretim Yönetimi", İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 2298, İstanbul.
- KOLARIK, W.J. (1995), "Creating Quality", International Editions, Singapore.
- MİTRA, A., (1993), "Fundamentals of Quality Control and Improvement", USA, New York.
- MPM, (1991), "İş Etüdü", Milli Prodüktivite Merkezi", Ankara.
- Otosan, "İstatistiki Operasyon Kontrolü, Uygulama Kılavuzu".
- T.E.E., "İstatistiksel Proses Kontrolü", Uygulama Kılavuzu.

TMMOB, (28-30/08/93), “Toplam Kalite Kontrol Seminer Notları”,  
İstanbul.

TSE, “İstatistiksel Proses Kontrol Eğitim Notları”, İstanbul Bölge  
Müdürlüğü, İstanbul.



## EKLER



**Tablo A.1.** X-bar, R ve S kontrol şemalarında üç sigma limitleri için örnek alt gruplarına bağlı sabit değerler.

| Örnek alt grup hacmi (n) | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | c <sub>4</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | A    | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|
| 2                        | 1.128          | 0.8525         | 0.7979         | 0.00           | 3.27           | 0.00           | 3.27           | 2.12 | 1.88           | 2.66           |
| 3                        | 1.693          | 0.8884         | 0.8862         | 0.00           | 2.57           | 0.00           | 2.57           | 1.73 | 1.02           | 1.95           |
| 4                        | 2.059          | 0.8798         | 0.9213         | 0.00           | 2.28           | 0.00           | 2.27           | 1.50 | 0.73           | 1.63           |
| 5                        | 2.326          | 0.8641         | 0.9400         | 0.00           | 2.11           | 0.00           | 2.09           | 1.34 | 0.58           | 1.43           |
| 6                        | 2.534          | 0.8480         | 0.9515         | 0.00           | 2.00           | 0.03           | 1.97           | 1.22 | 0.48           | 1.29           |
| 7                        | 2.704          | 0.8332         | 0.9594         | 0.08           | 1.92           | 0.12           | 1.88           | 1.13 | 0.42           | 1.18           |
| 8                        | 2.847          | 0.8198         | 0.9650         | 0.14           | 1.86           | 0.19           | 1.81           | 1.06 | 0.37           | 1.10           |
| 9                        | 2.970          | 0.8078         | 0.9693         | 0.18           | 1.82           | 0.24           | 1.76           | 1.00 | 0.34           | 1.03           |
| 10                       | 3.078          | 0.7971         | 0.9727         | 0.22           | 1.78           | 0.28           | 1.72           | 0.95 | 0.31           | 0.98           |
| 11                       | 3.173          | 0.7873         | 0.9754         | 0.26           | 1.74           | 0.32           | 1.68           | 0.90 | 0.29           | 0.93           |
| 12                       | 3.258          | 0.7785         | 0.9776         | 0.28           | 1.72           | 0.35           | 1.65           | 0.87 | 0.27           | 0.89           |
| 13                       | 3.336          | 0.7704         | 0.9794         | 0.31           | 1.69           | 0.38           | 1.62           | 0.83 | 0.25           | 0.85           |
| 14                       | 3.407          | 0.7630         | 0.9810         | 0.33           | 1.67           | 0.41           | 1.59           | 0.80 | 0.24           | 0.82           |
| 15                       | 3.472          | 0.7562         | 0.9823         | 0.35           | 1.65           | 0.43           | 1.57           | 0.77 | 0.22           | 0.79           |
| 16                       | 3.532          | 0.7499         | 0.9835         | 0.36           | 1.64           | 0.45           | 1.55           | 0.75 | 0.21           | 0.76           |
| 17                       | 3.588          | 0.7441         | 0.9845         | 0.38           | 1.62           | 0.47           | 1.53           | 0.73 | 0.20           | 0.74           |
| 18                       | 3.640          | 0.7386         | 0.9854         | 0.39           | 1.61           | 0.48           | 1.52           | 0.71 | 0.19           | 0.72           |
| 19                       | 3.689          | 0.7335         | 0.9862         | 0.40           | 1.60           | 0.50           | 1.50           | 0.69 | 0.19           | 0.70           |
| 20                       | 3.735          | 0.7287         | 0.9869         | 0.41           | 1.59           | 0.51           | 1.49           | 0.67 | 0.18           | 0.68           |
| 30                       | 4.086          | 0.6826         | 0.9914         |                |                | 0.60           | 1.4            | 0.55 |                | 0.55           |
| 40                       | 4.322          | 0.6692         | 0.9936         |                |                | 0.66           | 1.34           | 0.47 |                | 0.48           |
| 50                       | 4.498          | 0.6521         | 0.9949         |                |                | 0.70           | 1.30           | 0.42 |                | 0.43           |
| 60                       | 4.639          | 0.6389         | 0.9958         |                |                | 0.72           | 1.28           | 0.39 |                | 0.39           |
| 70                       | 4.755          | 0.6283         | 0.9964         |                |                | 0.74           | 1.26           | 0.36 |                | 0.36           |
| 80                       | 4.854          | 0.6194         | 0.9968         |                |                | 0.76           | 1.24           | 0.34 |                | 0.34           |
| 90                       | 4.939          | 0.6118         | 0.9972         |                |                | 0.77           | 1.23           | 0.32 |                | 0.32           |
| 100                      | 5.015          | 0.6052         | 0.9975         |                |                | 0.79           | 1.21           | 0.30 |                | 0.30           |

**Tablo A.2.** EWMA ve EWMD kontrol şemaları için kontrol limitleri sabitleri.

| Ağırlıklandırma<br>a faktörü | Eşit örnek<br>hacmi | Ortalama | Standart sapma |         |         |
|------------------------------|---------------------|----------|----------------|---------|---------|
|                              |                     |          | $D_1^*$        | $D_2^*$ | $d_2^*$ |
| r                            | n                   | A*       |                |         |         |
| 0.050                        | 39                  | 0.480    | 0.514          | 1.102   | 0.808   |
| 0.100                        | 19                  | 0.688    | 0.390          | 1.247   | 0.819   |
| 0.200                        | 9                   | 1.000    | 0.197          | 1.486   | 0.841   |
| 0.250                        | 7                   | 1.132    | 0.109          | 1.597   | 0.853   |
| 0.286                        | 6                   | 1.225    | 0.048          | 1.676   | 0.862   |
| 0.333                        | 5                   | 1.342    | 0.000          | 1.780   | 0.874   |
| 0.400                        | 4                   | 1.500    | 0.000          | 1.930   | 0.892   |
| 0.500                        | 3                   | 1.732    | 0.000          | 2.164   | 0.921   |
| 0.667                        | 2                   | 2.121    | 0.000          | 2.596   | 0.977   |
| 0.800                        |                     | 2.449    | 0.000          | 2.990   | 1.030   |
| 0.900                        |                     | 2.714    | 0.000          | 3.321   | 1.076   |
| 1.000                        | 1                   | 3.000    |                |         |         |

2023/03/03 14:00  
2023/03/03 14:00  
2023/03/03 14:00

## ÖZGEÇMİŞ

04/12/1972, ALMANYA doğumludur. 1990 yılında Emet Lisesini bitirmiştir. 1994 yılında İ.T.Ü. İşetme Fakültesini bitirmiş, aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Programında Yüksek Lisans eğitime başlamıştır. İngilizce bilen A.GÖKÇE, 01/04/1996 tarihinden itibaren T.E.E. A.Ş. SUTEM İşletmesinde, Üretim Planlama ve Stok Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.

