

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİDE ALTI SİGMA UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Hadi ÖZKAN**

**Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Programı : KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**HAZİRAN 2006**

**ENDÜSTRİDE ALTI SİGMA UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Hadi ÖZKAN  
503991057**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006  
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Vedat TEMİZ**

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. C. Erdem İMRAK**

**Yrd. Doç.Dr. Muzaffer ERTEN**

**HAZİRAN 2006**

## ÖNSÖZ

Dünyada en başarılı şirketler listesine bakılınca hepsinin ortak özelliğinin hedeflerine ulaşmak için müşteri memnuniyetine çok önem verdiklerini görebiliriz. Müşteri memnuniyeti de ancak kaliteli ürün ürettiğiniz zaman elde edilebileceğiniz bir olgudur. Dünyada önemli şirketlerde başarısı kanıtlanmış Altı Sigma Metodolojisi kaliteyi artırma yönde kullanılan bir yöntemdir. Ülkemizde Altı Sigma çalışmalarının yaygın olarak şirketler tarafından kullanıldığını söylemek doğru olmaz.

Bu konuda üniversite ve sanayinin beraber çalışması mutlaka gerekmektedir. Altı Sigma faaliyetlerinin mühendislik uygulamalarında başarılı olabilmesi için bu konuda çalışmaların da artması gerekmektedir. Benim tezimde sanayideki Altı Sigma çalışmalarına ufak bir katkısı olursa amacına ulaşmış saymak gerektiğine inanıyorum.

Tezimde bana yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Vedat Temiz'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca bana çalışmalarım sırasında anlayışlarıyla destek veren eşim Didem'e ve oğlum Eren'e de teşekkür ederim.

MAYIS 2006

Mak. Müh. Hadi ÖZKAN

## İÇİNDEKİLER

|                                                        |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                     | <b>vi</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                   | <b>vii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                   | <b>viii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                            | <b>ix</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                         | <b>x</b>    |
| <br>                                                   |             |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                        | <b>1</b>    |
| 1.1. Giriş                                             | 1           |
| <b>2. KALİTENİN TANIMI</b>                             | <b>3</b>    |
| 2.1. Kalitenin tarihçesi                               | 3           |
| 2.2. Toplam kalite yöntemi                             | 5           |
| 2.3. Kaizen prensibi                                   | 9           |
| 2.4. Kalite uzmanları                                  | 12          |
| 2.4.1. Deming                                          | 12          |
| 2.4.2. Juran                                           | 13          |
| 2.4.3. A.F. Feigenbaum                                 | 14          |
| 2.4.4. P.B. Crosby.                                    | 15          |
| 2.4.5. Basu ve Wreigt                                  | 15          |
| 2.5. Süreçlerdeki temel değişkenlikler                 | 16          |
| 2.5.1. Genel nedenler                                  | 16          |
| 2.5.2. Özel nedenler                                   | 17          |
| 2.5.3. Değişkenlik parametreleri                       | 18          |
| <b>3. ALTI SİGMA KAVRAMI</b>                           | <b>20</b>   |
| 3.1. Sigmanın tanımı                                   | 20          |
| 3.2. Altı sigma metodolojisi                           | 20          |
| <b>4. ALTI SİGMA PROJE AKIŞI</b>                       | <b>28</b>   |
| 4.1. Tanımlama                                         | 29          |
| 4.2. Ölçme                                             | 29          |
| 4.3. Analiz                                            | 30          |
| 4.4. İyileştirme                                       | 31          |
| 4.4. Kontrol                                           | 31          |
| <b>5. ALTI SİGMA PROJELERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER</b> | <b>32</b>   |
| 5.1. Tanımlama aşamasında kullanılan yöntemler         | 32          |
| 5.1.1. Histogram                                       | 32          |
| 5.1.2. Pareto diagramı                                 | 33          |
| 5.1.3. Neden-sonuç diyagramı                           | 34          |
| 5.1.4. Ağaç diagramı                                   | 36          |
| 5.1.5. İlişkendirme diagramı                           | 37          |
| 5.2. Benchmark(karşılaştırma)                          | 37          |
| 5.2.1 Benchmark çeşitleri                              | 40          |
| 5.2.2.Rekabete yönelik Benchmark                       | 43          |
| 5.3. Ölçme Aşamasında kullanılan yöntemler             | 45          |
| 5.3.1 Süreç ve makine yeterliliği                      | 45          |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3.2. Yeterlilik indeksi                                                     | 45        |
| 5.3.3. Ölçüm yeterlilik kontrolü                                              | 48        |
| 5.3.4. Ölçmede hata kaynakları                                                | 49        |
| 5.4. Analiz ölçme aşamasında kullanılan yöntemler                             | 53        |
| 5.4.1. Hipotez testi                                                          | 53        |
| 5.4.1.1. Hipotez testinde kullanılan parametreler                             | 54        |
| 5.4.2. Ki Kare Testi                                                          | 55        |
| 5.4.3. İlişki(Korelasyon) Testi                                               | 57        |
| 5.4.4 Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)                                         | 58        |
| 5.4.4.1 KFY tarihçesi                                                         | 59        |
| 5.4.4.2 KFY yapısı                                                            | 59        |
| 5.4.4.3 Kalite evi                                                            | 60        |
| 5.4.5. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA)                                   | 61        |
| 5.4.5.1 HTEA çalışma adımları                                                 | 63        |
| 5.4.6. ANOVA                                                                  | 64        |
| 5.4.7. T Testi                                                                | 66        |
| 5.4.8. Regresyon analizi                                                      | 67        |
| 5.4.8.1. Çoklu değişken analizi                                               | 67        |
| 5.5. İyileştirme aşamasında kullanılan yöntemler                              | 68        |
| 5.5.1. Deneysel tasarım                                                       | 68        |
| 5.5.2 Deney tasarım çeşitleri                                                 | 70        |
| 5.5.2.1 Klasik deney tasarımı                                                 | 70        |
| 5.5.2.2 Taguchi deney tasarımı                                                | 70        |
| 5.5.2.3 Shanin deney tasarımı                                                 | 73        |
| 5.5.3. Tam faktoriyel deney tasarımı.                                         | 74        |
| 5.5.4. Kesirli faktoriyel deney tasarımı                                      | 75        |
| 5.6. Kontrol aşamasında kullanılan yöntemler                                  | 75        |
| 5.6.1. İstatiksel süreç kontrolü (İSK)                                        | 75        |
| 5.6.2. Kontrol çizelgeleri.                                                   | 78        |
| 5.6.3. Örnek alma planı                                                       | 78        |
| 5.6.4. Ana ortalama değer ve kontrol sınırları veya limitleri                 | 79        |
| 5.6.5. Kontrol çizelgesinin kuralları ve çizelgenin analizi                   | 80        |
| 5.6.6. Kontrol çizelgesi tipleri                                              | 81        |
| 5.6.6.1. Ölçülebilen karakteristikler için kontrol çizelgeleri                | 82        |
| 5.6.6.2. Sayılabilen veya niteliksel karakteristikler için kontrol çizelgeler | 82        |
| 5.6.7. Kontrol çizelgesinin sağlayacağı yararlar                              | 82        |
| <b>6. ALTI SIGMA ORGANİZASYON YAPISI</b>                                      | <b>85</b> |
| 6.1. Üst kalite konseyi                                                       | 86        |
| 6.2. Yönetim temsilcisi                                                       | 87        |
| 6.3. Kalite şampiyonu                                                         | 87        |
| 6.4. Uzman kara kuşaklar                                                      | 89        |
| 6.5. Kara kuşaklar                                                            | 90        |
| 6.6. Yeşil kuşaklar                                                           | 91        |
| 6.7. Sarı kuşaklar                                                            | 91        |
| 6.8. Finans temsilcisi                                                        | 91        |
| <b>7. ALTI SIGMA UYGULAYAN FİRMALAR</b>                                       | <b>92</b> |
| 7.1.1 Borusan ve Altı Sigma                                                   | 92        |
| 7.1.2 Borusan Holding Altı Sigma'yı Seçme Nedeni                              | 93        |
| 7.1.3 Borusan Holding Altı Sigma Organizasyonu                                | 93        |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1.4. Borusan Holding'in Altı Sigma Kazançları                      | 94  |
| 7.1.5 Borusan Holding'in Altı Sigma Tecrübeleri                      | 94  |
| 7.2 Arçelik A.Ş.'de Altı Sigma Çalışmaları                           | 95  |
| 7.2.1 Arçelik A.Ş. Tanıtımı                                          | 95  |
| 7.2.2 Arçelik ve Altı Sigma                                          | 95  |
| 7.2.3 Arçelik'in Altı Sigma'yı Seçme Nedeni                          | 96  |
| 7.2.4 Arçelik mükemmellik anlayışı çevrimi                           | 96  |
| 7.2.5 Arçelik A.Ş. Altı Sigma Organizasyonu                          | 97  |
| 7.2.6 Arçelik A.Ş.'nin Altı Sigma Kazançları                         | 98  |
| 7.2.7 Arçelik A.Ş.'nin Altı Sigma Tecrübeleri                        | 98  |
| 7.3 Tusaş Motor Sanayi A.Ş.'de Altı Sigma Çalışmaları                | 99  |
| 7.3.1 TEI ve Altı Sigma                                              | 99  |
| 7.3.2 TEI'nin Altı Sigma'yı Seçme Nedeni?                            | 100 |
| 7.3.3 TEI Altı Sigma Organizasyonu                                   | 100 |
| 7.3.4 TEI Altı Sigma Kazançları                                      | 102 |
| 7.3.5 TEI Altı Sigma Tecrübeleri                                     | 102 |
| 7.4. General Electric ve Altı Sigma                                  | 102 |
| 7.4.1 Altı Sigma Uygulamaları                                        | 102 |
| 7.4.2 GE'de Altı Sigma Sistemi                                       | 103 |
| 7.4.3 GE'deki Altı Sigma Organizasyonu                               | 103 |
| <b>8. YALIN ALTI SIGMA</b>                                           | 106 |
| 8.1 Yalın altı sigma kavramı                                         | 106 |
| 8.2 Yalın Altı Sigma Temelleri                                       | 106 |
| 8.3 Yalın ve altı sigma prensiplerinin birlikte mukayesesi           | 107 |
| <b>9. ARÇELİK LG KLİMA FABRİKASINDAKİ ALTI SIGMA PROJE ÇALIŞMASI</b> | 109 |
| 9.1 Firmanın Tanıtımı                                                | 109 |
| 9.2 Tanımlama Aşaması                                                | 109 |
| 9.3 Ölçüm Aşaması                                                    | 112 |
| 9.4 Analiz Aşaması                                                   | 113 |
| 9.5 İyileştirme Aşaması                                              | 113 |
| 9.6 Kontrol Aşaması                                                  | 117 |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                     | 119 |
| <b>EKLER</b>                                                         | 121 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                      | 140 |

## KISALTMALAR

|                     |                                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------|
| <b>TKY</b>          | : Toplam Kalite Yönetimi                         |
| <b>KFY</b>          | : Kalite Fonksiyon Yayılımı                      |
| <b>HTEA</b>         | : Hata Tesir Etki Analizi                        |
| <b>ANOVA</b>        | : Analysis of Variance                           |
| <b>İSK</b>          | : İstatistiksel Süreç Kontrolü                   |
| <b>PPM</b>          | : Part per Millon                                |
| <b>DOE</b>          | : Design of Experiment                           |
| <b>Cp</b>           | : Process Capability                             |
| <b>Cm</b>           | : Makine Yeterlilik Endeksi                      |
| <b>TÖAİK</b>        | : Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol |
| <b>PUKÖ</b>         | : Planla, Uygula, Kontrol, Önlem al              |
| <b>Gage R&amp;R</b> | : Ölçüm Yeterliliği Çalışması                    |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                     | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 5.1.</b> Cpk endeks ile PPM dağılımı.....                                  | 47              |
| <b>Tablo 5.2.</b> Müşteri meyve suyu seçim tablosu.....                             | 56              |
| <b>Tablo 5.3.</b> Ki Kare dağılım tablosu.....                                      | 57              |
| <b>Tablo 5.4.</b> ANOVA çıktısı.....                                                | 65              |
| <b>Tablo 9.1.</b> Analize giren faktörler .....                                     | 113             |
| <b>Tablo 9.2.</b> Deney tasarımında kullanılan faktörlerin seviye göstergeleri..... | 114             |
| <b>Tablo G.1.</b> Kontrol Tablosu 1.....                                            | 133             |
| <b>Tablo G.2.</b> Kontrol Tablosu 2.....                                            | 134             |
| <b>Tablo H.1.</b> Standart normal dağılım tablosu 1.....                            | 135             |
| <b>Tablo H.2.</b> Standart normal dağılım tablosu 2.....                            | 136             |
| <b>Tablo I.1.</b> T Dağılımı tablosu.....                                           | 137             |
| <b>Tablo J.1</b> Ki Kare Dağılım tablosu 1.....                                     | 138             |
| <b>Tablo J.2.</b> Ki Kare Dağılım tablosu 2.....                                    | 139             |

## ŞEKİL LİSTESİ

|             | <b>Sayfa No</b>                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.1.  | Standart normal dağılım grafiği..... 20                                  |
| Şekil 3.2.  | Normal dağılım grafiği üzerindeki hata alanları..... 21                  |
| Şekil 3.3.  | Örnek normal dağılım grafiği..... 23                                     |
| Şekil 3.4.  | Standart normal dağılım tablosundan olasılık hesaplama örneği..... 23    |
| Şekil 3.5.  | Speklerin ve hata alanların normal dağılımda gösterilmesi..... 24        |
| Şekil 3.6.  | Stanadart normal olasılık değerleri..... 25                              |
| Şekil 4.1.  | Altı sigma proje akış şeması..... 28                                     |
| Şekil 5.1.  | Histogram grafiği ..... 33                                               |
| Şekil 5.2.  | Pareto grafiği..... 34                                                   |
| Şekil 5.3.  | Neden sonuç grafiği..... 35                                              |
| Şekil 5.4.  | Ağaç grafiği..... 36                                                     |
| Şekil 5.5.  | Üç temel karşılaştırma çeşidi..... 41                                    |
| Şekil 5.6.  | İlişki grafiği..... 58                                                   |
| Şekil 5.7.  | KFY süreç matrisi..... 59                                                |
| Şekil 5.8.  | KFY genel gösterim..... 61                                               |
| Şekil 5.9.  | Kontrol ve uygulama gruplarının test sonra idealleştirilmesi..... 66     |
| Şekil 5.10. | Aritmetik ortalamalar arasındaki fark için üç farklı senaryo..... 67     |
| Şekil 5.11. | İstatistik süreç kontrol şeması..... 77                                  |
| Şekil 8.1.  | Yalın altı sigma şeması..... 106                                         |
| Şekil 9.1.  | Kondanser fanı..... 110                                                  |
| Şekil 9.2.  | Fan kalıbı..... 111                                                      |
| Şekil 9.3.  | Fan enjeksiyon makinesi..... 111                                         |
| Şekil 9.4.  | Fan üretim süreci..... 111                                               |
| Şekil 9.5.  | Balık kılçığı diagramı..... 112                                          |
| Şekil 9.6.  | Deney tasarım çıktısı..... 115                                           |
| Şekil 9.7.  | Küp grafiği..... 116                                                     |
| Şekil 9.8.  | İyileştirme sonrası yeniliik analizi..... 117                            |
| Şekil 9.9.  | Kontrol grafiği..... 118                                                 |
| Şekil E.1.  | Mevcut durum fan balans ölçümlerinin normalite test sonucu..... 125      |
| Şekil E.2.  | Mevcut durum fan balans yeterlilik analizi..... 126                      |
| Şekil E.3.  | Mevcut durumdaki salgi değerleri için yeterlilik analizi raporu..... 127 |
| Şekil E.4.  | Mevcut Durumdaki Yalpa Değerleri İçin Yeterlilik Analizi Raporu 128      |

## ENDÜSTRİDE ALTI SIGMA UYGULAMALARI

### ÖZET

Dünyayı her bakımdan etkilemekte olan küreselleşme felsefesi, ülkeleri ve insanları birbirine yaklaştırmakta ihtiyaçları ve zevkleri benzer hale getirmektedir. Yoğun rekabet şartları altında, ülkeler ve üretim yapan şirketler dünya pazarlarında daha fazla pay almaya çalışmakta kendi mamulleri bakımından rakiplerine karşı rekabet gücü yaratmaya uğraşmaktadırlar. Rekabet gücü kazanabilmelerinin yolu, aynı kalitedeki mamulün daha az maliyetle veya fiyatı aynı olan mamulü daha yüksek kalite ile üretmekten ve müşteri memnuniyetini arttırabilmekten geçmektedir. Daha az maliyet için işletmelerin verimli çalışması daha yüksek kalite ve müşteri memnuniyeti için top yekun kalite bilincine erişilmesi gerekmektedir.

Rekabetin yüksek olduğu piyasalarda birbirine üstünlük sağlamaya çalışan firmalardan hata payının milyonda 3,4 olan firmalar kesinlikle kar payları ile zirvede olacak firmalardır. Çalışanlarını işlerini daha iyi nasıl yaparım, daha verimli olarak yada hatasız olarak nasıl yaparım sorusuna yardımcı olacak yöntemleri Altı Sigma içermektedir. Altı sigmanın içerisinde gerçek bir problemi alıp istatistiki yöntemleri kullanarak çözümlere ulaşmak asıl gayedir. İstatistiki yöntemlerin yoğun olarak kullanıldığı Altı Sigma projelerinin Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol aşamalarında her zaman mühendis gözüyle veriler incelenmeli ve sonuçlar yorumlanmalıdır. Doğru istatistiki yöntemler ile temel mühendisliği üretimdeki Altı Sigma projelerinde harmanlayarak kullanmamız gerekmektedir.

Deney tasarımlarını sonucunda iyileştirilmiş bir sürecin zaman içerisinde değişkenliklerden dolayı hedeften sapacağı kesindir. Üretimdeki değişkenlikleri düşünerek her zaman için kontrol sürecine büyük önem verilmelidir. Kontrol sürecinde İstatistiki Süreç Kontrolü kurallarına uymak gerekir.

Altı Sigma metodolojisini benimseyen firmalar hatalarını doğru ölçerek, hatalarını analiz ederek ve süreçlerini kontrol altında tutarak ancak kaliteli ürünler üretilip müşteri memnuniyetlerini artırabilirler.

## **SIX SIGMA APPLICATION AT INDUSTRY**

### **SUMMARY**

Global philosophy effects every people at the world. Same requests and same needs begins to occur. Under very difficult competition every company and every country wants to get more share from market where they fight. To be the winner at this fight companies have to produce same product with low price or same price with more quality . as a result customer satisfaction will increase. A company has to work for quality totally with all employees by working effectively.

If a company has got 3,4 ppm defect rate that means this company at 6 Sigma status, it will increase profit rate and will come to the top of the world. Six sigma methodology includes some rules that help employees about how they do their job effectively or with less defect. Six sigma target is to improve real world problem by using statistical tools. Especially at all manufacturing six sigma steps (DMAIC) datas has to be analyzed and results has to be reviewed with the engineer point of view. We have to use statistical tools and basic engineering science with harmony at the manufacturing projects.

With doe tools a process can be improved but as time passes process will deviate from target because of general causes. We have to consider manufacturing deviation sources and use SPC. We have to apply SPC rules after we improved a process.

If a company applies Six Sigma methodology that means this company measure its own defects regularly, analyze defects and apply SPC to its own critical processes.

## 1.1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında sanayi ve ticarete girilen yeni dönemde en çok sözü edilen kavramlar "globalleşme" ve "imhacı rekabet"tir. Korumacılığın büyük ölçüde kaldırılması,gümrük oranlarının azaltılması,yabancı sermayeye geniş olanakların tanınması ve diğer birçok gelişme, güçlü ve dinamik kuruluşların ulusal sınırların çok daha ötesine erişmelerine fırsat vermiştir. Bu yönüyle bakıldığında globalleşme geniş bir ekonomik yayılma anlamına gelir. Globalleşmenin en belirgin sonucu rekabetin sertleşmesidir. Ekonomik sınırların ortadan kalkmasıyla birçok kuruluş öteden beri sahip oldukları pazarlarda yeni ve güçlü rakipleri karşılarında bulmuşlardır. Hakim oldukları pazarlarda pay kaybeden şirketlerin bir kısmı küçülmüş veya yok olmuş, diğerleriye rakiplerinin pazarlarından pay alma gayretine girmişlerdir. Böylece iç pazarlarda artan rekabete ek olarak dış pazarlarda da rekabet yoğunlaşmıştır."İmhacı rekabet" terimi de,içerde ve dışarıda aynı sertlikle gelişen bu ortamı tarif etmektedir. Bu yeni ortamda başarılı olan kuruluşları incelediğimizde, bunların ortak özelliklerinin Toplam Kalite Yönetimi (TKY) felsefesini ve onun getirdiği yaklaşımı benimseyen şirketler olduğunu görüyoruz.

Bilindiği gibi TKY sadece ürün ve hizmet kalitesiyle ilgili olmayıp, aynı zamanda günümüzün çağdaş bir yönetim anlayışıdır. Önceleri üretim sektöründe gündeme gelen Kalite Kontrol giderek yerini kalitenin denetlenmesi amacıyla kullanılacak yöntemlerin geliştirilmesiyle, hem üretim hem de hizmet sektörünün çeşitli alanlarına uyarlanabilen kalite yönetim sistemlerine bırakmaya başlamıştır. Bugün TKY dediğimizde, kalite kontrol' den çok daha değişik bir konuyu anlatılmaktadır; Kalite Kontrol, bitmiş ürünün kalitesini kontrol eder ve ve denetler, Toplam Kalite yaklaşımı ile ürün ve hizmetlerin hatasız üretilmesi, planlanması ve kalite kontrole gerek kalmaması hedeflenir. TKY' nin rekabet gücünü yükseltmesi konusuna dönmek gerekirse;TKY' nin rekabet gücünün yükseltilmesinin çok temel bir nedeni vardır. TKY bir taraftan kaliteyi yükseltirken diğer taraftan da verimliliği de arttırmaktadır. Oysa TKY uygulamayan bir kuruluşta kaliteyi yükseltmek mutlaka

maliyetleri artırmakta, bu da rekabet gücünü azaltmaktadır. Acaba sertleşen rekabet ortamında kar amaçlı firmaların ayakta kalabilmeleri için TKY yeterli midir?

## **2.KALİTENİN TANIMI**

### **2.1.Kalitenin Tarihçesi**

Kalite, antik çağlardan beri her zaman diliminin kendi koşulları ve özellikleri çerçevesinde mimariden mühendisliğe, üretimden ticarete kadar çeşitli sahalarda ele alınmış ve üzerinde durulmuş bir kavramdır. Ancak 20. yüzyıldan sonra modern anlamda ele alınan "istatistiksel kalite kontrolü" ve "toplam kalite kontrolü" teknikleri ile birlikte gelişmiş, "toplam kalite yönetimi" nin ortaya çıkması ile birlikte yönetim sistemleri içerisinde yer almaya başlamıştır. Yönetim teori ve yaklaşımlarının gelişmeye başladığı 1900' lerin başlarında işletmelerin birincil sorunu, etkin çalışma tarzları geliştirip üretimde maksimizasyonu sağlamak olmuştur. Kalite ise üzerinde durulan bir konu olmasına rağmen organizasyonel bir sorumluluk alanına girmemiştir. Bu dönemlerde iyi kurulmuş organizasyonlarla yönetsel hiyerarşi yapısal bir bütünlük oluştururken insanlar sistemin sadece bir unsuru durumunda kalmışlardır. Bu çerçevede temel yönetim yaklaşımı, iyi bir organizasyonun yaratılmasıyla verimlilik artışının sağlanması üzerine yoğunlaşmıştır.

19. yüzyılda Taylor' un Bilimsel Yönetim adı ile dünyaya tanıttığı sistem, işlerin küçük parçalar halinde uzmanlık alanlarına bölünmesiyle ilgilidir. Bu sistem zamanında önemli başarı kaydetmiş bir yaklaşım olup, önemli üretim artışlarına yol açmıştır. Yöneticilerin bütün yetki ve sorumluluğa sahip olduğu bir tek-el organizasyonu Taylor' un ısrarla savunduğu görüşleri arasındadır.

Kalite Mühendisliği (Quality engineering) 1920' li yıllardan beri mal ve hizmet üretiminde üzerinde durulan önemli bir konu olmuştur. Hayatın her geçen gün daha karmaşık bir şekil alması daha fazla sayıda ürünlerin ortaya çıkması ve rekabetin artması nedeniyle 1950' li yıllarda güvenlik mühendisliği (reliability engineering) popüler olmaya başlamıştır. 1960' lı yıllarda ise muayene (inspection) istasyonlarına, yani kaliteden sorumlu birimlere ihtiyaç doğmuştur. Kalite mühendisliği çalışanlar ise kontrol şemaları ve istatistiki kalite kontrol ile genişlemiştir. Bu arada 1950' li yıllardan beri kalite konusunda özellikle Amerika' da uzman olan Deming, Crosby ve

Juran gibi bilim adamları da toplam kalitenin temellerini atmaya başlamışlardır. Başlangıçta Amerika' da pek rağbet görmeyen bu araştırmacılar, Japon imalatçıların dikkatlerini çekmiş ve düşüncelerini Japonya' da hayata geçirme konusunda başarılı sonuçlar almışlardır. Kalitenin de kontrol edilmesi yerine yönetilmesi gerektiği gerçeğini topluma anlatmışlardır: Bu nedenle toplam kalite kontrol kavramı yerine toplam kalite yönetimi kavramını ortaya atmışlardır. Bunlardan özellikle Deming, Japonya' da özellikle oldukça fazla zaman harcayarak bugünkü toplam kalite yönetiminin temellerini oluşturmada önemli adımlar atmıştır. Bugün hala Japonya'da Deming kalite ödülleri verilerek kalitenin ve sürekli iyileşmenin hayatın bir parçası olmasını sağlamada Deming' in katkılarının unutulmadığı gösterilmektedir. Feigenbaum tarafından ortaya atılan toplam kalite kontrol yönetiminde ise, yönetim unsuru önemli görülerek kalitenin yönetilmesi amaçlanmaktadır.

1950' lerde başlayan ve 1960' larda gelişerek süren kalite ve kalite yönetim stratejilerine 1970' lerde (Ishikawa' nın diyagramı ve Taguchi' nin metotlarının gelişmesiyle) "katılımcı kalite kontrol" eklenerek organizasyonlarda toplam kalite yönetimine geçilmiştir. 1960' larda kalitenin öneminin artmasıyla birlikte ağırlıklı olarak gündeme gelen konulardan birisi de, "standartlaştırma" hareketleri olmuştur. Standartlaştırma hareketleri, 1980' lerde uluslararası bir boyut kazanarak hemen herkesin ilgisini çeken uluslararası standart serilerini (ISO 9000) meydana getirmiştir.

1980' ler "yok edici rekabet dönemi" olarak nitelendirilmektedir. Bu ortamda Batı ve ABD' nin yeni yönetim stratejilerine ihtiyacı gündeme gelmiştir. Çünkü hızla endüstrileşme ve teknolojik gelişme, Özellikle 1980' de söz konusu yoğun rekabet ortamında başarı kazanmanın itici gücü olarak birtakım sosyal değerlerin önemin azaltmış, bu durum işletmelerde verimlilik ve motivasyonda düşüşe neden olmuştu. Oysa Japonya' da kalite yönetimini uygulayan işletmeler için böyle bir durum söz konusu olmamış, rekabetteki başarı gün geçtikçe artmıştır. İşte bu durumu gözlemleyen araştırmacılar, yeni yönetim ve üretim yaklaşımlarını geliştirmişler ve Amerikan işletmelerine iyileştirme amaçlı öneriler şeklinde sunmuşlardır. Özellikle İkinci Dünya Savaşı' ndan sonra Japonya' daki kalkınma hareketinin bir neticesi olan ve dünyanın değişik bölgelerinde 1985' li yıllarda yaygın olarak konuşulmaya başlanan Toplam Kalite Yönetimi kavramı, hem kalitenin tanımını değiştiriyor, hem de kaliteli hizmet ve ürün üretmenin nasıl gerçekleşeceği ni gösteriyordu. Kalitenin

sadece kontrol edilmediğini, aynı zamanda yönetilebileceğini de söylüyor ve bilinenden farklı bir yaklaşım öneriyordu.

## **2.2.Toplam Kalite Yönetimi**

Toplam Kalite Yönetimi hakkında farklı tanımlamalar yapılsa da, geniş biçimde şu şekilde tarif edilmektedir: "Tüm proseslerin, ürünlerin ve hizmetlerin tam katılım yoluyla geliştirilmesi, iç ve dış müşteri tatmininin artırılması ve müşteri bağlılığının yaratılmasının sağlanması amacıyla işletmede alınan sonuçların iyileştirilmesine dayanan, müşteri beklentilerini her şeyin üzerinde tutan ve müşteri tarafından tanımlanan kaliteyi, tüm faaliyetlerin yürütülmesi sırasında ürün ve hizmet bünyesinde oluşturan modern yönetim biçimidir". Aslında TKY' nin tanımı yapılırken hemen herkesin üzerinde anlaşıtı unsurların dikkate alınması bir çok karışıklığı önleyerek, tanım üzerinde bir sadelik oluşturabilecektir. Buna göre TKY' ni " müşteri odaklı hedef birliği ile herkesin katılımını gerektiren, üst yönetimin liderliği ve sorumluluğunda, proseslerin ve sistemlerin sürekli gelişmesini ve iyileşmesini öngören modern bir yönetim düşüncesi felsefesi ve yaşam tarzı" olarak tanımlamak mümkündür .

Değişimin kaçınılmaz olduğı günümüzde bir değişim aracı olan kalitenin yüklendiğı bazı önemli başlıklar vardır.

Yeni uluslar arası lisan Kalite;

Kalite, bundan on yıl önce daha çok uzmanların tekelinde olan bir konuyken bugün uluslar arası bir lisana dönüşmüştür. Kalite çalışmaları artık herhangi bir ülkenin tekelinde değildir. 1990 öncesi kalite çalışmaları dediğimizde ilk aklımıza gelen ülke Japonya iken, bugün beş kıtanın dördünde kalite çalışmalarının yüksek seviyesinin standartlaştığını değişik örneklerle söylemek mümkündür. Hatta daha ileri bir yorumla, "Kalitenin sahibi, Avrupa' da arka arkaya aldığımız ödüller dolayısıyla Türklerdir" bile diyenler olabilir.

Bütünsel müşteri memnuniyeti ;

Tüketicilerin algılamasında radikal değişiklikler söz konusudur. Müşteriler, artık ürünlerle ya da ürünlerin belirli bir özelliğı ile değil, ürün ya da hizmetin yarattığı bütünsel değerle ilgilidir. Kışın bir mağazada alışveriş yapan bir tüketici, sadece aldığı üründe kalite değil, alışveriş yaptığı mağazada rahatça dolaşabilmek,

giysilerini giyip çıkarabilmek için paltosunu ya da şemsiyesini bırakabileceği bir vestiyer de arıyor. Diğer bir örnekte satış öncesi ve satış sonrası hizmetlerle ilgilidir. Müşteri satış öncesi doğru seçim yapabileceği şekilde bilgilenmek ve satış sonrası da ihtiyaç duyulan hizmetlerde kalite istiyor. Bütünsel Müşteri Memnuniyeti kavramı farklı sektörlerde farklı algılanabilir; ancak sonuç değişmez: "Müşteri memnuniyet arayışının çerçevesi genişlemiştir"

Kalite işte etkililiğe dönüşü;

Kalite çalışmalarının günlük çalışmalara tamamen entegre olduğu, rutin iş uygulamasına dönüştüğü dünya çapındaki şirketlerde, kalite iş alanındaki etkililik olarak algılanmıştır. Kalite maliyetlerinin sıfırlanması, HTEA çalışmaları, 6 sigma çalışmaları gibi kalite çalışmaları standart hale gelerek, bir türlü organizasyonel etkililik standardına dönüşmüştür. Sony, Motorola, Xerox gibi kuruluşlarda kalite, küresel rekabette bir etkililik aracıdır. Kalite değeri; bir işte, doğru yapılan alt işlerin sayısıyla yükselir.

Ortaklık olarak Kalite ;

Kalite çalışmaları bütün dünyada işletmelerin daha fazla işbirliği yapmasına yol açmıştır. Kalitenin değer zinciri ve süreç yaklaşımı, tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan bütün zincirdeki halkaları oluşturan kişi ve kuruluşların ortaklık anlayışını geliştirmiştir. Birlikte kazanma olarak çevirebileceğimiz kazan - kazan (win - win) anlayışı, sadece değer zincirinin halkalarını oluşturan şirketlere değil, rakip kuruluşlara kadar yayılmıştır. Ancak birlikte kazanma anlayışı, henüz iş dünyasının bütün alanlarına, siyasete ve uluslar arası siyasete yeterince yansımamıştır.

Liderlik ve Kalite ;

Kalite dünyanın pek çok yerinde teknik bir konu olmaktan çok, bir liderlik konusu olarak algılanmaya başlamıştır. Kalitenin yönetimi, evrim geçirerek yönetimin kalitesine genişlemiştir. Standart kalite çalışmalarının ötesinde, geleceği kurmaya, yeni müşteriler oluşturmaya dönük liderlik söz konusudur.

Kalite maliyetlerinden faalliyet tabanlı muhasebeye;

Kuruluşların iyileşmesi için kalite maliyetleri radikal bir araç olmuştur. İyileştirme alanlarının seçilmesi ve izlenmesi açısından katkısı açıktır. Ancak zaman içinde süreç maliyetlerinin ve değerlerinin hesaplanması daha kritik bir önem kazanmıştır.

Bu açıdan bakıldığında, kalite maliyetleri gelişerek ve genişleyerek, ama kendi varlığını da yitirmeden, "faaliyet tabanlı maliyet yönetimi" nin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır.

Zaman tabanlı rekabet olarak Kalite ;

Kalite, rekabetin sonucu olarak müşteri memnuniyetine odaklı maliyet düşümünden , hizmet ve tasarım döngü zamanlarının kısaltılmasına dönüşmüştür. Bilindiği gibi ürün ve hizmet geliştirme süreçlerinin kısaltılması, maliyet ve rekabet üstünlüğüne yol açıyor. Ancak gerek tasarım çalışmalarına, gerek değer zincirinde işbirliğine kalite çalışmaları yansımadan süreleri kısaltmak söz konusu değildir.

Mükemmellik;

Araştırmalar göstermektedir ki , müşteri kitleleri artık mükemmel olan ve mükemmel kalan ürünler beklentisindedir. Müşteri kitlelerinin normları, mükemmellik beklentisine yükselmiştir. Mükemmellik beklentisinin yanı sıra müşteriler, fiyatlarında katlanılabilir fiyatlar olmasını beklemektedir. Mükemmelliğin ve fiyatların belirleyicisi ise müşteri kitleleridir.

Maliyet liderliği ;

Maliyet liderliği kavramından anlaşılması gereken, ucuza mal etmek değil, mükemmel tasarım, sıfır kalite maliyeti, sıfır ıskarta, en kısa döngü süresi gibi olgular sayesinde maliyet ekonomisinde liderliktir.

Heves ve yaratıcılık ;

Çalışanların yaratıcılıklarının arttırılması, heveslendirilmesi ve katılımlarının sağlanması standart kalite koşulu olmuştur.

Büyüme ve standartlar ;

Kuruluşlar, kalite ve Pazar şartlarının sonucu olarak büyürken, daha küçük oldukları dönemlerde gösterdikleri performansı ve sağladıkları standartları sürdürebilmek durumundadır.

İstikrarın ve çalışanların istihdamının sürekliliğini sağlamak, büyüdükçe ve sık dalgalanan piyasalar karşısında zorlaşmaktadır.

Çevre standartları;

Çevreyi koruma konusundaki standartlar, giderek daha talepkar hale gelmektedir.

Yeni kalite yönelimleri;

Küresel planda dört temel küresel yönelim vardır:

İlk küresel yönelim: Müşteriler kalite hatası olmayan ürün ve hizmetlerde değil, kalite katma değeri yüksek olan ürünlerle ilgileniyorlar. Dolayısıyla süreç, ürün ve hizmet kalitesindeki mükemmellik yeter şarttan, gerek şarta dönüşmüştür.

İkinci küresel yönelim: Kalitenin üretim yöntemiyle ilgisidir. Kalite çalışmaları ve hataların azaltılması gibi olaylara sadece tek yönlü bakılarak sıradan bir araç gelmiştir. Bugün pazarda bırakın liderliği, sadece rekabet edebilmek için dahi, proses teknolojisi ve tedarikçilerden bayilere kadar uzanan zincirde bütünleşmeye (entegrasyona) gitmek zorunlu hale gelmiştir.

Üçüncü küresel yönelim: Doğru maliyet ekonomisine geçiştir. Söz konusu olan basit bir maliyet düşürme değildir. Bütün dünya maliyetleri düşürmek için yarışmaktadır ve süreçlerine gerçekten kalite anlayışını teknik olarak yerleştiren ve maliyetleri sürekli yeniden yapılandırarak doğru maliyet ekonomisine kavuşan şirketler pazarda tutunabilmektedir. Sürekli olarak maliyetleri düşürme, pek çok pazarda standart bir faaliyet olmuştur.

Rakiplerle aynı hızda maliyetlerini düşürmeyenler, oyun dışı kalacaktır.

Dördüncü küresel yönelim: Bürokratik ve hiyerarşik yönetim doktrininin reddedilmesidir. Söz konusu yönelimlerle ilgili tüm fikirler, patronun kafasından çıkıp uygulamaya giremez. İşletmenin ortak aklı harekete geçirmesi gereklidir. Ortak aklı süreçleri, kaliteyle, müşteri ihtiyaç ve istekleriyle buluşturmalı, üretilen yenilikçi ve iyileştirmeci fikirleri devreye almalıdır.

Değişimi gerçekleştirmek;

Söz konusu kalite hedefleri başarabilmek için, orta kademe yönetimin açık bir iyileştirme vizyonu olması gerekir. Ancak iyileştirme vizyonu tek başına yeterli değildir. İyileştirme için, iyileştirmenin kolektif bir çaba olduğuna inanılan bir organizasyon kültürü gereklidir.

Bir önceki yılın performansını tekrarlamak ya da daha iyisini yapmaya çalışmak yerine, yapılması gereken ve yapılabilecek olanın tüm organizasyonca ince ayar tarifiyle hedef belirlemek gerekir.

Değişimi gerçekleştirmek için yine moda gibi görünen ama gerçekten kritik bir

kaynağı iyi değerlendirmek gerekir. İnsan kaynaklarının etkili bir şekilde değerlendirilmesi, değişim açısından kritik öneme sahiptir. Açıklık ve çok yönlü iletişim, insan kaynaklarının etkili değerlendirilmesi açısından tetikleyici ve temel unsurlardır.

İşlerin katma değerli, süreçlerin takımlarla yönetilmesi gerektiğine, çalışanlar inanç göstermelidirler. Kaliteyle ilgili eski ve hala geçerli bir ilke ise, doğru ölçülen şeyin doğru şekilde düzeltilebileceğidir.

### **2.3.Kaizen Prensibi**

Japon veya Uzakdoğu felsefesine göre hiçbir şey mükemmel değildir,her şeyi daha ileriye götürmek mümkündür. Bu anlayış her şeyi daha ileriye götürecek bir taraf gibi davranılmayı gerektirir. Bu da iki önemli ilkeyi gerekli kılar:İsrafı azaltmak ve sorunları izlemek yerine ortaya çıkarmak. İsraf; Japon tarzı üretim anlayışında hiç arzu edilmeyen bir şeydir. Bir işi yaparken gereksiz yere kullanılan herhangi bir kaynak (makine,malzeme,insan gücü,enerji,vb.)israftır. İsraf çok geniş kapsamlı bir kavramdır. Kapsamına,örneğin düzenli yerleştirilmemiş alet takımları arasından istenileni aramak ve bulmak için geçen zaman da girer. Atıl duran veya boş bekleyen makine veya işçi israftır. İsrafı azaltan her önlem projesi iyileştirmede ileriye doğru atılmış bir adım sayılır. Sorunların üzerine gitmek; sorunların gizlenmesi yerine ortaya çıkartılması Japon tarzı üretim ve yönetim anlayışında önemli bir hedeftir. Her ortaya çıkan sorun,iyileştirme yapılacak bir alanı veya konuyu gösterir. Bu bakımdan,toplam kalite yönetimine geçmiş bir işyerinde,her zaman için bir sorun avı vardır. Sorunları çözmek için geliştirilen teknikler KAIZEN felsefesinde önemli bir yer tutar.

Kaizen;sürece yönelik,küçük adımlı,insana dayanan,bilgiyi paylaşan sürekli iyiyi arama çabasıdır. Kaizen'in baş sloganı şudur:"En iyi iynin düşmanıdır." Sorunları saklamamak,örtmemek Kaizen uygulamalarının ön koşuludur. Sorun çözme aşamasında,farklı uzmanlık alanlarından oluşturulan Kaizen ekipleri görevlendirilir. Sorunlara kısa sürede çözüm bulmaktan çok,sorunu kökünden halledecek çözümü bulmak yeğlenir. Amaç; geçici önlemlerle o günü kurtarmak değil,kalıcı çözümlerle yarını kurtarmaktır. Aksi halde,sorun kısa bir süre sonra tekrar kendini gösterir. Batı toplumları dikkatlerini hep buluşlara,büyük atılımlara ve sonuçlara yöneltmiş iken,Japonya ilgisini daha çok küçük adımlar yoluyla ilerlemeye ve süreçlere

yönelterek daha olumlu sonuçlar almıştır. Her ne kadar,hemen hiçbir önemli teknoloji (bilgisayar,elektronik,atom, genetik vb.) Japonya'da geliştirilmemişse de bu teknolojilerin en iyi uygulayıcıları da yine Japonlar olmuştur. Japonlar bu teknolojileri Batı'dan almışlar ve küçük ama emin adımlarla daha ileriye götürmüşlerdir. Japonya'da yönetimin iki ana unsuru;koruma ve iyileştirme dir. Yönetim öncelikle tüm ana operasyonlar için gerekli şirket politikalarını, kural, talimat ve prosedürlerini belirler ve ardından herkesin bu standartlara uymasını sağlamaya çalışır. O halde Japon yönetim anlayışı tek bir kuralla özetlenebilir:"Standartları korumak ve iyileştirmek." İyileştirme,kaizen ve yenilik olarak algılanır. Kaizen;sürekli çabaların sonucunda mevcut durumda görülen küçük çapta iyileşmeleri işaret eder. Yenilik ise yeni teknolojiye ve/veya araçlara yapılan büyük yatırımlar sonucu mevcut durumun köklü olarak değiştirilmesidir. İyileştirme için başlangıç noktası,iyileştirmeye olan ihtiyacın farkedilmesidir. Farkedilen bir problem yoksa, iyileştirmeye de ihtiyaç yoktur. Mevcut durumla yetinmek ise,Kaizen'in baş düşmanıdır. Bir kere belirlendikten sonra sorun çözülmelidir. Sorunun çözülmesiyle birlikte iyileştirme her defasında daha ileri bir düzeye ulaşır. Ulaşılan yeni düzeyi pekiştirmek için,sağlanan iyileştirme standartlaştırılmalıdır. Sürekli gelişmeyi gerçekleştirmek için 3 temel koşulu sağlamak gerekir:

1-Mevcut durumu yetersiz bulmak: Bir sistem kusursuz bir şekilde çalışıyor olsa da ,geliştirecek yöntemler mutlaka bulunabilir.Ayrıca,bilim ve teknolojideki gelişmeler ile müşteri beklentileri, her gün "verimlilik" ölçütünü ileriye taşımaktadır.

2-İnsan faktörünü geliştirmek: Her şeyi yapan "insan"dır.İnsan kaynağı bir kuruluş için en değerli varlıktır. Alışlagelmiş yönetim biçiminde bu kaynağın kullanımı oldukça yetersizdir. Oysa her çalışanı bu geliştirim etkinliklerinin bir üyesi haline getirmek gerekir.

3-Problem çözme tekniklerini yaygın biçimde kullanmak. Problemleri çözmekte düşülen en büyük hata, belirtiler üzerinde yoğunlaşıp,sorunların altında yatan nedenleri görememektir. Sorunları iyi bir biçimde çözmek için,her sorunu en uç sebebe kadar izlemek ve temeldeki sorunu bir daha ortaya çıkmayacak biçimde çözmek gerekir. Sorunun nedeni araştırılırken beş kez neden diye sormak genellikle iyi sonuç vermekte ve sorunun görünür nedeni değil de,gerçek nedeni ortaya konabilmektedir. Sürekli gelişmenin yararlarını sıralayacak olursak;

- Kuruluşun tüm etkinliklerinde bir canlılık meydana gelir.
- Topluluğun aynı amaç ve hedef doğrultusunda çalışması sağlanır.
- Bölümler kendi işlerini daha etkili ve verimli biçimde yürütürler.
- Etkileşim içinde olan bölümlerin sorunları kısa yoldan ve kalıcı biçimde çözülür.
- Çalışanların bilgi ve beceri düzeyi yükselir,motivasyonu artar.
- Verimlilik ve diğer temel rekabet unsurları daha hızlı bir gelişme gösterir.

Rekabetin arttığı, tüketicilerin kaliteli ve ucuz olan malı talep eder hale geldiği günümüzde , Toplam Kalite Yönetimi , şirketler için can simidi haline gelmiştir. Öyle ki bunu uygulayan işletmeler, diğerlerine karşı avantaj sağlamakta ve bu acımasız rekabette onları geride bırakmaktadırlar. Endüstrileşmenin başladığı devirlerde miktar olarak fazla miktarda üretmek yeterli idi. Yani üretebildiğiniz kadar fazla üretmek başarı için yeterli olabiliyordu. Monopol bir piyasada rakip olmadığı veya çok az olduğu için fiyatlar ve imal edilecek miktar firma tarafından tespit edilebiliyordu. Fakat zamanla rakiplerin çoğalması ve özellikle 2.Dünya Savaşından sonra dünya çapında üretim fazlalığının oluşması sıkı bir rekabetin de habercisi olmuştur. Tüketicilerin kaliteli mala olan taleplerinin artması ve rakiplerin de çoğalması işletmeleri yeni yöntemler bulmaya zorlamıştır. İmalat esnasında ve sonrasında oluşan hatalar, maliyetleri oldukça arttırmaktadır. Mamullerin imal edildikten sonra muayenesinin yerini proste muayene fikri almıştır. Böylece hatalarda hemen tespit edilip düzeltilebilmektedir. Bunun için de uygun yerlere istatistiksel sinyaller konulmuştur. Fakat aksaklıkları bulmakla iş bitmiş değildir. Çünkü onun yerine getirilecek olanı eskisinden daha iyi sonuç vermelidir. İşte burada Toplam Kalitenin temelini oluşturan, proste çalışanların fikirlerini alma ihtiyacı doğmuştur. Taylor' un işçiyi sadece üst yönetimin verdiği emirleri uygulayan kişi olarak gören anlayışı TKY 'de tamamen değişmiştir. Burada işçiye verilen emirleri yapan bir makine değil de insan gözüyle bakılması TKY'nin en büyük avantajıdır.

Ünlü Japon sanayici Konosuke Matsushita 'nın 1988' de ABD' li yöneticilere yönelik söylediği şu sözü oldukça anlamlıdır: "Biz kazandık, siz kaybettiniz; biz kazanacağız ve sizde kaybedeceksiniz. Hiçbir şey yapamazsınız. Çünkü başarısızlığınız bir iç hastalıktır. Firmalarınız Taylor'un ilkelerine dayandırılmıştır. Daha beteri kafalarınızda Taylorlaştırılmıştır. Katı bir biçimde inanmaktasınız ki iyi yönetim, yöneticilerin bir tarafta, çalışanların diğer bir tarafta; bir başka anlatımla iyi yönetim;

bir tarafta düşünen adamlar, diğer tarafta da yalnızca iş görebilen adamlar anlamına gelmektedir. Sizler için yöneticilik, yönetimin fikirlerini yumuşak bir biçimde çalışanların ellerine ulaştırmak sanatıdır." İşçinin yönetime yardımcı olması sağlanmalıdır. Bunun için de onun görüşlerini anlatmasına imkan tanınmalıdır. Böylece aksaklıkları gören kişi derhal durumu üstlerine bildirecektir. Ayrıca onun işyerine kendisini yabancı hissetmesini önlemeli, firmayı sahiplenmesine olanak verilmelidir. Çalıştığı işletmede kendisinin de hakkı olduğuna inanan insan aksaklıkları gördüğü zaman hemen düzeltecek ve işini daha iyi yapacaktır. İşte Toplam Kalite de amaç budur.

## **2.4.Kalite Uzmanları**

### **2.4.1.W. Edward Deming**

Toplam Kalite Yönetimi' nin temelleri Japonya' da atılmıştır. 1960' larda Japonya kalite devriminden geçmiştir ve bundan sonra "Japon Malı" ucuz mal anlamına gelmiştir. 1950'lerde Japonların kalite standartlarını iyileştirme yaklaşımı, Amerika ve Avrupa'dan danışmanlar işe almaktı. Bu danışmanların en ünlüsü Dr. W. E. Deming'di. Deming'in felsefesi, organizasyondaki en iyi çalışmayı kurmak, bunu standart prosedür haline getirmek ve çalışanları en iyi şekilde eğitmektir. Deming'in yaklaşımı, organizasyondaki herkesin katılımını sağlamak ve çalışanları kazanmaktır.

Deming'e göre eğer her seviyede güven varsa insanlar ancak bu şekilde kazanılabilir. Bu da, yönetimin çalışanlara sorumluluk vermesi ve desteklemesi; ve çalışanların da bu sorumluluğu almaya hazır olmasıyla olabilir.

Edward Deming'in 14 Adımı:

1. Amacın tutarlılığını yaratın
2. Hataları reddedin
3. Denetimi reddedin
4. İş i ödüllendirmek için kalite kriterini kullanın
5. Sürekli geliştirin
6. Eğitimi modernize edin

7. Yönetimi modernize edin
8. Korkuyu uzaklaştırın
9. Fonksiyonel bariyerleri kırın
10. Hedef ve sloganları eleyin
11. Numerik kotaları eleyin
12. Vardiyalı çalışanlardan bariyerleri kaldırın
13. Enerjik çalışın
14. Destekleyici ,yönetim yapısı yaratın

#### **2.4.2. Joseph Juran**

Japonların tek kalite gurusu Deming değildi. Kaliteli ürün için Juran ile de fikir alışverişi yaptılar. Juran'da, Deming gibi Amerikalı bir istatistikçiydi. Her şeyden öte, ikisi de kalite için yönetimin sorumluluğunun altını çiziyordu. Ama Juran, kaliteniniletişimle başarılabileceğini söyleyen ilk guruydu. Juran'ın kalite için üçlemesi; planlama, kontrol ve geliştirmeden oluşuyordu. Yaklaşımı kalite geliştime için yıllık plan, maliyet düşürme ve kalite konusunda sürekli eğitim içeriyordu. Juran "kalite kontrol" terimini kullanıyordu, .ama bu terimi bir çok organizasyonda olduğu gibi Üretim sonrası kontrol için kullanmıyordu. Jman'ın belirttiği, çok az itirazlar olsa bile, hat sonu Üretim sonrası kontrol hataları önlemek için çok geç olduğudur. Juran'a göre kalite üretim süreci sırasında gözlenmeli ve üretimin verimli ve hatasız çalıştığından emin olunmalıydı. Bunu da süreç değişkenleri ve sonuç ürün arasındaki ilişkiyi inceleyerek yapıyordu. Jman'a. göre Üst yönetimin rolü sadece idareden fazlaydı, hareket sırasında liderlik göstermeliydiler - sadece emir verip, hedef koymak değil, söylediklerini uyulamalıydılar. Kalitenin bedava olmadığını ve organizasyonun her seviyesinde yatırıma, özellikle de eğitime ( istatistiksel analizi de içeren) ihtiyaç olduğunu söyler. Juran, kalite çemberlerine de inanıyordu ve bu çemberleri ilgi alanları ortak olan ve problemleri çözmek için bir araya gelmiş küçük takımlar olarak tanımlıyordu.

Joseph Juran'ın 10 Adımı:

1. ihtiyaç ve gelişim için fırsat farkındalığı oluşturun
2. Gelişim için amaçlar koyun

3. Amaçlara ulaşmak için organize olun ( bir plana ve organizasyonel yapıya sahip olun)
4. Eğitim verin
5. Problemleri çözmek için projeleri yürütün
6. İlerlemeyi raporlayın
7. Onay verin
8. Sonuçları bildirin
9. Skor tutun
10. Organizasyonun süreçleri ve düzenli sistemleri konusunda yıllık gelişimleri yaparak momentumu sağlayın.

#### **2.4.3.Armand F. Feigenbaum**

Feigenbaum, Amerika'da kalite bilincini yükseltme konusundaki çalışmalarıyla tanınır. "Toplam Kalite Yönetimi" terimi, onun ilk olarak 1961' de basılan "Toplam Kalite Kontrol" kitabından çıkarılmıştır. Feigenbaum, Toplam Kalite Kontrolün, müşteri - merkezli kalite aktivitelerinin genel yönetim ve kalite kontrolün olduğu kadar pazarlama, mühendislik, üretim, endüstriyel ilişkiler, finans ve hizmetin ana hat operasyonlarının ana görevi olarak yönetim ve teknik ekibi içeren organizasyon çaplı etkisi olduğunu söyler.

Feigenbaum, mühendisin veya pazarlama kalitenin ( tasarımcının veya departmanının) değil, müşterinin perspektifinden belirlenmesi gerektiğini söyleyen ilk birkaç yazardan biridir. Bununla beraber, Feigenbaum, en iyinin tamamen mükemmellik değil, belirli müşteri isteklerini tatmin etmek olduğunu söylemiştir. Deming ve Juran gibi Feigenbaum'da ölçümün gerekli olduğunu görmüştür, ama Deming ve Juran ürün ve çıktıları ölçme eğilimindeyken, Feigenbaum, iyi ürün ve servisin istenen müşteri tatmin seviyesine ulaşp ulaşmadığını ölçmeye yoğunlaştı.

Dale'e göre Feigenbaum'un kaliteye en büyük katkısı, maliyetin üç büyük kategorisinin tahmin etme, önleme ve hata maliyeti olduğunu söylemesidir. Feigenbaum'a göre kalite geliştirme'nin amacı genellikle satış maliyetinin %25-30'u olarak kotalanmış olan toplam kalite maliyetini. azaltarak olabildiğince düşük bir düzeye çekmektir. Feigenbaum kalitenin maliyetine finansal yaklaşmıştır.

#### **2.4.4. P. B. Crosby**

Amerika'ya Toplam Kalite Yönetimi'ni ve "sıfır hata"yı "satan" popülist, 1970'lerin sonlarından bir günü olan P. B. Crosby'di. "Sıfır hata" konsepti Altı Sigma'ya benzer görünmesi ne rağmen, aslında,. Crosby; Deming, Juan, Feigenbaum veya Altı Sigma'dan daha yumuşak bir yaklaşım sergiledi. Crosby'nin sıfır hata konsepti, her zaman işleri ilk seferde doğru yapmanın daha ucuz olduğu kabulü ve kalitenin ihtiyaçlara uygunluk olması üzerine temellendirilmişti. Crosby, uygunsuzluk konseptini geliştirdi. Kalitenin maliyetini hesaplarken, uygunsuzluk, atık ve hurda maliyetlerini, eksik bakımdan kaynaklanan duruşlar, işleri düzeltme, ürünlerin geri çağırılması, değiştirilmesi ve en kötüsü yasal ihbardır.

Crosby, kalitenin bedava olduğunu söylemesiyle ünlüdür. Kültürel ve davranışsal konuların, Deming ve Feigenbaum 'un istatistiksel yaklaşımından önde olduğunu belirtir. Crosby, eğer çalışanlar doğru davranışlara sahipse, standartların ne olduğunu biliyorlarsa ve her seferinde işlerini ilk seferde doğru yapıyorlarsa, uygunluğun bedelinin sıfır olduğunu söyler. Crosby, hatalar için çalışanların suçlanmaması gerektiğini, yönetimin liderliği ele alması, çalışanların onları izleyeceğini söyleyerek bitirir. Crosby, kalite problemlerinin %85'inin yönetim kontrolü çerçevesinde olduğunu önerir. ( Deming bu rakamı %90'a koyar)

#### **2.4.5. Basu ve Wright**

Basu ve Wright, kalite yönetimi hiyerarşisini dört seviyede belirlemiştir, bunlar: denetim, kontrol, güvence ve Toplam Kalite Yönetimi (TKY)'dir. Kaliteye en temel yaklaşım denetleme, hatayı belirleme ve hatayı düzeltmedir. Diğer seviye, kalite kontroldür, bu ise denetleme, düzeltme, araştırma ve problemin sebeplerini bulma, hataların tekrarlanmasını önlemek için önlemler alma adımlarından oluşur. İki yöntem de gözetim ve denetime güvenir. Üçüncü seviye, kalite güvence, standartların belirlenmesi ve dökümanite edilmesini ve belirlenen standartlara göre kontrolün dökümanite edilmesini içerir. Bu yaklaşımlar, soğuk ve steril olarak tanımlanır. En iyi yöntemi sağlaması için denetçiler işe alınır. Çalışanların öneriler yapması beklenmezdi, onların işi söylenenleri yapmaktı, düşünmek yönetimin işiydi. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) daha farklı bir platformdayd. TKY'de önceki sistemler gibi standartlar belirleme ve standartlara uygunluğu ölçmeyi içerir. Bunu

yaparken istatistiksel süreç kontrol (İSK) kullanılabilir, sistemler dökümante edilir ve sonuçların doğru ve zamanında geri bildirimi sağlanır.

Genel olarak, müşteri temsilcisi, telefon operatörleri, şoförler gibi daha az maaş alan çalışanlar fiziksel olarak müşterilerle karşı karşıya gelecekler veya onlara hizmet vereceklerdir ve onların davranışları ve müşterilere yardım seviyeleri müşterilerin algıladığı genel kalite olacaktır.

Kalite kültürü bir kere köklendiğinde, kalite 'aşağıdan yukarı doğru ilerler ve yönetimin yönlendirmesine veya kontrolüne gerek kalmaz. Yönetim, doğal olarak planlama ve çalışanların işlerini yapması için kaynak sağlamaya devam edecektir ama bununla birlikte, makine operatörleri, müşteri temsilcileri, telefon operatörleri, temizlikçiler, şoförler kendilerini kaliteye tamamen adanmadıkça Toplam Kalite Yönetimi asla oluşmaz.

Toplam Kalite Yönetimi organizasyonda çalışanlardan öteye gider, tedarikçileri, müşterileri ve genel olarak halkı da kapsar.

## **2.5. Süreçlerdeki Temel Değişkenlikler**

Kalitenin iyi olması için süreç ürünlerinin önceden kararlaştırılmış olan standart ve beklentilere uygun olması şarttır. Geleneksel kalite kontrol niyet edilen kalitenin sadece bu şartına göre tasarlanmıştır. İstatistik süreç kontrol ise ürünlerin birbirleri ile tutarlı ve uyumlu olması şartını hesaba katar. Eğer süreç yetersiz ise kalite toleranslarını tam olarak karşılamak mümkün olmayabilir. Ancak (İSK) uygulanan bir süreç stabil ise ürünler birbirleri ile uyumlu ve tutarlıdır. Aslında mükemmel bir uyum ve tutarlılık asla sağlanamaz. Bütün süreçler üretimlerinde değişkenliklere neden olan bozulmalara konu olurlar Söz konusu değişkenlik nedenleri başlıca iki grup halinde incelenir:

### **2.5.1. Genel Nedenler**

Bunlar bir üretim sürecinin doğal nedenleri olup, süreç var olduğu müddetçe bozulmalara veya değişkenliklere sebep olurlar. Bu değişkenlikler üretim sürecinin ayrılmaz özellik ve karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin bir torna tezgahında üretilen aynı çaptaki bir çok milin çapları milimetrenin yüzde biri hassasiyetle ölçülürse, bunların birbirlerinden farklı oldukları görülebilir. Eğer söz

konusu miller torna tezgahından sonra taşlama tezgahında işlenirse bu defa üretilen miller milimetrenin yüzde biri duyarlılıkla ölçüldüğü zaman aynı, ancak milimetrenin binde biri (mikron) duyarlılıkla ölçüldüğünde farklı oldukları görülebilir. Bu bakımdan genel nedenlerin meydana getirdiği değişkenlikler üretim sürecinin yapısına göre azaltılabilir, ancak yok edilemez. Çünkü her üretim sürecinin değişkenliklere sebep olan bazı özellikleri vardır. Yukarıdaki örneklerde, bu nedenler: üretim tezgahının yatak boşlukları, titreşimleri, kesici takımların esnemesi, işlenen malzemenin sertliğinin her noktada aynı olmaması, soğutma sıvısı kullanılıyorsa bu sıvının sıcaklık değişimleri, ortam sıcaklığı ve rutubeti gibi çevre şartlarındaki küçük doğal değişkenlikler, elektrik enerjisi voltajında, frekansında ve akım şiddetinde meydana gelen küçük oynamalar vs. olabilir. Her üretim sürecinde bunlara benzer genel nedenler veya değişkenlikler söz konusudur

Genel nedenlerin başlıca üç özelliklerinden bahsetmek mümkündür:

- 1) Genel nedenler tamamen rasgeledir. Genel nedenlerin yarattığı değişkenlikler, bundan dolayı şansa bağlı değişkenlikler olarak da isimlendirilirler.
- 2) Genel nedenler rasgele olmakla birlikte bunların yarattığı değişkenliklerin alt ve üst sınırları belli ve öngörülebilirdir. Yukarıdaki örnekte torna tezgahı milimetrenin yüzdeleri seviyesindeki değişkenliklere neden olurken, taşlama tezgahı milimetrenin binde birleri seviyesinde değişkenliklere neden olmaktadır.
- 3) Genel nedenlerin azaltılması için üretim sürecinde temelli ve esaslı değişiklikler yapılması gerekir. Örneğin üretim tezgahının yenilenmesi, revizyonu veya temelini yeniden yapılması gibi bir yatırım gerektiren bu değişiklikler yönetimin işi olarak kabul edilirler. Genel nedenler ile uğraşmak normal olarak çalışanların işi değildir. Ancak genel nedenlerin yarattığı değişkenliklerin sınırlarını bulmak ve bu sınırlar içinde kalmağa çalışmak çalışanların işidir. İstatistik süreç kontrol kullanıldığında, kontrol çizelgeleri ile bu sınırlar tespit edilir ve sürecin bu limitler içinde kalmasına çalışılır.

### **2.5.2. Özel Nedenler**

Özel nedenler isminden de anlaşıldığı gibi ürün karakteristiklerinde bazı özel değişkenlikler ve bozulmalar yaratırlar. Bunlar sürecin doğal yapısından değil, özel bazı nedenlerden oluşan değişkenlikler yaratırlar. Örneğin makine ayarının

bozulması, ham maddenin değişmesi, işçinin dikkatsizliği gibi aranırsa tespit edilerek giderilecek nedenlerdir

Özel nedenlerin de üç özelliğinden bahsedilebilir:

- 1) Özel nedenler rasgele ve şansa bağlı değildir. Belli bir yöne doğru giden bir meyil gösterirler. Örneğin yukarıdaki millerin çaplarını büyütmeğe veya küçültmeğe doğru açık bir meyil gösteren değişkenlikleri özel nedenler yaratır
- 2) Özel nedenler belli bir yöne doğru giden değişkenlikler yaratmakla birlikte bu değişkenliklerin belli ve öngörülebilir alt ve üst sınırları yoktur. Özel nedenler önlem alınmadığı takdirde üretimde anormal değişkenlikler yaratabilirler
- 3) Özel nedenlerin giderilmesi için süreçte önemli değişmelerin yapılması gerekmez. Özel nedeni bulup ortadan kaldırmak ve statükoyu sağlamak yeterlidir. Bu ise yönetimin değil, çalışanların işidir. İstatistik süreç kontrol üretim sürecini özel bir nedenin veya nedenlerin etkilediği zaman bunu keşfetme tekniğidir.

İstatistik süreç kontrol ilk uygulandığında özel nedenler varsa tespit edilerek giderilmeli ve süreç ön görülebilir duruma getirilmelidir. Bu duruma getirilmiş bir süreç istatistik kontrol altında veya stabil olarak tanımlamaktadır.

### **2.5.3. Değişkenlik Parametreleri**

Değişkenliği istatistiksel olarak aşağıdaki parametreler kullanarak tarif edilir.

Değişim Aralığı (Range), bir veri grubundaki en küçük değer ile en büyük değer arasındaki mutlak farktır .

R değeri ile gösterilir. Örnek olarak elimizde bir parçanın boyuna ait ölçülmüş şu şekilde datalar olsun.

15,4 – 16,2 – 17,5

$R = (\text{Max} - \text{Min})$

$R = 17,5 - 15,4$

$R = 2,1$  ‘dir.

Varyans ( $\sigma^2$ ), gözlemlerin ortalamadan sapmalarının karelerinin ortalamasıdır.

Standart Sapma ( $\sigma$ ) Varyansın pozitif kareköküdür.

Değişim Aralığı, varyansa göre uç değerlere karşı daha duyarlıdır. En yaygın ve yararlı değişim ölçüsü standart sapmadır.

Yukarıdan da görüldüğü gibi iki bağımsız değişkenin toplamının veya farkının varyansı, her iki varyansın toplamına eşittir.

Ana kütle ve numuneler için standart sapma ise şu şekilde hesaplanır;

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{Ana kütle aritmetik ortalaması} \quad (2.1)$$

$$\sigma = S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \mu)^2}{n}} \quad \text{Ana kütle standart sapması} \quad (2.2)$$

$$\mu = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{Numunelerin aritmetik ortalaması} \quad (2.3)$$

$$\sigma = S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Numunelerin standart sapması} \quad (2.4)$$

Yukarıda verdiğimiz numune dataların standart sapmasını şu şekilde hesaplarız;

$$\mu = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{(15,4 + 17,5 + 16,2)}{3} = 16,367 \quad (2.6)$$

$$\sigma = S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(15,4 - 16,32)^2 + (17,5 - 16,32)^2 + (16,2 - 16,32)^2}{3-1}} = 1,06$$

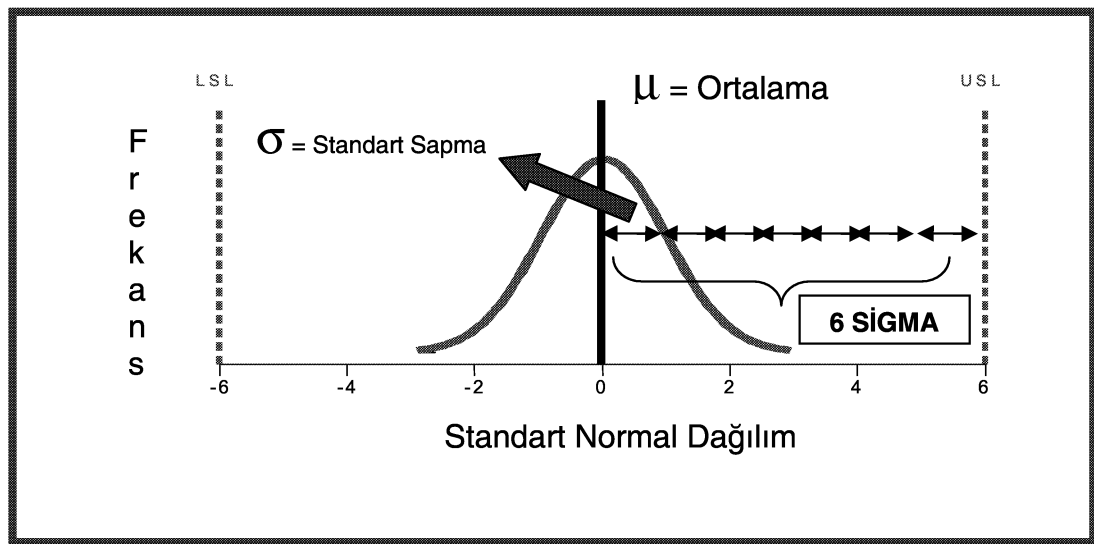
### 3. ALTI SİGMA KAVRAMI

#### 3.1. Sigmanın Tanımı

Sigma( $\sigma$ ), Yunan alfabesinde kullanılan bir harftir. Sigma, özellikle istatistikçiler tarafından her hangi bir sürecin değişkenliğini ölçmek için kullanıldığı bir ölçüttür. Sigma bir iş sürecine ,uygulandığında sigma değeri sürecin ne kadar iyi işlediğini gösteren sonuçlar verir. Sigma seviyesi ne kadar yüksekse süreçle ilgili hata sayısı, maliyet, hurda miktarı ve çevrim zamanı da o kadar düşük olacaktır.

#### 3.2. Altı Sigma Metodolojisi

İstatistiksel olarak baktığımızda sigma standart sapmayı temsil etmektedir. İmalat üretim süreçlerinin normal bir sonucu olarak, imal edilmiş parçalar her biri birbirinden değişken farklı biçimdedir. Değişkenlik ise, kalitenin düşmanıdır. Sigma, belirli bir ana kütledeki parçaların dağılımı veya değişkenliğinin standartlaştırılmış istatistiksel ölçümüdür. Şekil 3.1’den gösterildiği gibi sigma, anakütle ortalaması ve standart sapma arasındaki mesafedir. Standart normal dağılım ortalaması 0, standart sapması 1 olan dağılımdır.

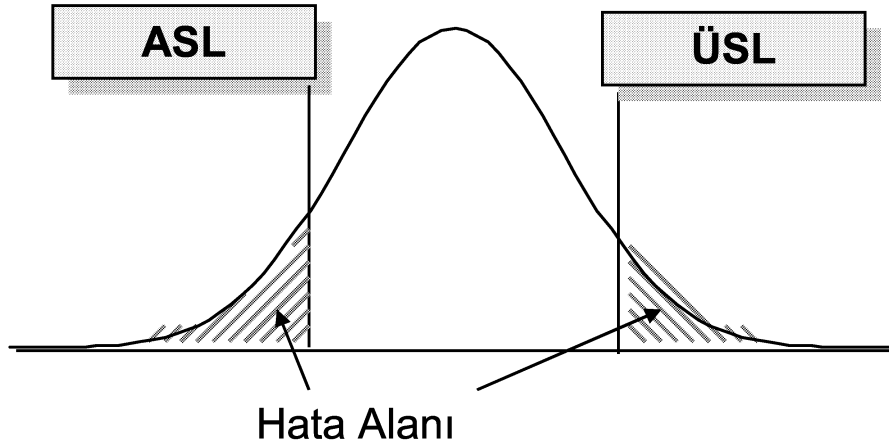


Şekil.3.1 Standart Normal Dağılım Grafiği

Altı sigma faaliyetlerinde kullanılan verilerin genel olarak normal dağılıma uygun davrandığı kabulü vardır. Elimizdeki verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı normalite testi yöntemi ile kontrol edilir. Şekil.3.1’de gösterilen normal dağılıma ait fonksiyonun formülünden de anlaşılabacağı üzere dağılım standart sapma ve aritmetik ortalama parametrelerine sahip olduğu görülür.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (3.1)$$

Eğer bir parça imal ediyorsanız mutlaka bu parçaya ait tasarımdan gelen spektler mevcuttur. Bu spek değerlerini normal dağılım grafiğine eklediğinizde parçanızın imalat sürecini gösteren hata oranlarını hesaplamak mümkündür.



Şekil 3.2 Normal dağılım grafiği üzerindeki hata alanları

Yukarıda gösterilen normal dağılım grafiğinde üst spekt ve alt spekt limitleri gösterilmiştir. Aynı zamanda kırmızı çizgi dışında kalan bölgeler ile hata alanları belirtilmiştir. Hata alanı; eğrinin, spekt değerlerinin dışında kalan bölümlerinin altında kalan alanlardır. Hata olasılıkları ise eğrinin toplam alanının, hata alanına oranıdır.

Matematiksel olarak bu oranının hesaplanması için eğrinin fonksiyonunun bulunması ve integralinin alınarak alanların hesaplanması gerekmektedir. Bu ise uzun ve zor bir yöntemdir.

Bunun yerine Z dağılım yöntemi kullanılır. Z Dağılımı, yukarıda bahsedilen ortalaması “0” ve standart sapması “1” olan standart normal bir dağılımdır. En

önemli özelliği ise eğri üzerindeki her değer için, eğri altında sınırlanan alanın biliniyor olmasıdır. Her Z değerine karşılık eğrinin altında kalan ya da hata bölgesinde kalan hata olasılık değerleri standart normal dağılım tablolarından bulunabilir.

Bir değer Z karşılığı, standart sapma cinsinden ortalamadan ne kadar uzakta bulunduğunu gösterir. Örneğin,  $Z = 2$  olması ilgilendiğimiz X değerinin ortalamadan 2 standart sapma uzakta olduğu anlamındadır.

Sonuç olarak normal dağılmış bir sürecin Z dağılımı kullanılarak Alt Spekt ve Üst Spekt değerlerinin Z karşılıkları bulunursa, Hata Olasılığı kolaylıkla hesaplanabilir.

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{\sigma} \quad (3.2)$$

$\sigma$  : Örneklerin standart sapması

$\bar{X}$  : Örneklerin ortalaması

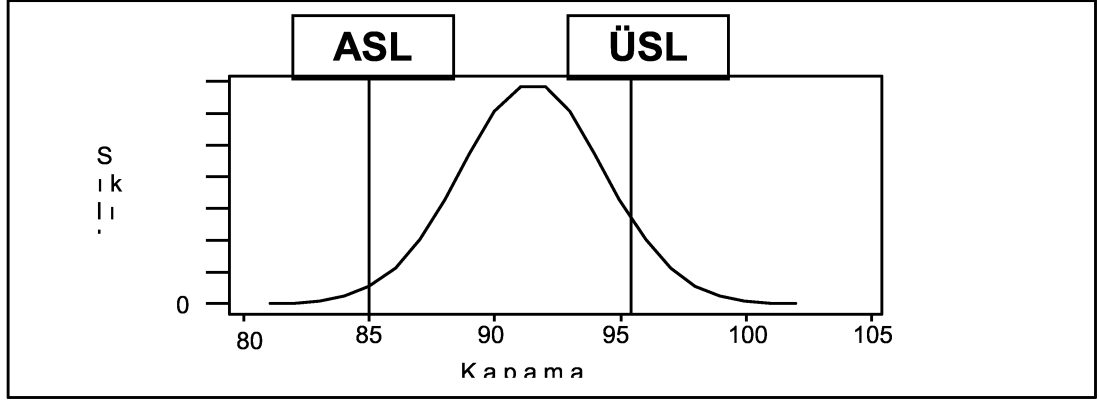
$X$  : Z karşılığı bulunmak istenen değer

Üst spekt ve alt spekt için Z değeri şu şekilde hesaplanır;

$$Z_{Üst} = \frac{(\bar{X} - \bar{X})}{\sigma} \quad (3.3)$$

$$Z_{Alt} = \frac{(\bar{X} - ASL)}{\sigma} \quad (3.4)$$

Örnek olarak uzun bir dönem boyunca data toplanmış. Dataların ortalaması 914,35 ve standart sapması 18,96 olarak ölçülmüş. Tasarımdan alt spekt limiti 850, üst spekt limiti 950 olarak verilmiştir. Buna göre elimizdeki bu prosesin hata olasılığını ve Z değerini hesaplayalım.



Şekil 3.3 Örnek Normal Dağılım Grafiği

Züst ve Zalt değerlerini yukarıda verilen formüle göre hesaplırsak;

$$Z_{ASL} = \frac{(914,35 - 850)}{18,96} = 3,39 \quad (3.5)$$

$$Z_{ÜSL} = \frac{(950 - 914,35)}{18,96} = 1,88 \quad (3.6)$$

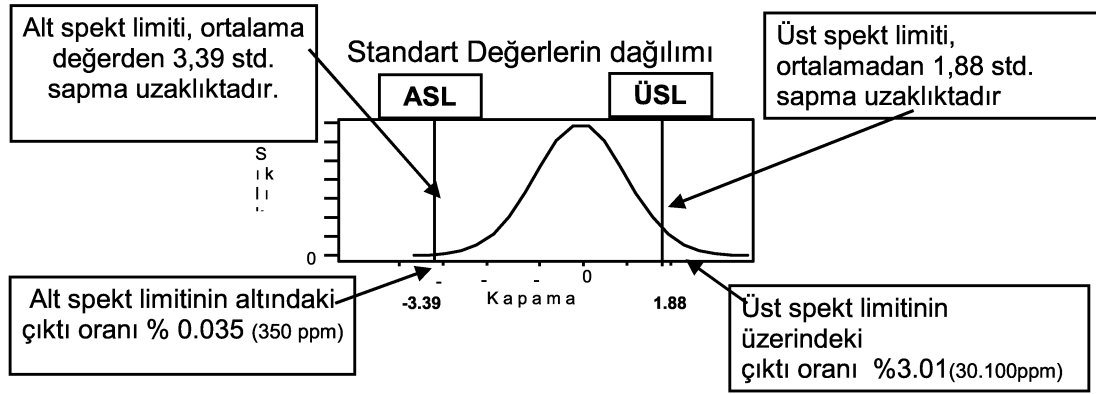
Değerleri elde edilir. Buna göre standart normal dağılım tablosuna(yada bir yazılım programı da kullanılabilir) bakarsak alt ve üst spekt limit değerlerin dışında kalan alanının olasılığını hesaplayabiliriz. Normal dağılım tablosu eklerde verilmiştir.

| Z   | 0      | 0.01   | 0.02   | 0.03   | 0.04   | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.5 | 6.68E- | 6.55E- | 6.43E- | 6.30E- | 6.18E- | 6.06E- | 5.94E- | 5.82E- | 5.71E- | 5.59E- |
| 1.6 | 5.48E- | 5.37E- | 5.26E- | 5.16E- | 5.05E- | 4.95E- | 4.85E- | 4.75E- | 4.65E- | 4.55E- |
| 1.7 | 4.46E- | 4.36E- | 4.27E- | 4.18E- | 4.09E- | 4.01E- | 3.92E- | 3.84E- | 3.75E- | 3.67E- |
| 1.8 | 3.59E- | 3.52E- | 3.44E- | 3.36E- | 3.29E- | 3.22E- | 3.14E- | 3.07E- | 3.01E- | 2.94E- |
| 1.9 | 2.87E- | 2.81E- | 2.74E- | 2.68E- | 2.62E- | 2.56E- | 2.50E- | 2.44E- | 2.39E- | 2.33E- |

Şekil 3.4 Standart normal dağılım tablosundan olasılık hesaplama örneği

Z=1,88 değerine karşılık tablodan 3,01E-02 değeri bulunur. Bu değer %3,01'e karşılık gelmektedir.

Z=3,39 değeri tablodan 3,5E-04 olarak bulunur ve %0,035'e karşılık gelir. Aşağıdaki grafikten Z değerlerini ve hata olasılık alanlarını görebilirsiniz.



Şekil. 3.5 Speklerin ve hata alanların normal dağılımda gösterilmesi

Üst ve alt spekt limitleri dışındaki toplam alan bize toplam hata alan olasılığını verir.

$$\text{Toplam hata oranı} = \%3,01 + \%0,035 = \%3,045 \text{ (30.450 ppm)}$$

Toplam hata oranını alarak tekrar standart normal dağılım tablosuna dönüp bu değere karşı gelen Z değeri bulunması gerekir. Bu Z değeri bize prosesin sigma seviyesi cinsinden hata performansını gösterir.

Tablodan 3,045E-02'ye karşılık gelen değer  $Z = 1,875$  olarak tespit edilir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir konu verilerin uzun dönemde mi yoksa kısa dönem içerisinde mi toplandığı bilgisidir. Uzun dönem ile kısa dönem arasında Z değeri hesaplanırken şu varsayım yapılır.

$$Z_{UD} = Z_{KD} - 1,5$$

Yukardaki ifadedeki 1,5 değeri kayma(shift) değeri olarak adlandırılır. Bu varsayım elimizde sadece kısa dönemde yada uzun dönemde toplanmış data olduğunda kullanılabilir. Gerçekte uzun ve kısa dönem şu şekilde hesaplanabilir;

$$Z_{KD} = \frac{SL - T}{\sigma_{KD}} \quad (3.7)$$

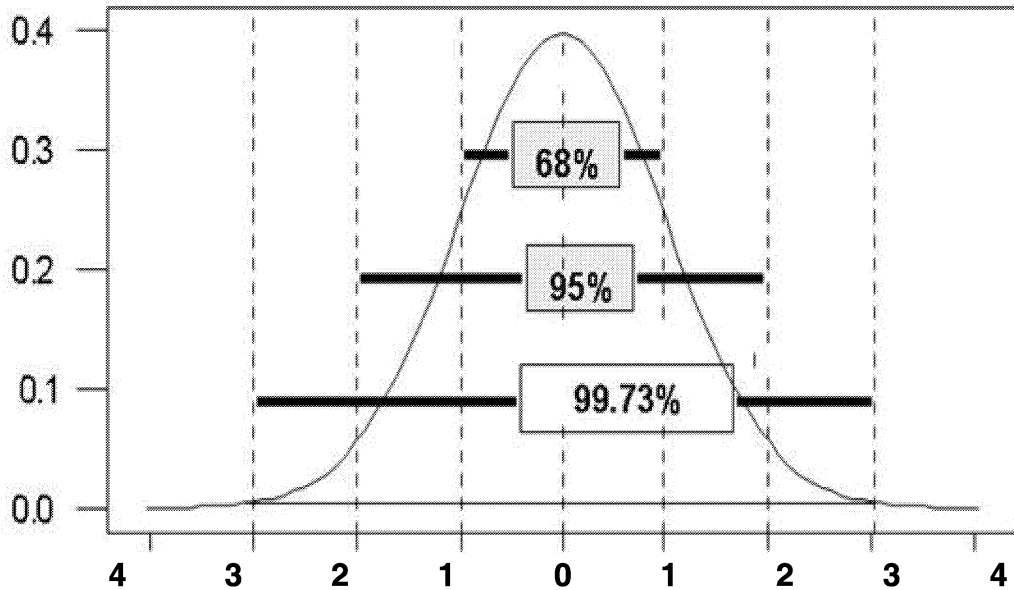
$$Z_{UD} = \frac{SL - \mu}{\sigma_{UD}} \quad (3.8)$$

T= hedef

SL= Üst spekt limiti veya alt spekt limiti

İmalatta önemli olan, gerçek uzun dönem süreç yeterliliğinin doğru olarak tahmin edilmesidir. Kısa dönem yeterlilik analizi, günler, haftalar gibi oldukça kısa bir süreyi kapsar ve 30 ile 50 civarında veriden oluşur. Uzun dönem yeterlilik analizi, haftalar, aylar gibi oldukça uzun bir süreyi kapsar ve 100 ile 200 civarında veriden oluşur.

Tarihte, bir çok üretim sürecinde + veya - 3 sigma değişimi bir üretim sürecini kontrol altında tutmak için yeterli görülürdü. Bu durum üretilen parçaların %99.73' ünün spesifikasyon sınırları dahilinde meydana geldiği sonucuydu (ya da %0,272 sinin spesifikasyon sınırları dışında meydana geldiği). Bu %0,27' lik kısım daha sonraları aşağıdaki denetlemeye tabi tutuldu. Bununla birlikte bu seviyedeki hatalar, bu günün dünya çapındaki kompleks ekipman, yüksek derecede rekabete dayanan ve kalite duyarlı pazarda hiçbir yerde ve hiçbir şekilde kabul edilemez duruma geldi. İSK' ya dayanan altı sigma kavramı, sigma kavramını daha da ileri bir noktaya' taşımaktadır. Gerçekten kısa dönemde + veya - 6 sigma (toplam 1 yayılım 12 sigma) seviyesinde kontrol edilen bir üretim süreci, spesifikasyonlar dahilinde elde edilen ürün miktarını popülasyonun %99,99999998'ine veya spesifikasyonlar dışında elde edilen ürün miktarını %0,00000002 düzeyini sağlar. Şekil 3.6'den görüleceği üzere standart normal dağılım eğrisi üzerinde farklı standart sapma değerlerinde verilerin ne kadar olasılıkla belirtilen sınırlar içerisinde kaldığını göstermektedir.



Şekil 3.6 Standart Normal Dağılım Olasılık Değerleri

Altı Sigma yaklaşımını seçen şirketlerin sağladıkları olağanüstü başarılar nedeniyle pek çok yazar ve yönetim bilimcinin ilgi odağı haline gelmiştir. Ancak konunun yeni olması ve hakkında henüz yeterli araştırma yapılmamış olması nedeniyle genel geçerli bir Altı Sigma tanımı oluşturulamamıştır.

Altı Sigma'yı; bir yönetim strajesi (Motorola ve diğer çok sayıda şirketi-olağanüstü başarılarla taşıyan yönetim stratejisi), birlikte (milyonda 3.4 den daha az hata oranı ile müşteri ihtiyaçlarını kusursuz yakın karşılama hedefi), istatistik yöntem (Ürün ve proseslerdeki değişkenliği azaltmak için kullanılan ileri istatistik yöntem) ve kültürel değişim süreci (şirketin müşteri tatmini ve karlılığını arttırarak rekabetçi konumunu güçlendirilmesi için gerekli kültürel değişim süreci) olarak tanımlamaktadırlar. Ancak bu tanımların hiçbirisi, yalnız başına Altı Sigma yaklaşımını tüm yönleriyle ortaya koyacak yeterlilikte değildir. Ayrıca bu tanımlar, pratikte icracı personele çok az yardımcı olmaktadır. Bu nedenle tecrübelerimiz ve Altı Sigma'yı benimseyen çok sayıda şirketteki uygulamalara dayalı olarak aşağıdaki tanımı geliştirdik.

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

Dikkat edilirse tanımda, Altı Sigma'nın "ne" olduğunu ("tüm çalışanları bilgilerinin ve kantitatif metotların etkin olarak kullanılması"), çabanın "nereye" yöneleceğini ("organizasyonun tüm temel süreçleri") ve "ne zaman" uygulanacağını ("şimdi ve gelecekte") açıklamaktadır.

"Temel" kelimesi Altı Sigma'nın öncelikle müşteri tatminine en fazla etki eden süreçlere uygulanması gerekliliğini vurgulamak için kullanılmıştır. Bu yaklaşım organizasyonun kıt kaynaklarını önemsiz konular için harcanmasını önleyecektir. Ayrıca, Altı Sigma yaklaşık tüm personelin faaliyetlerini içerdiğinden dolayı, herkes tarafından doğru anlaşılması ve aynı şekilde uygulanması önemlidir. Bu nedenle Altı Sigma, altında yatan felsefeyi de yansıtacak şekilde, ayrıntılı ve operasyonel olarak açıklanmıştır; "Altı Sigma (süreçlerdeki değişkenliğin ölçüm birimidir ve standart sapımı olarak da adlandırılır. Örneğin 110 mm çapında bir parça üretmek istediğinizi varsayalım. Müşteriniz de 107 ile 113 mm arasındaki tüm parçaları kabul ediyor olsun. Eğer ürettiğiniz parçaların çapları 108 ile 112 mm arasında ise iyi iş çıkardığınızı söylenebilir. Parça çaplarının 105 ile 115 mm arasında değişmesi

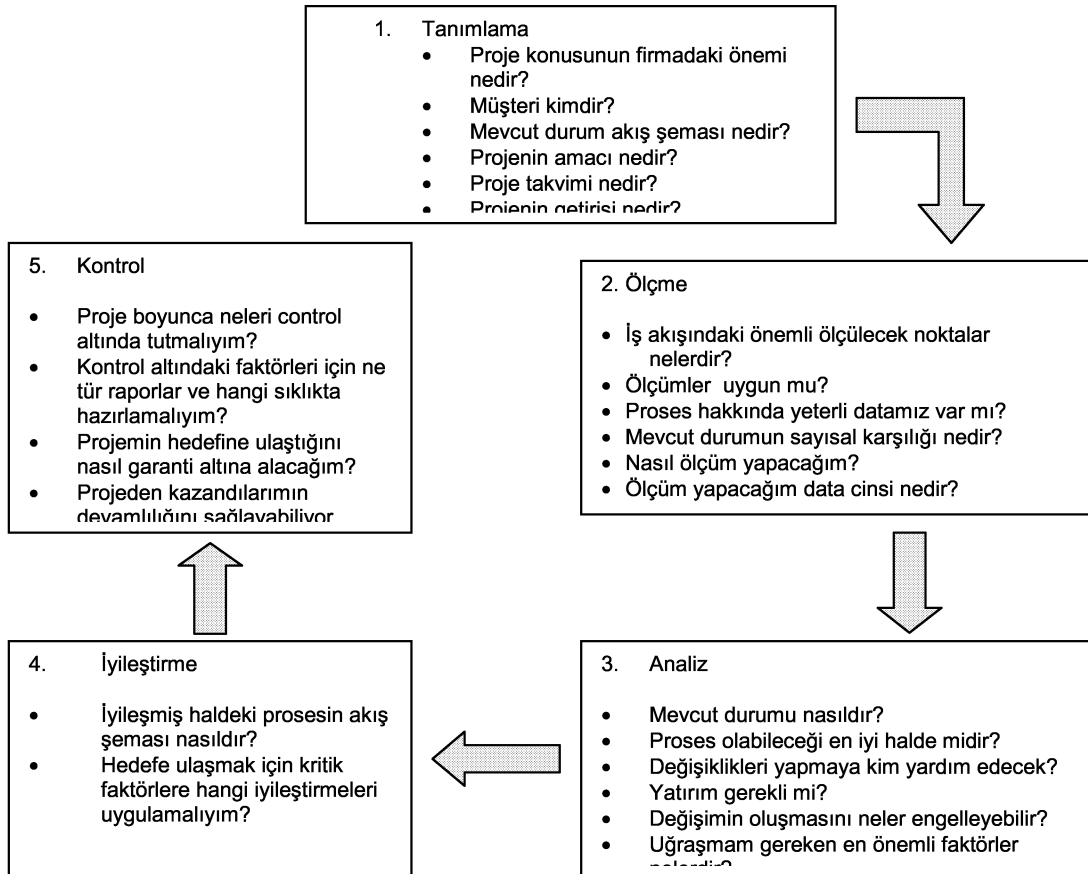
halinde ise, değişkenlik şartları karşılamamızı önleyecektir. Bu üretim performansınızın edilemez proses Kabul Sigma, olduğu anlamındadır. Performansının ne kadar iyi ya da kötü olduğunu belirlemekte kullanılan bir ölçüttür. Otomobil üretiminden, lokanta işletmeciliğine kadar, yapılan işin türüne bakılmaksızın, gerçekleşen hata miktarı ile ilgilidir. Örneğin köşedeki dükkana her gidişimizde, verilen hizmet kalitesini, daha önceki ziyaretlerimizde, benzer dükkânlarda yaptığımız alışverişlerde geliştirdiğimiz "norm"lara göre ölçeriz. Eğer üst üste yaptığımız üç ziyarette istediğiniz soda markasını bulamazsanız, dükkân kirli ya da tezgâhtar kaba ise bunu zihninize kaydedersiniz. Eğer bu böyle sürerse dükkânın beklentilerinizi karşılamaktan uzak olduğunu düşünür ve başka biri ile iş yapmaya başlarsınız. Altı rakamı ise hedeflenen kusursuzluk düzeyi ile ilgilidir. Örneğin bir sigma seviyesinde çalışan bir işletme 1.000.000 işlemde yaklaşık 700.000 hata yapar. Eğer işletme iki sigmada çalışıyorsa, bu onun 1.000.000 işlemde ortalama 300.000 hata yaptığı anlamındadır. Şirketlerin büyük bir kısmı, üç ile dört sigma arasında faaliyet gösterir. Bu da yaklaşık olarak 1.000.000 işlemde, 67.000 ile 6.000 hataya karşılık gelir. %99 doğrulukla çalışan bir işletmenin, 3,8 sigma seviyesinde faaliyet gösterdiği söylenebilir. Fakat % 1' lik hata oranı dahi pek çok durumda kabul edilemez. Bu oran gücünde 20.000 mektubun kaybolması, haftada 5.000 hatalı ameliyat ve günde 4 uçak kazası anlamındadır.

Altı Sigma yaklaşımında anahtar süreçler başarının anahtarı durumundadır. Tüm iyileştirme faaliyetleri insan ve kaynak yatırımı gerektirdiğinden, yardımcı süreçlerin iyileştirilmesine ikinci derecede önem verilmeli, temel süreçler iyileştirme faaliyetlerinin odak noktasını oluşturmalıdır.

#### 4. ALTI SIGMA PROJE AKIŞI

Altı sigma uygulamaya karar veren şirketlerde yapılacak faaliyetlerin başlangıç noktası müşteridir. “Voice of Customer” – Müşterinin Sesi- ilkesiyle hareket ederek amaca ulaşılmaya çalışılır. Müşteri memnuniyetini artırmak, şirket için verimliliği artırmak altı sigma metodolojisi altında yapılan işlerin temel amacıdır.

Altı sigma metodolojisi iyileştirmeyi hedefleyen şirketlere kısaca TÖAİK –Tanımla, Ölç, Analiz, İyileştir, kontrol - diye de bilinen modeli sunar. Kalite gurusu Deming’in önerdiği PUKÖ – Planla, uygula, kontrol et, önlem al- döngüsünden çok farklı olduğunu iddaa etmek doğru değildir. Altı sigma mantığında ölçmek ve iyileştirme mantığının ön plana çıktığını söylemek daha doğru olur. Aşağıda şekil 4.1 ‘den TÖAİK işleyişini gösteren soru çevrimini görebilirsiniz.



Şekil 4.1 Altı Sigma Proje Akış Şeması

#### 4.1.Tanımlama

Bu aşamanın amacı projenin amaç ve kapsamı tanımlanmasıdır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken hususlar; Seçilen projenin organizasyonun imkan ve kabiliyetlerine uygun olması, daha yüksek bir kalite yaratma ve maliyetleri azaltma olasılığının yüksek olması. Problemlerin net ve mümkün olduğunca sayısal olarak tanımlanması şeklinde özetlenebilir. Dolayısıyla ilk olarak, tespit edilen problemin organizasyonunun elindeki imkan ve kaynaklarla çözülebilecek nitelikte olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca seçilen problemin, organizasyon için önemli bir sıkıntı kaynağı olduğundan ve düzeltilmesi halinde büyük yarar sağlayacağından emin olunması gerekmektedir. Bunun açık bir anlamı da şudur: faydasına ve getirisine inanmadığınız projelere girişmeyiniz. Yine bu aşamada süreç ve müşteri hakkında bilgi toplanır. Seçilen ve tanımlanan projenin daha yüksek bir kalite yaratma ve maliyetleri azaltma olasılığının yüksek olması önemlidir. Bu aşamanın çıktısı;

- Planlanan iyileştirmenin ayrıntılı tanımı
- Müşteri için önemli olan faktörlerin listesi
- Üzerinde çalışılacak sürecin akış diyagramı yardımı ile detaylı gösterimidir.

#### 4.2.Ölçme

Bu aşamada mevcut durumu tüm yönleriyle açıklayan bilgiler toplanır. Çünkü geçerli ve doğru performansını ve yapılan ölçümler olmaksızın sürecin mevcut iyileştirmelerin etkilerini belirlemek mümkün değildir. Bu aşamadaki en kritik faktör ise neyin ya da nelerin ölçüleceğinin doğru belirlenmesidir. Aksi takdirde harcanacak emek ve kaynakların karşılığı, hiçbir kullanım alanı olmayan sayfalarca veri olacaktır. Benzer şekilde belli bir süreçteki hataları -iyileştirme fırsatlarını- belirlemek için yapılacak analizler öncesinde, problem sahaları doğru olarak belirlenmeli ve kullanılacak yöntemler bu bilgilerin ışığında seçilmelidir. Altı Sigma basamakları içerisinde, verilen önem ve değer, harcanan para ve zaman açısından en fazla göz ardı edilen aşamanın ölçüm olduğu söylenebilir. Ölçüm sırasında somut bir sonuç elde edilmediğinden bu parlayan bir basamak değildir. Bu nedenle bu basamak bir an önce geçme eğilimi yaygındır. Fakat bu doğru değildir. Çünkü kantitatif veriler Altı Sigma'nın temelini oluşturur. İyi veri olmaksızın iyi kararlar alamazsınız. Geçerli ve

doğru ölçümler olmaksızın sürecin mevcut performansını ve yapılan iyileştirmelerin etkilerini belirlemek mümkün değildir. Bu aşamanın çıktısı;

- Sürecin mevcut performansı
- Problemi ya da problemin oluşumunu açıklayan veriler
- Problemin daha özel ve detaylı bir tanımıdır.

#### **4.3.Analiz**

Bu aşamanın amacı problemin asıl nedenlerini tanımlamak ve bunların nedenlerini doğrulamaktır. Dolayısıyla bu aşamanın çıktısı test edilen ve doğrulanarı bir hipotez olacaktır.

Bu aşamada öncelikle her bir problemin işletme karına, müşteri tatminine, performansa ve üretkenliğe etkilerini belirlenmelidir. Ayrıca rakiplerin aynı alanlarda yaşadıkları problemlerle yapılacak olan kıyaslamalar (benchmarking) organizasyona çok değerli bilgiler sağlayacaktır. Seçilen problemle ilgili olarak onlar ne gibi önlem almaktalar? Performansları organizasyon ile karşılaştırıldığında nasıl? Çok sayıda şirket performanslarını sayıya dökmeden önce, kendilerinin alanlarında kalite, etkinlik ve müşteri tatmini konusunda en iyi olduklarını düşünürler. Fakat çevreye baktıktan ve kendilerini rakipleri ile karşılaştırdıktan sonra genellikle düşündükleri kadar istisnai olmadıklarının farkına varırlar.

Eğer mevcut durum ile ideal durum arasındaki fark yeterince büyük değilse ya da kapatılması halinde organizasyona önemli bir avantaj sağlamayacaksa bir sonraki probleme geçilmesi mantıklı olacaktır. Diğer yandan problemin, genel performansı ve rekabet gücünü önemli derecede etkilediği sonucuna varılırsa, bu kıymetli maden üzerinde çalışmaya başlanabilir.

Burada cevaplanması gereken bir diğer önemli soru da hataların niçin yapıldığı ve bunların nasıl onarılacağıdır. Deney doğru kurulursa, elde edilecek rakamlar organizasyona cevapları verecektir.

Eğer ihtiyaç duyulan rakamlara edilmediyse, geri dönülür ve yeni bir deneye başlanır. Eğer hataların ne zaman, nerede, ne kadar sıklıkla oluştuğuna cevap verebiliyorsa, ihtiyaç duyulan bilgiye sahipsiniz demektir. Fakat yalnız belirtilere odaklanılmalı ve

altta yatan nedenler bulunmalıdır. Eğer problemi arama işlemi yarı yolda bırakılırsa, yarım bir çözüml elde edilmesi kaçınılmaz olabilir.

#### **4.4.İyileştirme**

Bu aşama problemin ortadan kaldırılacağı ya da etkilerinin azaltılacağı andır. Ancak zihindeki çözümler hemen. uygulamaya konulmadan önce, bundan önceki üç basamaktan elde edilen kazanımların gözden geçirilmesi yararlı olacaktır. Bu gözden geçirme sonucunda problemin; herkes tarafından anlaşılabilir derecede net ve ayrıntılı olarak tanımlandığını, mevcut imkan ve kaynaklarınızla çözülebilecek nitelikte olduğunu, giderilmesi halinde şirketinize büyük yarar sağlayacağını, çözümüne yardımcı olacak doğru verilere sahip olduğunuzu ve temel nedenlerinin ve bunların nasıl giderileceğinin doğru olarak belirlendiğini, düşünülüyorsa, eldeki çözümler denenmeye başlanabilir.

#### **4.5.Kontrol**

Bu aşamanın amacı uygulanan iyileştirme planını ve elde edilen sonuçları değerlendirmek ve elde edilen kazançların sürdürülmesi ve artırılması için yapılması gerekenleri ortaya koymaktır. Bu aşamanın çıktıları; İyileştirmeye konu olan sürecin son.durumu İyileştirme sonucu sağlanan kazançlar İyileştirme sonucu ortaya çıkan fırsatlar, tavsiyelerdir.

Günümüz işletmelerinde de temel problem nasıl başarılı olunacağından ziyade nasıl başarılı kalınacağıdır. Bununla ilgili çok sayıda başarı hikayesi de mevcuttur. Ancak eğer biraz zihninizi zorlarsanız bunların pek çoğunun uzun vadeli olmadığını hatırlarsınız. Çok sayıda şirkette yılmazların sönmesi parlaması kadar doğal karşılanır. Ancak ister farkında olun ister olmayın bunun şirketinize faturası büyüktür. Çünkü başarının sürdürülememesi, tüm çaba ve kaynakların boşa gitmesine yol açar. işte bu nedenle "kontrol", Altı Sigma'nın en önemli aşamasıdır. Bu aşamada özetle; ilk dört aşama sonunda sağlanan kazançlar değerlendirilir. Bu kazançların sürdürülmesi ve artırılması için neler yapılabileceği kararlaştırılır, Altı Sigma'nın güçlü araçları yardımı ile en küçük başarıların dahi kalıcı olması sağlanır.

## **5.ALTI SIGMA PROJELERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER**

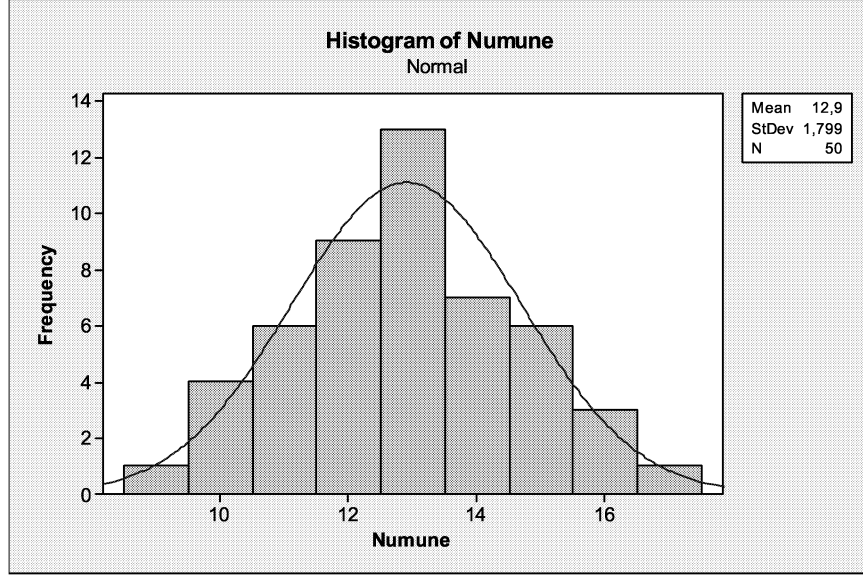
### **5.1. Tanımlama Aşamasında Kullanılan Yöntemler**

#### **5.1.1.Histogram**

Histogram, bir süreçteki toplam değişkenliğin ve dağılımının şeklini ortaya koymak, süreç davranışı konusunda görsel bilgi sahibi olmak ve iyileştirme çabaları üzerine yönelik karar vermek amacıyla kullanılır. İzlenecek Adımlar;

1. Veriler toplanarak küçükten büyüğe doğru sıralanır.
2. En büyük değer ile en küçük değer arasındaki fark alınarak dağılım genişliği hesaplanır.
3. K sınıf sayısına karar verilerek sınıf aralığı hesaplanır.
4. Sınıf sınırları bulunur.
5. Her bir sınıfa düşen veri sayısı bulunarak,sıklık tablosu oluşturulur.
6. Sıklık tablosuna göre histogram çizilir.

Genellikle histogramlar,yatay eksen değişken verilere ait ölçümleri,dikey eksen ise ölçülen değerlerin gerçekleşme sıklığını(frekansını)gösteren dikdörtgen dizileri olarak gösterilir.



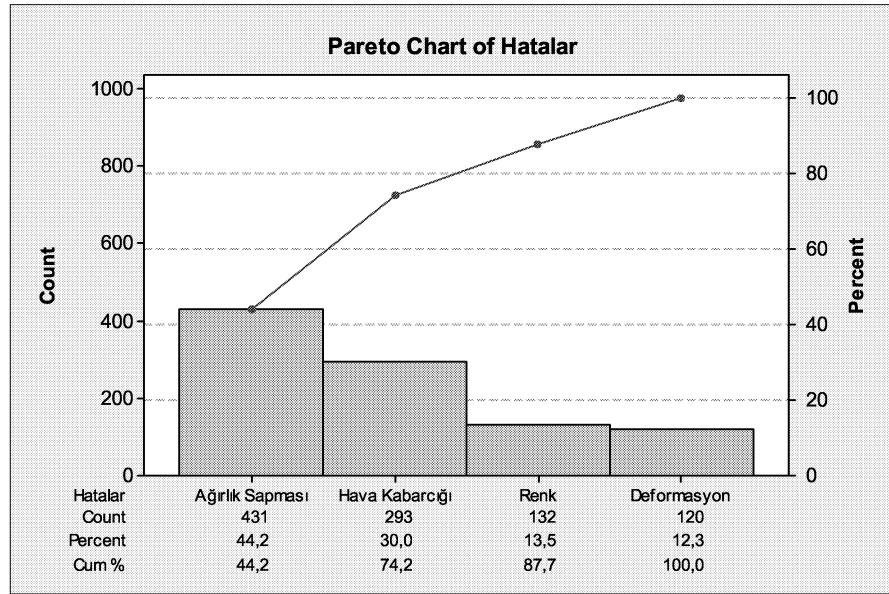
Şekil 5.1. Histogram Grafiği Örneği

Şekil 5.1 deki gibi histogramı oluşturan sütunların üst-orta noktalarının birleştirilmesiyle elde edilen eğriye sıklık eğrisi denir.

İstatistiksel Süreç Kontrol tekniklerinin uygulanması için veriler mutlaka bir dağılım göstermelidir. Kalite açısından, herhangi bir dağılım göstermeyen verilerle istatistiksel çalışma gerçekleştirilemez. Dağılım göstermeyen verilerle çalışılması durumunda hatalı sonuçlara ulaşılır, dolayısıyla da zaman ve emek kayıplarına uğranmış olunur.

#### 5.1.2. Pareto Diyagramı(Pareto Chart)

Süreç verimliliğini ve ürün kalitesini etkileyen tüm karakteristikler belirlenerek değerlendirmeleri yapılmalıdır. Değerlendirme için gerçek ve olası tüm etkenler önem sırasına göre dizilmelidir. Ürün kalitesinin geliştirilmesi için üzerinde en fazla durulması gereken karakteristikler için Pareto prensibi kullanılır. Ölçülebilen karakteristikler için İSK uygulaması için az sayıda ve en önemli karakteristiklerin seçilmesi gerekir.



Şekil 5.2 Pareto Diagramı Örneği

Sayılabilen karakteristikler için kullanılan hata sayısı (veya oranı) ve hatalı sayısı (veya oranı) kontrol çizelgelerinde göz önüne alınacak önemli ancak az sayıda hatanın seçiminde de Pareto prensibi ve diyagramı kullanılabilir. Yukarıdaki şekil 5.2’de toplam hatalar içerisinde ağırlık sapması hatasının diğer hatalara oranla daha çok çıktığı ve öncelikli olarak iyileştirilmesi gerektiği düşüncesi anlaşılmaktadır.

Pareto prensibine göre bir sorunun genellikle birden çok nedeni vardır. Ancak bu nedenlerin pek azının etkisi çok fazladır. Pareto prensibine göre nedenlerin %20 sinin etkisi %80 ağırlıktadır. Juran bu nedenleri “pek az sayıda önemli” ve “incelenmesi yaralı pek çok” olarak ikiye ayırmaktadır. Bu duruma göre nedenlerin önem sırasına göre istatistiklerinin yapılması gerekmektedir. Bazen bu nedenlerin önem sırasına göre dizilmesi için bazı deneyimlere ihtiyaç vardır. Pareto diyagramında tüm nedenler yatay ekseninde meydana gelme sıklıklarına veya sebep oldukları kalite maliyetlerinin parasal değerlerine sıklıklarına göre sıraya dizilmekte, dikey ekseninde ise söz konusu sıklıkların veya kalite maliyetlerinin yüzde değerleri gösterilmektedir.

### 5.1.3.Neden-Sonuç Diyagramı (Cause-And-Effect Diagram)

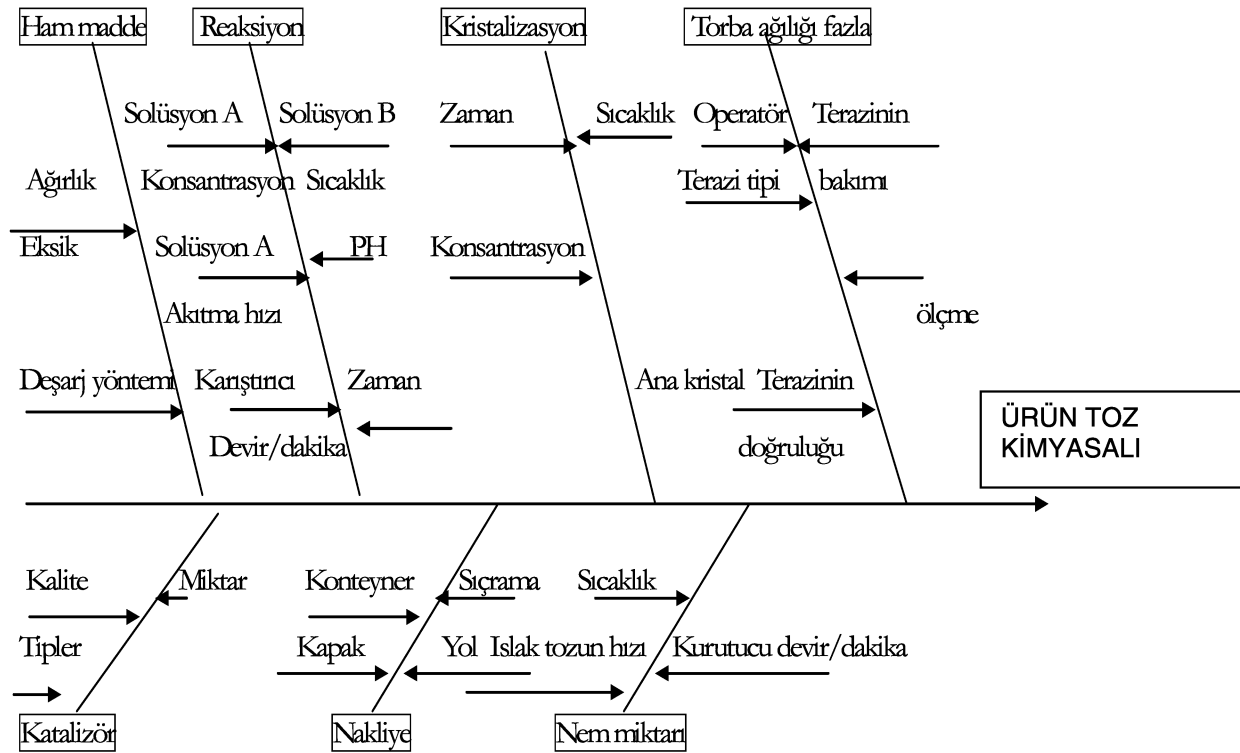
İyi bir kontrol sağlanması için sürecin ve elemanlarını tanımlanması ve tarif edilmesi gerekir. Süreç elemanları daha evvel açıklandığı gibi personel, teçhizat, malzeme yöntemler ve çevre olabilir. Sürecin farklı yönlerini iyi bilen ve anlayan tüm bireylerin deneyimleri bir araya getirilmeli ve anlaşılabilir bir şekilde açıklanmalıdır.

Bu amaçla şekil 5.3 de bir örneği görülen neden sonuç diyagramı kullanılır. Bu gösterim tarzını ilk kullanan Japon ilim adamı İshikawa adı ile veya şeklinden dolayı balık kılıcı diyagramı olarak isimlendirilen şekil sürecin grafiksel bir tanımını vererek olası bozulmaların ve değişkenliklerin kaynaklarını belli edecek bilgiler içermektedir. Bu bakımdan uygulaması sırasında şu amaçlarla kullanılabilir:

- 1) Süreçlerin tanımlanması ve tarif edilmesinde
- 2) Uygulanacak süreç ve ürün karakteristiklerinin tespit edilmesinde
- 3) Uygulamasında ortaya çıkarılan sorunların analiz edilmesinde
- 4) Bu çalışmaların dökümanite edilip dosyalanmasında

Söz konusu diyagramın daha sonra birçok alternatifi geliştirilmiştir. Sürecin tanımlanmasında sürecin çeşitli aşamalarını belirten akış diyagramları tespit ve analiz için çok uygun vasıtalar

Şekil 5.3 de bir kimyasal üretim sürecinin neden-sonuç diyagramı görülmektedir. Bir kalite sorunun analiz edilmesi için hazırlanan bu diyagram tipik bir örnek olarak sorunun temel nedenlerini ve alt nedenleri şematik olarak belirtmektedir.



Şekil 5.3 Neden Sonuç Diagram Örneği

#### 5.1.4. Ağaç Diagramı (Tree Diagrams)

Ağaç diagramı, bir amaca varmak veya bir problem çözmek için sistemli bir düşünme tarzıdır. Kullanıldıkları yere göre "strateji geliştirme" veya "bileşen geliştirme" olmak üzere ikiye ayrılır.

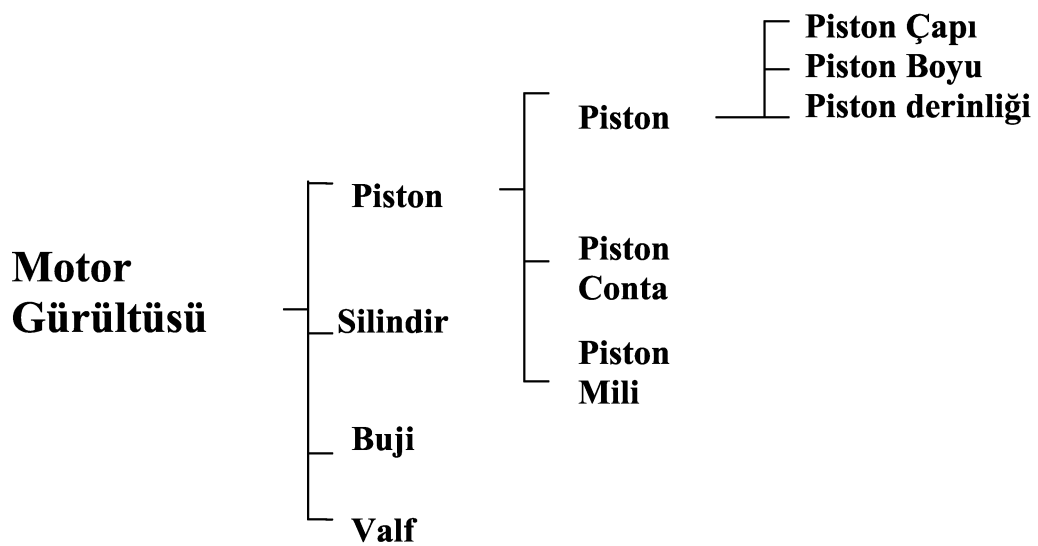
İzlenecek Adımlar

1. Çözümü istenen problem veya hedef belirlenir ve kutu içine yazılarak sayfanın sol tarafına yerleştirilir.

2. Bu hedefi gerçekleştirmek için neler yapılmalıdır diye sorulur, ilişki diyagramı kullanılarak konuya en yakın fikirler belirlenir ve bunlar hedefi tanımlayan kutunun sağ tarafına yerleştirilir.

3. Bu amaca ulaşmak için hangi metodu veya faaliyeti tanımlamak zorundayız?" sorusuna verilen cevaplar en sağa yerleştirilir ve bağlantılı çizgilerle aracın amacını oluşturacaktır.

4. Amaç ve araçlar belirlendikten sonra, sağ taraftan başlayarak her bir aracın uygulandığı takdirde amacı başarıp başaramıyacağı kontrol edilir. Düzeltme gerekirse yapılır. Şekil 5.4 de örnek olarak verilen ağaç diyagramının problem çözümünde, izlenecek yolun sistematik ve mantıksal olarak ayrıntılı biçimde tanımlanarak geliştirilmesinde, grup üyelerinin fikir birliğine varmasına imkan sağlar.



Şekil 5.4 Ağaç Diagram Örneği

### **5.1.5.İlişkilendirme Diyagramı (Affinity Diagram)**

İlişkilendirme diyagramı, belirli bir konu hakkında çok sayıdaki fikir, düşünce ve ilişkiyi doğal ilişkiler bazında gruplandırmaya yarayan bir tekniktir. Basit veya çözümü kolay olan problemlerin çözümünden ziyade Neden Sonuç diyagramıyla başarılamayacak karmaşık problemlerin çözümünde kullanılır. İlişkilendirme diyagramı merkezleştirilmiş, yön gösterici, ilişkisel ve uygulanan olarak dört çeşittir.

İzlenecek Adımlar

1. Konu belirlenir.
2. Konuyla ilgili gerçekler, tahminler, fikirler, sonuçlar gibi veriler toplanır ve sınıflandırılır. Gözlemler, araştırmalar ve bireysel düşünceler diğer kaynaklardır.
3. Her bir sözlü veri tek bir karta yazılır. Sonra bu kartlar toplanır, karıştırılır ve geniş bir masaya yayılır. Gruptan bir kişi birbirine benzeyen kartları ayırır
4. Benzer kartlar 10 gruptan fazla olmamak şartıyla gruplar oluşturulur. Gruplandırılmayan kartlar kendi gruplarını oluşturur. Her gruptan o grubun anlamını içeren bir kart bulunur ve bu kart üst üste konulur. Buna ilgi kartı denir
5. Kartlar yeniden düzenlenir ve yeni ilgi kartları belirlenir. Bu işlem, bilgiler 3-4 gruba ininceye kadar devam eder. Sonra büyük bir kağıda gruplar ve ilgi kartları belirtilerek yazılır.

İlişkilendirme diyagramı, takım üyelerini düşünme biçimlerini geliştirerek kendi aralarında uzlaştırmaktadır. Önceliklerin doğru olarak belirlenmesini sağlayarak, problemlerin nedenleriyle olan ilişkilerini netleştirir ve anlaşılmasına yardımcı olur. Karmaşık neden-sonuç ilişkisiyle bağımlı olan sorunların mantıksal olarak sıralanmasına imkan sağlayarak, genel durumla ilgili geniş bir bakış açısı elde etmeye yönelik planlama çalışmalarında faydalıdır.

### **5.2.Benchmark (Karşılaştırma)**

Benchmarking kavramı ülkemizde pek bilinen bir kavram olamamakla birlikte A.B.D. deki tarihi 1900'li yılların başına dek gelmiştir. 1912 de Chicago mezbahasında yaptığı gezi sırasında etleri kesen kasapları izleyen Henry Ford bu gezi sırasında çağdaş anlamda kıyaslama düşüncesini ve uygulamaya dönük ilk

oluşumlarını da zihninde yaratır. Tavandaki ray üzerinde ilerleyen çengelleri asılı karkas üzerinde çalışan her kasap kendisiyle ilgili işi tamamladıktan sonra karkası diğer kişiye iletir. Mezbaha turu sonunda kılavuz, H.Ford' a düşüncelerini sorar. Ford etkilendiğini söyler.

Altı aydan kısa bir süre sonra dünyanın ilk montaj hattı Ford'un Highland Park Fabrikasında çalışmaya başlar. H. Ford mezbahada gördüklerini montaj hattına aktarmıştır. Örneğin vidayı bir işçi takar, diğeri sıkar bir diğeri ise kontrol eder bu düşünce otomotiv endüstrisinde devrime yol açmıştır.

Benchmarking kavramı için çeşitli tanımlar söz konusudur; "Benchmarking en iyi uygulamayı ve en olumlu, en etkin performansı ortaya koymuş olan firmaların araştırılması ve onların en başarılı uygulamalarının saptanarak daha iyisinin yapılmaya çalışılmasıdır." (Arçelik- Koç, 1995)

Firmanın performansının , sektörde veya sektör dışında yer alan rakip veya rakip olmayan firmalarla, kritik müşteri taleplerinin karşılanabilmesi açısından hangi faaliyetlerin geliştirilmesi gereğinin saptanarak söz konusu geliştirme işlevlerinin yerine getirilmesidir.

Sürekli iyileşme ve değişim artık kaçınılmazdır. Sertleşen rekabet işletmelerin sistemlerini sistematik olarak gözden geçirip geliştirmelerini gerekli kılmıştır. Tüm bu gelişmeler özellikle Amerika ve Avrupa'da birbiri ardına yeni yönetim tekniklerinin geliştirilmesine ve bunun yanında Japonya'nın başı çektiği "Kalite Devrimi"nin Batı'yı etkisine almasına yol açmıştır. Benchmarking'de bu gelişmeler sonucu ortaya çıkmış bir yönetsel araçtır.

Japonya'da Benchmarking'e eşdeğer olan kavram "Dantatsu" adını almakta ve "En iyinin en iyisi olmak" anlamını. Japonların "Dantatsu" uygulamalarıyla da özdeşleşerek "en iyi" olabilmeyi hedefleyen bu yönetsel araç ABD'de "Benchmarking" adını alarak ilk kez Xerox tarafından uygulanmıştır.

Niçin Benchmarking?: Bu sorunun yanıtı, ürün veya süreçlerini tüketici ihtiyaçlarını istikrarlı bir şekilde daha üst düzeyde tatmin etmek ve faaliyetlerinde diğer rakip işletmelerden olumlu farklılıklar ortaya koyabilmek şeklinde verilebilir. Bu sorunun cevabı şirketten şirkete farklılık gösterebilir fakat şirketin kısa ve uzun vadeli hedefleriyle, stratejik planlamasıyla paralellik arz etmelidir.

Niye Benchmarking Yapmak?: Neyin benchmark yapılacağı benchmarking sürecinin en önemli aşamasıdır. Benchmarking konusu seçilirken üç tür analizden yararlanılabilir;

- İşletme içi ve işletme dışı analizleri kapsayan durum analizi
- Tüketiciler gözünde ürünlerin en önemli boyutlarını / özelliklerini irdeleyen ürün nitelik analizi
- Ürün özelliklerinin kıyaslama faaliyeti açısından incelenmesini izleyen öncelikli sürecin seçilmesi analizi

Belirtilen analizler yapılırken benchmarking ekipleri kesinlikle üst yönetimin isteklerini, iş önceliklerini tespit etmelidir. Benchmarking ekiplerinin en önemli müşterileri firmanın üst yönetimleridir. Üst yönetimin öncelikleri göz ardı edilerek uygulanmaya çalışılan benchmarking çalışmalarının sonucu ekip için hüsrarla sonuçlanıp sonuçların uygulanma ihtimali zayıftır.

Kimi Örnek Almak?: İşletme hangi konuda kıyas yapacağına karar verdikten sonra “kıyas alacağı ortağını” belirlemelidir. Benchmarking faaliyeti için işbirliği yapacak ve bilgi alışverişinde bulunacak “kıyas edilecek ortak” aynı sektörde rakip bir firma olabileceği gibi farklı sektörlerde faaliyet gösteren başka bir işletme de olabilir. Kıyas ortağının seçiminde en önemli faktör, söz konusu firmanın seçilen kıyaslama konusunda faaliyet alanında başarılı ve üstünlük sahibi olmasıdır. Benchmarking çalışmasını gerçekleştirecek ekipler kıyas ortaklarını belirlerken son derece titiz ve detaylı bir araştırma yapmalı; kıyas ortağının seçimini yapabilmek için gerekli bilgileri, endüstriyel süreli yayınlar, en iyi firma araştırmaları, faaliyet raporları, araştırma enstitüleri, danışmanlar, müşteriler, kütüphaneler, seminerler ve üniversite kaynaklarından sağlayabilirler.

Kıyas ortağının yanlış seçilmesi; düşük performansa karşı kıyaslama riskini beraberinde getirir. Bu hata kıyaslama ekibinin seçilen konuda düşük hedefler belirlemesine yol açacak, kıyaslama ekibi için firma yönetimi bazında kötü referans teşkil edecektir.

Nasıl Benchmarking?: Benchmarking Faaliyeti Beş Temel Adımdan Oluşmaktadır:

1. Hangi konuda benchmarking yapılacağını kararlaştırmak
2. Benchmarking ekibini oluşturmak

3. Benchmark ortağını belirlemek
4. Benchmarking bilgilerini toplamak ve değerlendirmek
5. Uygulamak

Bu beş adıma proje süresi esnasında yeni rakiplerin ortaya çıkması, konuyla teknolojik yeniliklerin çıkması ihtimalini göz önünde tutarak “gözden geçirme ve ayarlama” faaliyetini altıncı adım olarak ekleyebiliriz

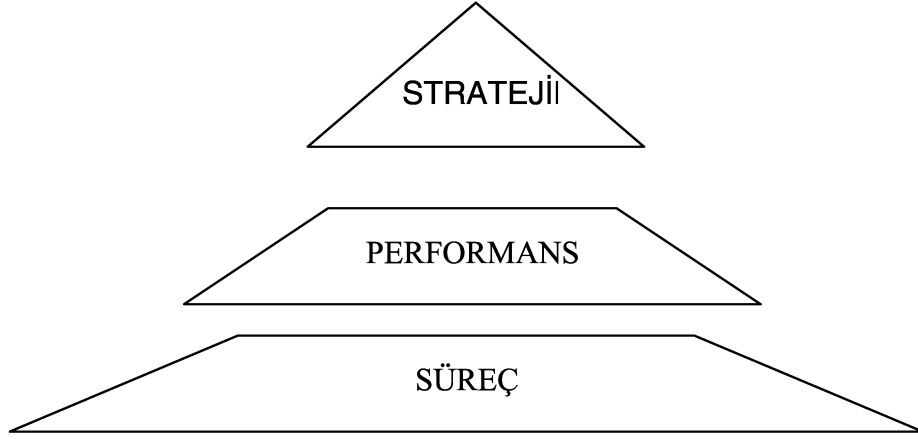
Benchmarking’in temelinde yatan noktalar şunlardır:

Sürekli gelişim esastır.

- Atılımcı olumlu bir yaklaşımdır.
- Uygulamalara yöneliktir.
- Yalnızca en iyi uygulamalara dönüktür.
- Taraflar arasında ortak ve karşılıklı bir yararlanmaya dayanır.
- Belirlilik: Benchmarking’in kapsamı tümüyle belirlenmelidir.
- Ölçülebilirlik: Benchmarking’in temel ilkelerini akla uygun şekilde ölçmek mümkündür.
- Uygunluk : Benchmarking yönetimin yatırım stiline uygun olmalıdır.
- İlerlemeyi hedeflemek.
- Yönetici yaptığı yatırım bilgisini (Pozitif, negatif ya da tarafsız) Benchmarking ile öğrenir.

### **5.2.1 Benchmark Çeşitleri**

Benchmarking’in 1990’ lı yıllara giderek artan şekilde önem ve etkinlik kazanmasıyla çalışanlar ve alt düzey (operasyonel) yöneticiler karşılaştırmayı çok çeşitli işletme uygulamalarında kullanmaya başlamıştır. Bu farklı uygulamalar arasında üç belirgin Benchmarking çeşidi ortaya çıkmıştır. Bunlar, süreç karşılaştırması, performans karşılaştırması ve stratejik karşılaştırmadır. Bu karşılaştırma çeşitleri arasında bir hiyerarşi söz konusudur.



Şekil 5.5 Üç Temel Karşılaştırma Çeşidi

**Süreç Karşılaştırması:** Süreç karşılaştırması, müşteri şikayet değerlendirme süreci, faturalama süreci, sipariş ve tedarik süreci, iyileştirme süreci ya da planlama süreci gibi operasyonel sistemler konusunda yoğunlaşmaktadır. Bu karşılaştırma türü, benzer iş fonksiyonlarını gerçekleştiren farklı sistemlerden en etkin operasyonel uygulamaları ortaya çıkarmaya ve tanımlamaya çalışır. Süreç karşılaştırmasının gücü, en temel düzeyde sonuçlar yaratma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Temel kavram olarak bir organizasyon çekirdek süreçlerini geliştirirse, daha sonra performans karşılaştırma çalışmalarını daha etkin ve hızlı bir şekilde gerçekleştirecektir. Bu performans karşılaştırması sonucunda sağlanan gelişmelere artan verimlilikle, düşen maliyetlerle , artan satışlarla hesaplanabilir. Fakat bunların net etkisi kısa dönemdeki finansal sonuçların iyiye gitmesiyle ortaya çıkacaktır. Amerika’da karşılaştırmayı en iyi uygulayabilen şirketler içerisinde süreç karşılaştırmasını kullananlar çoğunluktadır.

**Performans Karşılaştırması:** Performans karşılaştırması , yöneticilerin, ürün ve hizmet karşılaştırmalarıyla rekabet içindeki kendi durumlarını, güçlerini hesaplamalarını sağlamaktadır. Performans karşılaştırması; genellikle fiyat, teknik, yardımcı ürün veya servis özellikleri, hız, güvenilirlik ve diğer performans karakteristikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Performans karşılaştırması çalışmaları sırasında, direkt ürün veya hizmet karşılaştırmaları ve operasyonel istatistiklerin analizi yapılmaktadır. Otomotiv, bilgisayar, finansal hizmetler performans karşılaştırmasını standart rekabet aracı olarak kullanmaktadır.

Stratejik Karşılaştırma: Genel anlamda stratejik karşılaştırma, firmaların rekabet etme araçlarını inceler. Stratejik karşılaştırma, farklı endüstrilerde, kendi pazarlarında başarılı olan yüksek performanslı şirketlerin başarılı olma stratejilerini tanımlamaktadır. Birçok Japon firmaları bu karşılaştırma türünü uygulamaktadır. Japon şirketleri; belirli faaliyetlerle ya da süreçlerle ilgilenen Amerikan şirketlerinin aksine temel tecrübeler ve başarı stratejileri ile ilgilenmektedir. Gerçekte de uzun dönemli planlama ile ilgilenen Japon firmalarının daha çok stratejik karşılaştırma ile ilgilenmesi şaşırtıcı değildir.

Stratejik karşılaştırma firmaların uzun dönem rekabet tarzını etkilemektedir. Dolayısıyla sonuçları uzun dönemde yavaş yavaş fakat artan bir şekilde kısa dönemli sonuçları almak isteyen organizasyonlar ise genellikle süreç karşılaştırmasını seçmektedirler.

Benchmark Sınıfları;

Kuruluş içi benchmark;

Günümüzde kuruluşlar iş uygulamalarını birden fazla departmanda, işletmede veya ülkede yürütmektedir. Bu tür kuruluşlar benchmarking faaliyetlerine farklı yerlerde yürütülen kendi iş uygulamalarını karşılaştırarak başlarlar. Diğer bir değişle benchmarking de öğrenme süreci evde başlar.

Gayet doğaldır ki, diğer şirketlerle karşılaştırmak için kendini temel seçen bir şirket önce kendisini çok iyi bilmelidir. Şirketle ilgili iç veri ve bilgiler olmadıkça, dışa dönük bilgiler rassal olacak ve mukayese imkanını zorlaştıracaktır.

Kuruluş içi benchmarking' de bir kuruluşun belirli bir kısmında var olan iş süreçlerinin daha etkin olduğu varsayımı vardır. Kuruluş içi benchmarking faaliyetlerinin amacı bir kuruluşun dahili performans standartlarını belirlemektir. Kuruluşun kendi birimleri içerisinde benzer operasyonların inceleyip ölçmesi ve bu bulguların paylaşılması bütün organizasyondaki performansı etkin bir şekilde yükseltebilir. Aynı zamanda bu bulgular dış benchmark çalışması için ilk basamağı teşkil edebilir.

Xerox şirketinin ABD üretim uygulamaları ile Japonya uygulamalarının karşılaştırması ve bölümlerin pazarlama stratejilerini karşılaştırması kuruluş içi benchmarkinge örnek gösterilebilir.

Ayrıca Motorola şirketi de Japon bir şirketle yapacağı benchmark çalışması öncesi Amerika'daki iki ve Japonya'daki bir işletmesinde dahili benchmarking çalışması yapmıştır.

Bu çalışma farklı yerlerde üretim yapan zaten belirli noktalarda mükemmelliğini kanıtlamış kuruluşlarda yararlı sonuçlar verebilir. Ancak sınırlı odaklanma ve dahili konularda hüküm verme açısından dezavantaja sahiptir.

### **5.2.2.Rekabete Yönelik Benchmark**

Rekabete dayalı benchmarking'de kuruluşun doğrudan rakibi olan kuruluşa ait ürünler, hizmetler ve iş süreçleri mevzu bahistir. Amaç rakiplerin ürünleri, süreçleri ve iş alanında ulaştığı sonuçlar hakkında belirli bilgilerin elde edilmesi ve sonra bunların kendi kuruluşundakilere karşılaştırılmasıdır.

Rekabete dayalı benchmarking kuruluşun ürünlerinin, hizmetlerinin ve süreçlerinin pazardaki yerinin belirlenmesinde yararlıdır. Rakiplerin uygulamaları sınıfındaki en iyi uygulamaları temsil etmemekle birlikte bu uygulamalar müşteri, potansiyel müşteri, şirket ortaklarını ve tedarikçileri etkilediğinden dolayı önemlidir.

Benchmarking çalışmasına başlayan şirketler, çabalarının büyük bir bölümünü öncelikle rakiplerinin ne yaptıklarını ve bunu nasıl yaptıklarının araştırılmasına yoğunlaştırırlar. Ancak bu noktada üç önemli unsur vardır. Benchmarking yapacak şirket rakibini yakalayıp öne geçmek isterken, diğer şirket de gelişim içerisinde. İkinci olarak teknoloji çok hızlı ilerlemektedir ve son olarak rakiplerden gerçek ve doğru bilgiler elde edilebilecek midir? Bu noktada veri toplama zorlukları, ahlaki sorunlar ve muhalif davranışlarla karşılaşılır.

Rakip şirketlere karşı dürüst ve açık bir tavırla yaklaşıp onlarla iş birliğine gidilmesi ABD de yaygın bir uygulamadır. Örneğin Sematech konsorsiyumu, Texas Instruments, Motorola, IBM, Intel, DEC ve Hewlett-Packard gibi 14 yarı iletken üreten şirket tarafından kurulmuş ve şirketler kendi içerisindeki Toplam Kalite uygulamaları konusunda bilgi alışverişi yapmakta ve ortak çıkarlar doğrultusunda benchmarking çalışmalarını yürütmektedir.

### **Fonksiyonel Benchmark**

Fonksiyonel benchmarking kuruluşun doğrudan rakibi olan veya olmayan kuruluşların ürünlerinin, hizmetlerinin ve süreçlerinin incelenmesini ele alır. Amaç

benchmarking uygulamasına gidilecek belirli bir konuda mükemmel olduğu herkesçe kabul edilen herhangi bir kuruluşdaki en iyi uygulamaları öğrenmektir.

Burada fonksiyonel kelimesi bu tip benchmarking çalışmasının üretim, pazarlama, mühendislik veya insan kaynakları gibi fonksiyonel alanlardaki belirli iş faaliyetleriyle ilgilenmesidir.

Fonksiyonel benchmarking de anahtar, her tip endüstriye dahil her türlü kuruluşa odaklanabilmesidir. Xerox ve L.L. Bean gibi farklı alanlarda faaliyet gösteren iki ayrı kuruluşun ambar ve malzeme akışı uygulamalarının karşılaştırılması için Xerox yetkililerinin söz konusu uygulamalarda endüstri lideri olan L.L.Bean' i ziyaret ederek öğrenme prosesini başlatması buna örnektir. Procter & Gamble' dan bir yetkili sağlık ve kozmetik konularında üretim yapan kuruluşların pazarlama alanında çoğu yeni fikir ve hamleleri bilgisayar ve ofis donanımı üreten kuruluşların pazarlama yapılarını inceleyerek elde etmeleri de ilginçtir.

Bu tür çalışma yenilikçi uygulamaların keşfine büyük olanak sağlayabilir ve harekete geçirici sonuçlar elde edilebilir ancak uygulamaların farklı ortama transferindeki zorluk ve transfer edilemeyecek bilgilerin mevcudiyeti ve çalışmanın uzun zaman alıcı olması da göz ardı edilmemelidir.

Standartların ve metotların durmaksızın, üst üste yığıldığı günümüzün işletme yönetimi ortamında kıyaslama (benchmarking) çalışması, yapılması hala düşünülecek değil, artık zorunlu olan bir çalışmadır.

Benchmarking çalışmaları şirketler üstü yaptırım gücü olan bir organizasyonla ve sektörel-yerel dinamikler göz önüne alınarak organize edilmelidir.

Firmalar ileriye güvenle bakabilmek için, kalite ve iyileştirmeye yönelik faaliyetlerini sürekli ve dinamik bir biçimde sürdürmek zorundadırlar. Rasyonel bir görüşe sahip herkes; ayakta kalabilmenin, pazar talep ve isteklerine duyarlı olma yeteneğiyle orantılı olduğunu bilir. Benchmarking'de, rekabet gücünü arttırarak kuruluşların, pazara sunulan ürünlerin üretilmesinde daha iyi performans göstermelerini sağlayan yardımcı bir prosestir. Bu proses, kesinlikle bir sanayi casusluğu veya kopyacılık değil; verileri çeşitli disiplinler çerçevesinde yorumlayarak değerlendirme yaklaşımıdır.

Kıyaslama, başkaları bir şeyleri daha iyi yapıyorsa, tekerleği her seferinde yeniden bulmaya çalışmak yerine onlardan öğrenelim; karşılığında onlardan daha iyi

yaptığımız şeyleri onlara öğretelim ve böylece boşa zaman ve kaynak harcamak yerine, asıl geliştirme işine ve yaratıcılığına zaman ayıralım anlayışıdır. Yani kıyaslama , tüm katılımcıların kazançlı çıktığı bir ortamda deneyim ve bilgilerin paylaşımı ve transferi sayesinde daha iyiyi daha çabuk yapabilmektir.

Dünyada özellikle Amerika’da Kıyaslama son derece etkin kullanılan bir yönetim tekniğidir. Amerikan Kalite ve Verimlilik Merkezi’nin 1995 yılında orta ve küçük ölçekli firmalar arasında yaptığı araştırmada firmaların %98’i daha çok Kıyaslama yapma gereğini vurguluyor.

Türkiye’deki orta ve küçük ölçekli firmaların çoğu uluslar arası pazarda rakiplerini tanımıyor. Ülkemizdeki firmaların en büyük eksikliklerinden biri de Stratejik Planlama yapılmayıdır. Stratejik Planlama araçlarından biri olan Sektörel Kıyaslama Türk firmaları için bir zorunluluk olmaya başlamıştır.

### **5.3. Ölçme Aşamasında Kullanılan Yöntemler**

#### **5.3.1. Süreç ve Makine Yeterliliği**

Bazı uygulayıcılar bu iki terim arasında ayrım yaparlar. Makine yeterliliği bir dizi süreç şartı altındaki tekrar edilebilirliği belirtir. Örneğin aynı operatörü, aynı homojen ham maddeyi, belirli bir imalat tekniğini kullanan süreç içindeki tekrar edilebilirliği belirtir. Süreç yeterliliği ise normal şartlar altında işçilerin, malzemenin ve süreç parametrelerinin değiştiği uzun bir zaman periyodu içindeki tekrar edilebilirliği belirtir.

Pratikte bir aylık çalışma sonunda süreçten alınan verilerle hesaplanan yeterlilik süreç yeterliliği, sekiz saatlik bir çalışma alınan verilerle hesaplanan yeterlilik makine yeterliliği olarak kabul edilmektedir.

#### **5.3.2. Yeterlik Endeksi**

Süreçlerin  $\pm 3 \sigma$  limitleri ile toleransların bağlantısı süreç yeterlik endeksi ile ifade edilir ve söz konusu endeks  $C_p$  ile gösterilir Eğer söz  $\pm 3 \sigma$  limitleri bir aylık bir çalışma yerine 8 saat veya daha kısa sürede alınan verilerden hesaplanmış ise endeks  $C_m$  ile gösterilir ve makine yeterlilik endeksi olarak isimlendirilir.

$$C_p \text{ veya } C_m = \frac{\text{Tolerans}}{6 * \sigma} \quad (5.1)$$

Binde iki (her iki tarafta binde bir) hatalı oranı için süreç yeterlilik endeksi en az  $C_p = 1$  olmalıdır. Bu durumu sağlamak için kısa süreli verilerle hesaplanan makine yeterlilik endeksinin  $C_m = 1,33$  olması kabul edilmiştir. (Çünkü bir günlük veya 8 saatlik çalışma esnasında makine, operatör, yöntem, malzeme vs. değişmez. Bütün bunların belli ölçülerde değişebileceği uzun vadeli (örneğin bir ay) bir çalışma için  $C_p = 1$  olması için, kısa vadede 1,33 olmalıdır.) Ancak yeterlilik endeksi için verilen bu formül hatalı değilse bile eksiktir. Çünkü süreç ana ortalama değerinin teknik resim nominal değeri ile tam çakıştığı farz edilmiştir. Oysa bu ideal duruma her zaman ulaşmak mümkün olmayabilir. Genel olarak süreç ortalaması ile nominal değer arasında artı veya eksi küçük bir fark bulunur. Bu farkı da göz önüne alan yeterlilik endeksi  $C_{pk}$  veya  $C_{mk}$  ile gösterilir ve aşağıda iki formül ile bulunan endekslerin en küçüğü olarak kabul edilir.

$$C_{pk} \text{ veya } C_{mk} = \min \left( \frac{\bar{X} - ASL}{3 * \sigma}; \frac{\bar{USL} - \bar{X}}{3 * \sigma} \right) \quad (5.2)$$

Burada  $ASL$  = Alt spekt limitini,  $\bar{USL}$  = Üst spekt limitini temsil etmektedir.

$\bar{X}$  = Numune aritmetik ortalaması ,  $\sigma$  = Numune standart sapması

Örnek:1.  $\bar{USL} = 20$ ,  $ASL = 8$ ,  $X = 16$  ve  $\sigma = 2$  olarak verilen bir süreçte;

$$C_p = \frac{(20 - 8)}{6 * 2} = 1 \quad (5.3)$$

$$C_{pk} = \min \left( \frac{(20 - 16)}{3 * 2}; \frac{(16 - 12)}{3 * 2} \right) = 0,66 \quad (5.4)$$

hesaplanır .

Bu durum süreç ortalamasının  $\bar{USL}$  ne yakın bir yere merkezlenmesinden kaynaklanmaktadır. Eğer süreç tolerans limitleri ortası olan 14 e merkezlense idi,  $C_{pk} = 1$  olacaktı.

Süreç yeterliliğini toleranslar ile karşılaştırmak, bazı önlemler gerektirir

1. Eğer süreç yeterliliği toleransları karşılamağa uygun değilse ( $C_p < 1$ ):

a. İş daha uygun yeterlikte başka süreçlere kaydırma. Eğer iş programı zaten tespit edilmiş ise, iş tekrarlandığında daha uygun bir tayin için hazırlık yapmak.

b. Yeterliliği geliştirmeye çabalamak. Bu durum özellikle benzer bir üretim sürecinden elde edilen ürün önemli ölçüde farklı ise önerilebilir. Üretim sürecinin baştan aşağı elden geçirilmesi veya takımların elden geçirilmesi, çok milli tezgahlar için milden, mile farklılıklar için nedenlerin kesin olarak tespit edilmesi gerekebilir. Kontrol çizelgelerinin analizleri bu konuda yardımcı olacaktır. Eğer süreç istatistik kontrol durumunda ise yeterliliği geliştirmek için elden geçirme gibi önemli bir değişiklik gerekir. Eğer süreç istatistik kontrol durumunda değilse, kontrol dışı noktalar için özel nedenler belirlenmelidir. Bu nedenlerin ortadan kaldırılması, süreç yeterliliğinin gelişmesi ile sonuçlanır.

c. Toleransları gözden geçirmeye çabalamak. Hangi toleransın daha genişletilerek serbest bırakılabileceği hakkında bilginin varlığı, mühendislerin bu konudaki tutumunu yumuşatabilecektir.

Tablo5.1 Cpk endeksinin değerine göre tolerans dışı ürün yüzdesi veya milyonda hatalı ürün sayısını veren tablo

| <b>Cpk</b> | <b>Hatalı Yüzdesi(%)</b> | <b>Milyonda Hatalı Sayısı</b> |
|------------|--------------------------|-------------------------------|
| 0          | 50                       | 500.000                       |
| 0,1        | 38                       | 380.000                       |
| 0,5        | 7                        | 70.000                        |
| 1,0        | 0,13                     | 1300                          |
| 1,3        | 0,005                    | 50                            |
| 1,5        | 0,0004                   | 4                             |
| 1,6        | 0,0001                   | 1                             |

d. Belli bir hata yüzdesi ile üretime devam etmek ve üretim partileri sonunda yüzde yüz muayene ile hatalı parçaların düzeltilebilir olanlarını düzeltmek, geri kalanlarını hurdaya ayırmak. Böyle bir durumda hatalı yüzdesini her iki Cpk için ayrı, ayrı tahmin etmek mümkündür. Bu amaçla Tablo 5.1 deki tablo kullanılır.

2. Eğer süreç yeterliliği toleransları karşılamak için uygun ise ( $C_p > 1$ ):

a. Eğer yeterlilik toleransın üçte ikisi ile dörtte üçü arasında veya daha az bir değerde ise ( $C_p = 1.33-1.5$ ) kabul edilebilir bir durumdur. Süreç periyodik numuneler alınarak ayar durumu denetlenirse uzun bir süre için hep iyi parçalar üretecektir.

b. Eğer yeterlilik toleransın yarısından daha az bir değerde ise ( $C_p > 2$ ), toleransları darlaştırmanın bazı kazançlar sağlayacağı düşünülmekçe yapılacak bir şey yoktur. Komple bir aksam içindeki bir parçanın toleransını darlaştırmak diğer bir parça üzerindeki toleransın gevşemesine izin verebilir. Toleransların daha yakın olarak garanti edilmesi, satış avantajını sağlayarak rekabet edebilirliğe etki edebilir.

c. İSK uygulanan ürünün son kontrol işlemi numune alınarak rahatça yapılabilir.

### 5.3.3. Ölçme Yeterlilik Kontrolü (Gage R&R)

Veriler; nesneleri, durumları ya da olguları sınıflandırmak, açıklamak, iyileştirmek ya da kontrol etmek için kullanılır. Veriler nesnelerden, durumlardan ya da olgulardan ölçümler biçiminde elde edilir/çıkarılır. Ölçüme işlemi doğru sonuçlar bulma konusunda çok önemli bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda ölçme sisteminin hata kaynakları oldukça karmaşık yapıdadır. Her ölçme işleminde yer alan hataların bilinmesi ve kontrol altına alınması altı sigma sürecinde öncelikle baştan yapılması gerekli bir iştir.

“Konuştuğunuz konuyu ölçebiliyorsanız ve bunu sayısal olarak ifade edebiliyorsanız, konuya ilişkin bazı bilgilere sahip olduğunuzu söyleyebilirim” sözünü söyleyen Lord Kelvin ölçmenin testin temelini oluşturduğunu ve ölçebildiğimiz konuyu yönetebileceğimizi ima etmektedir.

Ölçme sistemi ile ilgili olarak kullanılan terimler şöyledir;

**Ölçüm dağılımı:** Bir ölçüm dağılımı aynı parçanın aynı karakteristiği sürekli olarak tekrar ölçüldüğü zaman elde edilir. Tipik olarak bu dağılımın bir ortalama değer ve standart sapma ile karakterize edilen normal dağılım olduğu farz edilir

**Doğruluk:** Aynı parça üzerindeki aynı karakteristiğin, gerçek değeri ile ölçüm dağılımının ortalaması arasındaki fark olarak tanımlanır Bir ölçüm sisteminin doğruluğu bu sistemin kalibrasyonu ile kontrol edilir. Doğruluk ile ilgili iki önemli terim lineerlik ve stabiledir.

Lineerlik: Ölçü cihazının ölçme aralığı boyunca doğruluğundaki fark olarak tanımlanır.

Stabilite: Doğrulukta zamanla meydana gelen farklılık.

Duyarlık: Yukarıda bahsedilen ölçüm dağılımındaki toplam değişkenlik. Bu değişkenlik ölçme sisteminin doğruluğu hariç, tüm rasgele değişkenlik kaynaklarını içerir. Duyarlık, tipik olarak tekrarlanabilirlik ve tekrar edilebilirlik olarak ikiye ayrılır.

#### **5.3.4. Ölçmede Hata Kaynakları**

Bütün ölçme hata tipleri sistematik hatalar (doğruluk) veya dağılma (duyarlılık) olarak ikiye ayrılabilirdiğinden dolayı bu iki hata tipi arasındaki farkın tamamen anlaşılması çok önemlidir.

Sistematik hatalar ve ölçümlerin farklılığının kaynakları ölçü hatalarının iyi bilinen birkaç bileşeni içindedir. Tanımlanabilecek üç önemli kategori şunlardır:

Operatör içindeki değişkenlik: Aynı operatörün aynı ürün parçasını, aynı ölçü aletini kullanarak defalarca ölçtüğü durumlarda okumaları arasında bir farklılık vardır. Bu değişkenliği belirtmek için tekrarlanabilirlik terimi kullanılır.

Operatörler arasındaki değişkenlik: Birden fazla operatör aynı ürün üzerinde aynı ölçüm sistemini kullandığı zaman, operatör tekniklerinden kaynaklanan bir takım farklılıklar görülür. Bunun tek istisnası operatöre duyarlı olmayan koordinat ölçme makinesidir. Bu farklılıklar tekrarlanabilirlik ve tekrar edebilirlik özelliklerinin her ikisinden birden kaynaklanır.

Ölçme cihazının değişkenliği: Ölçme enstrümanları gerek bir enstrüman içinde ve gerekse enstrümanlar arasında birçok hata kaynaklarına konudurlar: nonlineerlik, histerizis (dişli boşluğu), sıcaklık yükselmesinden dolayı sürüklenmek, aşırı gürültüye hassasiyet (manyetik, termal, elektriksel sahalar). Her teknolojinin kendine göre sorunları vardır.

Bu sorunlar enstrümanları ölçülecek veya test edilecek ürüne birtakım düzeneklerle bağlamak veya tespit etmek gerektiğinde çok daha fazla çoğalırlar. Bu sorunlara elektriksel bağlantıların iyi yapılmamasından veya prop'ların iyi yerleştirilmemesinden kaynaklanan problemler de eklenebilir. Ölçme cihazı değişkenliği, stabiliteyi ve tekrarlanabilirliği etkileyebilir. .

Ölçme sisteminden kaynaklanmayan, ancak ölçme hataları ile karışan diğer bir hata kaynağı parça içindeki değişkenliktir. Ölçme sisteminin hesaplanan toplam hatası içine parçadan parçaya değişkenliğin katılmadığına dikkat etmek gerekir. Örneğin bir ölçü aleti değerlendirilmesi etüdünde konik bir mil kullanılıyorsa , milin her defasında aynı pozisyonda ölçüldüğünü güvenceye almak gerekir. Alternatif olarak etütte parça içindeki değişkenliği önemli olmayan standart bir test parçası (örneğin bir kalibrasyon bloğu) kullanılmalıdır. Ancak gerçek parça yerine bir standart, sadece parça içindeki değişkenlik dışında, gerçek parça kullanılırsa olabilecek bütün değişkenlik kaynaklarını içeriyorsa kullanılmalıdır

**Bileşik Hatalar :** Gözlemlenen ölçümler, ölçülme işlemine katkı yapan bütün değişkenlerden etkilenirler Bu nedenle gözlemlenen değişkenliği (duyarlılık) etkileyen nedenler genel olarak şu şekilde formüle edilir:

$$\sigma^2_{(abc)} = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \text{vs.} \quad (5.5)$$

Burada  $\sigma_{(abc)}$  gözlemlenen ölçümün standart sapması ve  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  vs. duyarlılığı etkileyen değişkenlerin (mesela tekrarlanabilirliği, tekrar edilebilirliği) büyüklüğünü yansıtan standart sapmalardır.

**Ölçüm yeterlilik ifadesi:** Bir ölçü sisteminin yeterliliği üç yolla ifade edilebilir:

- 1) Doğruluğu ve duyarlılığı mutlak terimlerle ifade etmek. Yani tahmin edilen ortalamayı ve standart sapmayı miktarlamak
- 2) Doğruluğu ve duyarlılığı, ölçülen parçanın doğal süreç değişkenliği ile göreceli olarak ifade etmek.
- 3) Doğruluğu ve duyarlılığı ölçülen parçanın toleransı ile göreceli olarak ifade etmek.

Bu bölümde son maddedeki yaklaşım kullanılmıştır. Yani ölçme yeterliliği şu şekilde tanımlanmaktadır:

100 x Ölçme değişkenliğinin %99 miktarı/ Tolerans Bu değer ne kadar küçük ise ölçme sistemi o kadar iyidir. Not: Ölçme değişkenliğinin %99 miktarı standart sapmanın( $\sigma$ ) 5,15 katı olarak alınır

Ölçü aleti tekrarlanabilirlik kısa çalışma : Ölçme sisteminin tekrarlanabilirliğini çabuk değerlendiren bir etüttür. Son etüt yapılmadan önce ölçme sisteminin bir

değişikliğe ihtiyacı olup olmadığını göstermesi açısından bunun öncelikle yapılması önerilir. Etüt aynı parçayı aynı ölçü aletini kullanarak en az 20 defa ölçen bir operatör ile yapılır. Yapılan ölçümlerin ortalaması ( $X_{ort}$ ) ve standart sapması ( $\sigma$ ) hesaplanır.

Ölçü aleti tekrarlanabilirlik ve tekrar edebilirlik etüdü: Ölçme sistemlerinin çoğunun bir değerlendirme sistemidir. Yeni satın alınmış veya tasarlanmış ölçme sistemlerinde ve ölçü sisteminin doğruluğundan ve duyarlılığından şüphe ediliyorsa yapılmalıdır Etüdün adı (Gaga R&R) olarak kısaltılmıştır. Etüt sonunda tespit edilen yeterlilik değeri toleransın %20 sinden az ise ölçü aleti yeterli kabul edilir.

Etüt 3 farklı operatör tarafından her biri iki veya üçer defa ölçülen 10 ayrı parça gerektirir. Operatörler ölçü aletini kullanma konusunda eğitilmiş olmalıdır, çünkü etüt onların tekrarlayabilirliklerine dayanmaktadır Yani her operatör ölçü aletinin kullanılması konusunda aynı uzmanlıkta olmalıdır. Ölçüler alınıp bu iş için hazırlanmış bir forma kaydedildikten sonra her bir operatör tarafından alınmış yirmişer veya otuzar ölçünün ortalamaları alınır. Bu ortalamaların en küçüğü ile en büyüğü arasındaki fark bir katsayı ( $K=2,70$ ) ile çarpılarak tekrar edilebilirlik değeri hesaplanır. Operatörlerin her parçayı iki veya üç defa ölçmeleri esnasında hesaplanan ölçü aralığı ( $R$ ) değerlerinin ortalaması  $R_{ort}$  hesaplanarak bir kat sayı ile çarpılır (iki deneyim için 4,56 üç deneyim için 3.059) tekrarlanabilirlik değeri bulunur. Bu her iki değişkenliğin kareleri toplamının karekökü kullanılan ölçü birimi ile (Gaga R&R) değerini verir.

Ancak bu işlemlerin geçerli olması her operatörün her parça için ölçü ortalamaları ile ölçü aralıklarının İSK da olduğu gibi çizelgelerinin çizilmesi alt ve üst kontrol sınırlarının gösterilmesi ve bu çizelgelerin İSK da anlatılan anormalliklere sahip olmamaları gerekir. Bu bakımdan gerek çizelgenin hazırlanması ve gerekse analiz edilmesi için bu konuda geliştirilmiş özel bilgisayar programlarının kullanılması büyük kolaylık sağlar.

Alınan ölçüler ile gözlemlenen süreç değişkenliği arasındaki ilişki: Bu bölümde gözlemlenen süreç değişkenliği ile alınan ölçüler arasındaki ilişki tarif edilmektedir. Bu bilgi yetersiz bir ölçü aletinin geliştirilmesinin olası faydasını belirlemek için kullanılabilir. Ancak aşağıda verilen gerçek süreç yeterliliği tahmin metodu, resmi yeterlilik endeksini belirtmek amacı ile kullanılamayacağı halde (bu değer içinde çok

fazla belirsizlik bulunduğundan dolayı) süreç ve ölçü aleti sorunlarının önceliğinin tespitinde göz önüne alınır.

Bir dizi parça ölçüldüğü zaman gözlemlenen ölçümler hem ölçü değişkenliğinden hem de ürün değişkenliğinden oluşan bir dağılım gösterirler. Bunlar arasındaki ilişki matematik olarak şöyle ifade edilir.

$$(\text{Gözlemlenen süreç değişkenliği})^2 = (\text{Gerçek süreç değişkenliği})^2 + (\text{ölçü değişkenliği})^2$$

Gözlemlenen süreç değişkenliği yani  $\sigma_{(\text{gözlem})}$  İSK dan alınan ölçülere göre tahmin edilebilir

Ölçü değişkenliği yani  $\sigma_{\text{ölçü}}$  yü ölçü aleti etüdünden tahmin edilir (Gaga R&R etüdü yaparak ve toplam ölçü aleti değişkenliğini 5,15' e bölerek)

Bu iki tahmin kullanılarak gerçek süreç değişkenliği aşağıdaki formül ile tahmin edilir.

$$\sigma_{\text{süreç}} = \sqrt{\sigma_{\text{gözlem}}^2 - \sigma_{\text{ölçüm}}^2} \quad (5.6)$$

Ölçüm yeterliliği sonuçta iki indeks ile ifade edilir.

1. Tolerans indeksi ;

$$P/T = \frac{5,15 * \sigma_{\text{ös}}}{\text{Tolerans}} \quad (5.7)$$

Sonuç yüzde olarak ifade edilir.

%20 'den düşük olması yeterlidir.

%20 ile %30 arası şartlı kabul sayılır.

%20'den yüksek olması yetersiz olması anlamına gelir. Ölçüm yeterlilik testi yenilenmelidir.

2. Gage RR indeksi

$$\%R \& R = \frac{\sigma_{\text{ös}}}{\sigma_{\text{toplaml}}} \quad (5.8)$$

Yüzde olarak ifade edilir.

%20 'den düşük olması yeterlidir.

%20 ile %30 arası şartlı kabul sayılır.

%20'den yüksek olması yetersiz olması anlamına gelir. Ölçüm yeterlilik testi yenilenmelidir.

Tolerans = ölçülen parçanın teknik resimde belirtilen tolerans aralık ölçüsüdür.

#### **5.4.Analiz Aşamasında Kullanılan Yöntemler**

##### **5.4.1. Hipotez Testi**

Hipotez testi, pratik bir problemi alıp istatistiksel probleme dönüştürme sürecidir. Üretim parametrelerini belirlemek için görece az sayıda örnek kullandığımızdan gerçek durumu temsil etmeyen 'garip' örnekler seçme şansımız her zaman vardır.

Bu yüzden, betimsel istatistik, bazı varsayımlarla 'garip' örnekler seçme olasılığını kestirmemize olanak sağlar.

Örneğin, bir paranın hilesiz olduğunu bilmek istiyorsak, parayı kezlerce atıp kaç kez tura geldiğini gözleyebiliriz. Denemelerin yaklaşık %50'sinde tura gelmesini bekleriz.

Parayı 10 kez fırlatıp 10 kez tura görürsek paranın hilesiz olmadığına neredeyse emin oluruz. Hilesiz bir paradan yaklaşık binde bir olasılıkla 10 kez üst üste tura gelme şansı vardır. Böylece, paramıza 'hileli' derken %0.1 hata yapma şansımız olduğunu söyleyebiliriz.

Altı sigma ile günlük hayatımızda karşılaştığımız problemlere çözüm ararken hipotez kurmak analiz aşamasında yapmamız gereken ilk iştir.

Karşılaştırma yaparken fark olmadığını iddaa ettiğimiz hipoteze  $H_0$  hipotezi diye tanımlanır. Fark var dediğimiz hipotezi yani alternatif hipotezi  $H_a$  hipotezi olarak tanımlayacağız. Herkes suçu kanıtlanana kadar suçsuz hipotezi  $H_0$  olarak kabul edilebilir. Savcı olarak bir kişinin suçlu olduğunu yani herkesten farklı olduğunu kanıtlamanız rağmen,  $H_a$  kabul ettirmeniz gereklidir.

Hipotezleri kurup karar verme aşamasına geldiğimizde almamız gereken her zaman bir risk vardır. Belirgenlik düzeyi olarak da tarif edilen alfa seviyesi %10, %5 veya %1 mertebelerinden biri genellikle seçilir. Uğraştığımız problem ne kadar kritik

ve hata yapma şansımız düşükse alacağımız riskin düşük olmasını isteriz. Sanayide çoğunlukla %5 risk seviyesi kullanılır.

Hipotez testinin adımları aşağıda listelenmiştir.

1. Problemi Tanımla
2. Amaçları Belirt
3. Hipotezleri Kur
  - Farksız Hipotezi Kur ( $H_0$ )
  - Alternatif Hipotezi Kur ( $H_a$ ).
4. Uygun İstatistiksel Teste Karar Ver  
(varsayılan olasılık dağılımı, z, t, ya da F).
5. Alfa düzeyini belirle (genellikle %5)
6. Beta düzeyini belirle (genellikle %10-20)
7. Etkinin boyutunu (belirgin fark) belirle (Delta)
8. Örnek Sayısını Belirle
9. Örneklem Planını Geliştir
10. Örnekleri Seç
11. Verileri Topla
12. Verilerden test istatistiğini hesapla (z, t ya da F)
13. Hesaplanan test istatistiğinin şans eseri olma olasılığını hesapla.
14. Bu olasılık alfadan küçükse  $H_0$ 'ı reddet ve  $H_a$ 'yı kabul et. Bu olasılık alfadan büyükse  $H_0$ 'ı reddetme.
15. Sonuçları yorumla ve istatistiksel yorumu pratik çözüme dönüştür.

#### **5.4.1.1. Hipotez testlerinde kullanılan parametreler;**

1. Farksız Hipotez ( $H_0$ ) - farkın olmadığı belirtilmesidir. Bu hipotezi reddetmeye yetecek kadar veri bulunana kadar bu hipotez doğru varsayılır.
2. Alternatif Hipotez ( $H_a$ ) - farkın olduğunun belirtilmesidir.  $H_0$  reddedildiğinde bu hipotezin doğru olduğu varsayılır.

3. I. Tip Hata ( $\alpha$ -Hatası) - Gerçekte  $H_0$  doğru olup reddedildiğinde ortaya çıkan hatadır. (sürecin iyileştiğini varsaymamıza karşın süreç gerçekte değişmediğinde ortaya çıkan hatadır).
4. Alfa Riski - I. Tip Hatayı yaptığımızda üstlenebileceğimiz en yüksek risk düzeyidir. Bu olasılık her zaman sıfırdan büyüktür, ve genellikle %5 seçilir. Araştırmacı,  $H_0$ 'ı reddetmek için üstlenilebilecek en yüksek risk düzeyinde karar verir. Üretici riski olarak da adlandırılır.
5. Belirginlik Düzeyi - Alfa riskiyle aynıdır.
6. II. Tip Hata ( $\beta$ -Hatası) -  $H_0$ 'ın doğru olduğunun kabul edilmesine karşın gerçekte yanlış olduğunda ortaya çıkan hatadır. Diğer bir deyişle, fark yok dememize karşın farkın olması durumudur. (Sürecin değişmesine karşın değişmediğini söylemektir.)
7. Beta Riski - II. Tip Hatayı yaptığımızda ya da sorunun çözümünü gözden kaçırdığımızda üstlenebileceğimiz risktir. Tüketici riski olarak da adlandırılır.
8. Belirgin Fark - Fark, sürecin değiştiğine karar verecek kadar çok olduğunda (üstlenilebilecek bir riskle), hipotez testin sonucunu belirtmek için kullanılır.
9. Güç - Gerçekte bir fark olduğunda, istatistiksel testin bu farkı yakalama yeterliliğidir ya da  $H_0$  reddedildiğinde doğru olma olasılığıdır. Genellikle, sonuçlarda bir fark varsa bu farkı yakalamak için örnek sayısının yeterli olup olmadığını belirlemede kullanılır.
10. Test İstatistiği -  $H_0$ 'ın geçerliliğini gösteren standardize edilmiş değerdir (z, t, F, vb.). Genellikle,  $H_0$ 'ın geçerli olma olasılığı arttıkça test istatistiğinin mutlak değeri küçülür, bu istatistiğin mutlak değeri küçüldükçe sonuçları tek dağılımdan elde etme olasılığı artar.

#### 5.4.2. Ki Kare Testi

Ki kare testi, elimizdeki veri cinsi sayılabilen yani nitel olduğu durumlarda kullanılır.

Ki kare bağıntısındaki kritik faktör şu şekilde hesaplanır:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(G_i - B_i)^2}{B_i} \quad (5.9)$$

Serbestlik derecesi = kategori sayısı - 1

burada

G, gözlenen değer

B, beklenen değerdir.

Ki kare testi non parametrik bir istatistiksel test olmasına rağmen dikkat edilmesi gereken noktalar vardır.

Ölçümler birbirinden bağımsız olmalıdır. Tablodaki bir değer varlığı diğer değerleri etkilemez.

Test görülme sıklığı ile yapılmalıdır.  $\chi^2$  her kategorinin görülme sıklığı için yapılmıştır. Başka tür bir veri yorumlanamayacak sonuçlara yol açacaktır.

Örnek sayısı yeterince büyük olmalıdır. Veri sayısı ne kadar fazla olursa  $H_0$  hipotezini Kabul etme olasılığı artmaktadır.

Ki-kare dağılımı kullanılarak bir dağılımın hedefe uyumunu test etmek için (uyumun gücü) kullanılır. Örnek olarak aşağıdaki tabloda lmarket sahibi bir kişi meyve suyu rafındaki 5 çeşit meyve sularının satış adetlerini takip etmiştir. Merak ettiği konu müşteri tarafından meyve suları eşit olasılıkta mı tercih ediliyor ya da meyve sularında bir tanesi diğerlerinden farklı olarak mı tercih edilme şansı daha yüksektir?

Tablo 5.2 Müşteri meyve suyu seçim tablosu

| Sıklık   | Vişne | Çilek | Portakal | Limon | Greyfurt |
|----------|-------|-------|----------|-------|----------|
| Gözlenen | 32    | 28    | 16       | 14    | 10       |
| Beklenen | 20    | 20    | 20       | 20    | 20       |

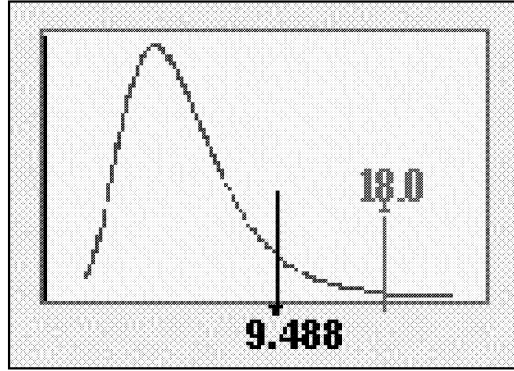
Hedef değer bu örnekte ortalama değer olan 20 olmaktadır. Hedef değere göre Ki kare testi yapıldığında 5.9 formülünden

$$\chi^2 = (32-20)^2 / 20 + (28-20)^2 / 20 + (16-20)^2 / 20 + (14-20)^2 / 20 + (10-20)^2 / 20$$
$$=18 \quad (5.10)$$

hesaplanır.

Ki kare kritik değeri alfa riski %5 için 9,488 olarak ekte verilen tablolardan alınmıştır. Kritik değer ile hesaplana değer tablo 5.3' de gösterilmiştir.

Tablo 5.3  $\chi^2$  Dağılım tablosu.



Yukardaki tablodan da anlaşılacağı üzere  $18 > 9.488$  olduğuna göre  $H_a$  hipotezi kabul edilir. Tüketicinin meyve suyu çeşidi konusunda bir seçimi yoktur' hipotezini reddedecek yeterince kanıt vardır

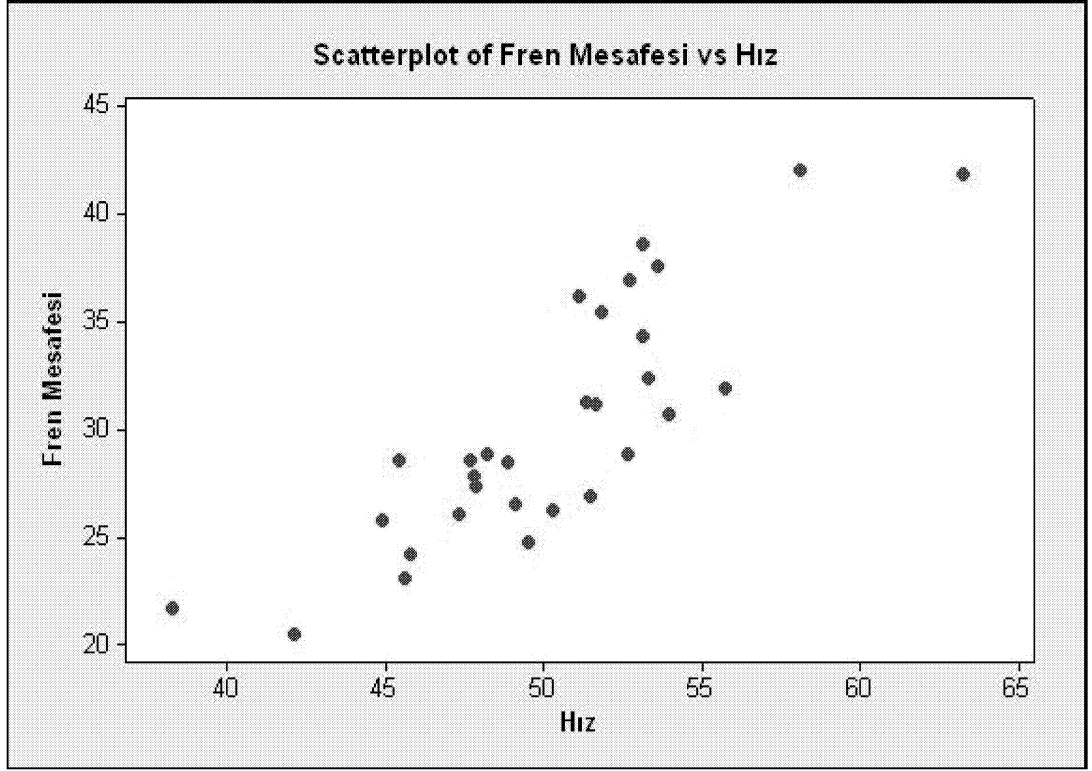
Olasılık (Contingency) tablosu kullanılarak yapılan testlerde ise veriler, görülme sıklığına göre düzenlenip tablo durumuna getirilir ve Ki-kare testi kullanılarak değişik hipotezler test edilebilir.

Oranların homojenliği testi, değişik anakütlelerden alınmış örneklerin oranlarını eşit olup olmadığını test etmek için kullanılır.

#### 5.4.3. İlişki (Korelasyon testi)

İki ölçülebilir değişken arasındaki lineer ilişkiyi gösteren test olarak tanımlayabiliriz. Korelasyon Katsayısı -1 ve +1 arasında değer alır. Hesaplanan korelasyon katsayısı 0.8 değerinden büyükse iki değişken arasında güçlü bir ilişki vardır.

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_1^n \left[ \frac{(X_i - \bar{X}) * (y_i - \bar{y})}{\sigma_x * \sigma_y} \right] \quad (5.11)$$



Şekil.5.6 İlişki diagramı

Minitab programı kullanılarak tekerlek üreticisi bir firmanın fren mesafesi ile araç hız arasındaki ilişkiyi inceleyen bir örnek yukarıdaki şekil.x de gösterilmiştir. Eldeki verilere göre korelasyon katsayısı 0,845 olarak hesaplanmıştır. Pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğunu ik değişken arasında olduğunu söyleyebiliriz.

Korelasyon İyileştirme süreci için yardımcı analiz olup birbiri ile etkileşim içindeki faktörleri görüntelememize yardımcı olur.

#### 5.4.4. Kalite Fonksiyon Yayılımı – KFY (QFD)

Kalite Fonksiyonu Yayılımı ( Quality Function Deployment - QFD ) müşteri talep ve gereksinimleri doğrultusunda yeni ürünlerini hizmetlerin - tasarımı mevcut ürünlerini hizmetlerin geliştirilmesi için organizasyon içinde farklı işlevleri olan takım üyelerinin kullandığı müşteri-odaklı bir tasarım aracıdır.

QFD mevcut müşteri gereksinimlerinden -tasarım aşmasında göz önünde bulundurulması gerekenlerin üzerinde takımın karara varmasıyla başlar. Bu veriler, bir tür planlama matrisi olan ve müşterilerin gereksinimlerini ölçülebilir tasarım özelliklerine çeviren "Kalite Evi"nin oluşturulmasında kullanılır. Bu aşamada kullanılan yöntemin, tasarım özelliklerinin önem sırasını oluştururken müşteri

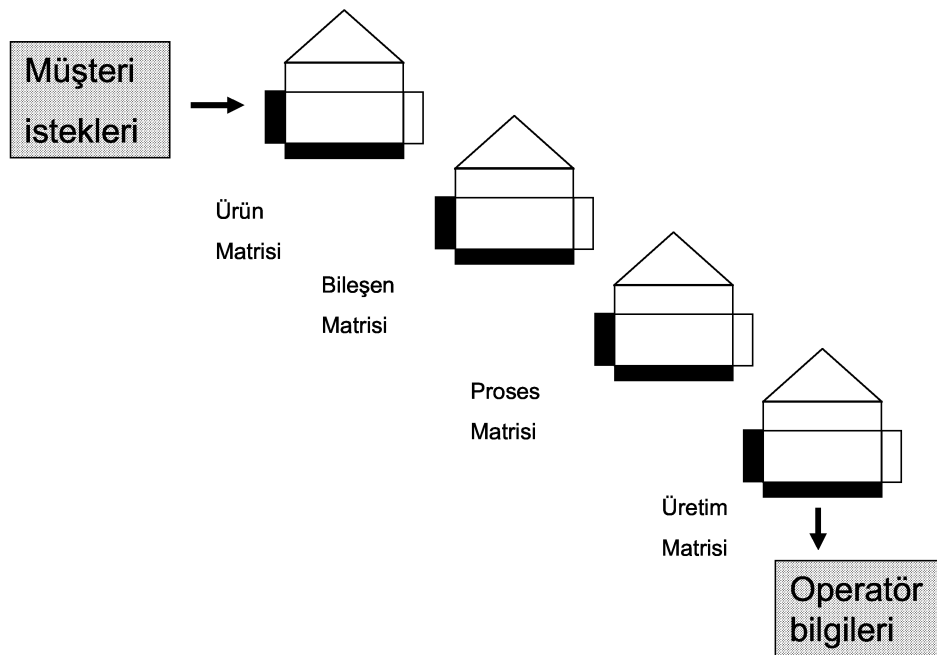
gereksinimlerinin kendi aralarındaki ve müşteri gereksinimleri ile tasarım özellikleri arasındaki ilişkileri göz önünde bulundunması beklenmektedir.

#### 5.4.4.1 KFY'nin Tarihçesi

KFY'nın tarihsel gelişimi incelendiğinde KFY kavramının ilk olarak 1960 yılının sonlarında ortaya atıldığı görülmektedir. KFY, çeşitli alanlarda faaliyet gösteren firmalar tarafından uygulanmaya çalışılmış ancak 1972 yılına kadar kendine yer edinememiştir. 1972 yılında Mitsubishi Heavy Industries firmasının kargo gemilerinin geliştirilmesi konusuna el atmasıyla KFY, gemi inşa projelerinde müşteri gereksinimlerinin göz önünde bulundurulmasını sağlayan bir sistem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmaları uluslararası büyük şirketler olan Toyota, General Motors, Chrysler, Digital Equipment, Hewlett-Packard~ AT&T, Procter and Gamble ve Baxter Healthcare şirketlerinin uygulamaları izlemiştir.

#### 5.4.4.2 KFY'nın Yapısı

KFY'nin temeline baktığımız zaman amacının müşterinin istek ve taleplerinin, tasarım özelliklerine ve daha sonra da parça karakteristiklerine, süreç planlarına ve son olarak da üretim planlarına çevrilmeleri olduğunu görmekteyiz. Bu süreç matrisler aracılığıyla Şekil 5.7 'deki haliyle gösterilmektedir.



Şekil 5.7 KFY Süreç matrisi

#### 5.4.4.3 Kalite evi

Kalite Evinin oluşturulmasına ilk olarak müşterilerin tanınmasıyla başlanır. Bu aşama, firmanın üretmeyi planladığı ürünün tasarlanmasına yardımcı olarak potansiyel tüketici konumundaki birey veya toplulukların. belirlenmesi aşamasıdır. Hedef tüketici kitlesini belirlerken nüfus yapısı coğrafi konum, Pazar durumu, sosyal çevre ve benzeri faktörlerin göz önünde bulundurulmaları gerekmektedir.

Müşteri portföyünü belirledikten sonra, onların ihtiyaç ve beklentilerini öğrenmemiz gerekmektedir. Elde edeceğimiz bilgiler "müşterinin sesi" kavramı ile ifade edilmektedir. Bu aşamada izlenen yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- . Anket çalışmaları,
- . Görüşmeler,
- . Odak grupları,. Deneme süreçleri.

Elde ettiğimiz bu verilerle müşteri memnuniyetini değerlendirirken karşımıza "Kano Modeli" çıkmaktadır. Kano Modeli, ürünün özellikleri ile müşteri memnuniyeti arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bu modele göre üç değişik durum söz konusudur:

- .- Temel Kalite: Ürünün müşterinin minimum ihtiyaçlarını karşıladığı durumdur. Müşterinin ürünü alırken emin olduğu kalite düzeyidir. Bulunmaması durumunda ise tatminsizliğe yol açmaktadır.
- Beklenen Kalite:. Müşterilerin, genelde ürünü alırken talep ettikleri. bekledikleri kalite özellikleridir. Ne kadar fazla' olurlarsa, müşteri de o kadar tatmin olmaktadır: Örneğin, ürünün.kapasitesinde artış, daha güvenilir olması gibi.
- Heyecan verici kalite: Üründe bulunduğu zaman müşteri için hoş sürpriz sayılabilecek özelliklerdir. Bulunmadıklarında tatminsizlik yaratmazlar. Bu duruma örnek olarak Sony firmasının geliştirmiş olduğu walkman'leri verebiliriz. Bu ürünün piyasaya' sürülmesinden önce, müşteriler hoparlörleri olmayan portatif bir müzik cihazı akıllarına getirmemişlerdi. Ancak ürünün ortaya çıkmasıyla birlikte müşteriler bu özelliklere sahip bir ürün beklemeye başlamışlardır.

Müşteri ihtiyaçlarını belirleyip Kano Model'ine göre grupladıktan sonra onları önem sırasına göre sıralamamız gerekmektedir. Bu sıralamayı da müşterilerle yapacağımız görüşmeler, anketler, vb. yöntemleri kullanarak elde edebiliriz. Bu sıralama sırasında ayrıca ürünün mevcut rakiplerin ürünleri arasındaki konumunu belirlememiz hangi özelliklerin geliştirilmeye ihtiyaç duyduğunu fark etmemizi sağlar.

The diagram illustrates the proposed methodology, showing the flow of information and components. The central flow consists of a vertical rectangle labeled '1', a large central rectangle labeled '4', and a horizontal rectangle labeled '6'. A large arrow points from the left towards this central flow. From '1', an arrow points to '4'. From '4', an arrow points to '6'. From '6', an arrow points down to a large downward-pointing arrow. To the left of the central flow, a box labeled 'Müşteri İstekleri' (Customer Requirements) points to '1'. Above '1', a box labeled 'Teknik gereksinimler' (Technical Requirements) points to a horizontal rectangle labeled '3'. From '3', an arrow points to a triangle labeled '5'. From '5', an arrow points to a box labeled 'Korelasyon matrisi' (Correlation Matrix). Below '6', a box labeled 'Teknik değerlendirme' (Technical Evaluation) points to '6'. To the right of the central flow, a vertical rectangle labeled '2' points to a box labeled 'İlişkiler matrisi' (Relationships Matrix). From '2', an arrow points to a box labeled 'Planlama matrisi' (Planning Matrix). From '6', an arrow also points to 'Planlama matrisi'.

#### 5.4.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi -HTEA (FMEA)

61

aldığı pay ve gerekse satış sonrası] hizmetlerin planlanması bakımından ürünün müşterideki performansı ilgi odağı olmaktadır.

Her ne kadar, ürün gerek tasarım aşamasında gerekse üretim sırasında ve sonrasında bir takım kontrollerden geçiyorsa da, bu durum, ürünün her müşteride ve her zaman beklenen performansı göstereceği anlamına gelmez.

Gerek ürünün çalışma koşulları, gerekse önceden hesaba alınmayan bazı değişkenlerin etkisiyle, ürün kendisinden beklenen bir (veya birkaç) fonksiyonu planladığı şekilde veya tam olarak yerine getiremeyebilir. Bu durumda, ürün müşteri tarafından istenmeyen bazı sonuçlara neden olabilir. Bun sonuçların oluşma olasılıkları eğer önceden kestirilebilirse müşteride oluşabilecek sıkıntılar da büyük ölçüde önlenir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi ( Failure Mode and Effect Analysis) veya kısaca HTEA olarak bilinen bir yöntem, bize bu konuda bir takım olanaklar sunar. Yöntem, ilk kez 1960-65 yılları arasında NASA (Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi) tarafından 1969 yılında aya insan indirecek olan Apollo projesinde uygulanmıştır.

Aya insan indirecek olan ürünün bir tek ve çok pahalı bir ürün olması nedeniyle, sistemin keskin arıza yapmaması isteniyordu. Bu amaç, ancak ürünü oluşturan bütün parçaların çok yüksek bir güvenilirliğe sahip olması sayesinde gerçekleşebilirdi. Böylesine ciddi ve şansa hiç yer bırakmayacak bir projede Hata Türü ve Etkileri Analizi gibi ayrıntılı ve sistemli bir çalışmadan yararlanılmıştır.

Hata türü ve Etkileri Analizi, 1970' li yıllarda ABD uçak sanayisinden başlayarak uygulanmıştır. 1980' li yıllarda ise otomotiv sanayiinde Ford, Renault, Citroen ve Fiat gibi firmalarda uygulanmıştır. Örneğin, Renault bu metodolojiyi AMDEC adıyla uygulamıştır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi; üründeki hatanın sistemin bütünü üzerindeki etkisinin (büyük, küçük veya önemsiz) önceden değerlendirilmesini sağlar, değiştirilmesi veya düzeltilmesi gereken tasarım karakteristiklerinin önceden teşhis edilmesine yardımcı olur.

HTEA, sistematik bir yaklaşımdır. Çünkü;

- i) tüm ürün bileşenleri göz önüne alınır,
- ii) her bileşen için bütün hata türleri teşhis edilmelidir,

iii) analizin tüm adımları kaydedilir.

Bu yöntemde, üründe oluşması beklenen hatalar önem derecelerine göre belirlenir, ortaya çıkma olasılıkları ve meydana getirecekleri etkilere göre hangi hataların daha kritik olduğunun saptanması şeklinde bir kritiklik analizi yapılır.

HTEA yönteminde hatalar iki yönden incelenir;

-Müşteri gözüyle tüm sistem üzerindeki etkisi,

-Hatayı oluşturacak tasarım (veya süreç) nedenleri

Bu nedenle iki tür HTEA çalışmasından söz edebiliriz: Tasarım HTEA ve Süreç HTEA.

Tasarım HTEA ; ürüne ilişkin geçmiş veriler ve müşteri kullanımı ile mevcut tasarım yöntemi göz önünde tutularak, potansiyel tasarım sorunlarının teşhis ve önlenmesi çalışmasıdır. Bu çalışmada ürünün doğru şekilde üretileceği kabul edilir.

Süreç HTEA ; ürün tasarımının doğru olduğunu varsayarak, geçmişteki sorunları ve üretim yöntemlerini gözden geçirir ve müşterilerin (veya son kullanıcının) üründe sorunla karşılaşmamasını temin edecek kapasitedeki sürecin seçilmesini sağlar.

Tasarım HTEA' nın konusu, üretilen malzeme veya parça iken, süreç HTEA üretim sürecinin çeşitli aşamalarıyla ilgilidir. Bununla beraber,her ikisi de birbirini tamamlayıcı mahiyette olup,müşteri ürünü kullanırken çıkabilecek olası ürün hatalarının nedenlerini ortadan kaldırmaya yöneliktir.

#### **5.4.5.1 HTEA Çalışmasının Adımları**

HTEA çalışmasının ürünü oluşturan tüm parçalar için yapılması söz konusu değildir. Ürünü oluşturan tüm parçalar aynı öneme sahip olmadıklarından buna gerek de yoktur. Tüm parçalara uygulamak yerine, sadece önemli görülen, kritik parçalara uygulamak yeterlidir.

HTEA çalışmasında ilk adım; fonksiyon analizidir. Fakat bu adımdan önce ürünü oluşturan bütün parçaların tanımlanmış olması gerekir. Fonksiyon analizinde, müşteri açısından ürünün birincil ve ikincil fonksiyonları belirlenir. Daha sonra,bu fonksiyonları yerine getiren parçalar belirlenir. Bu şekilde ürün fonksiyonları ve karşı gelen parçaların yer aldığı,*fonksiyon matrisi* oluşturulur.

İkinci adım, oluşması beklenebilecek hataları tanımlamaktır. Bir parçanın tasarım aşanlasında kendisine verilen görevi yapmaması veya eksik yapmasını hata olarak tanımlarsak, bir parça için olası tüm hatalar; hata türü olarak tanımlanan sıralamayı oluşturur.

Üçüncü adım, hata oluştuğunda müşteri üzerinde yaratacağı etki veya sonucun tanımlanmasıdır. Her hata türünün müşteri üzerinde ancak ve ancak tek bir etkisi olabilir.

Dördüncü aşama, gerçekleştiğinde bir hata türüne yol açacak nedenlerin tümünün belirlenmesidir. Bir hata türünün birden fazla meydana geliş nedeni olabilir.

Beşinci aşama, olası hataların tasarım nedenlerinin oluşmasını veya sonuçta hatanın meydana gelmesini önleyecek, bu şekilde gizli hataların ortaya çıkmadan teşhis edilmesini sağlayacak tüm kontrol önlemlerinin listelenmesidir.

Altıncı aşamada, hata türlerinin ortaya çıkma olasılıkları, müşteride yaratacağı etkilerin şiddeti ve hata türlerinin keşfedilebilirliğine (hatanın müşteriye ulaşmama veya müşteri tarafından fark edilmeme olasılığı) ilişkin puanlandırma yapılarak kalitatif verilerden kantitatif verilere geçilir. Bu aşamada çalışmayı yapan ekibin geçmiş deneyimleri, kalite ile ilgili veriler (müşteri şikayetleri) ve denem sonuçları ile ilgili veriler puan takdirinde kullanılır. Yeni bir ürün durumunda benzer ürünlere ilişkin verileri kullanmak gerekir.

Yedinci aşamada, her bir hata türü ve nedeni çiftine ilişkin olarak risk öncelikleri saptanır. O hata türü ve nedenine ilişkin olası/ık, şiddet, keşfedilebilirlik değerlerinin çarpımı risk öncelik göstergesi (RÖG) değerini verir.

Son aşamada ise önerilen iyileştirmeler yer alır. Hata türlerinin nedenleri en önemlisinden aşağıya doğru sıralanarak önerilen iyileştirme faaliyetleri tanımlanır

#### **5.4.6. ANOVA**

Analysis Of Variance ( ANOVA ), deneyde çıkan ayrı faktörlere atfen deneyleri bölümlere ayırarak gözlemlenen toplam varyasyonun karşılaştırılan bir matematiksel yöntemdir. Diğer bir deyişle, ANOVA farklı nedensel faktörler temel alınarak toplam süreç varyasyonunu parçalara ayırır. En geniş katılımcılar, F adı verilen bir istatistik' temel alınarak tanımlanır.

ANOVA'yı kullanma amacı, ürün veya süreçteki tüm varyasyonlardaki her faktörün, göreceli katılımını nitel olarak tahmin etmektir. ANOVA, maliyet ve kalite problem olduğunda, Taguchi'nin Kalite Kayıp Fonksiyonu ( KKF ) ile birlikte Tolerans Dizayn'da ( TD ) kullanılır. TD'yi anlamak için önce KKF'yi anlamak gerekir. Tanım olarak KKF, sistemin doğal performansından, diğer bir deyişle performansındaki varyasyonundan kaynaklanan birim başına ekonomik kaybı belirleyen metottur. KKF, performans belirlenen hedef değerden saptığında "toplum"un ( üretici ve tüketici) uğradığı ortalama para kaybını nitel olarak belirler. ANOVA, problem çözmede, özellikle TD'de her faktörün sistem performansı için önemini belirlemek için kullanılır.

Altı Sigma metodolojisinin analiz fazında yer alan ANOVA testiyle, bir bütünden alınan örneklemelerin verdiği sonuçlar yardımıyla, girdilerle çıktılar arasındaki ilişki incelenir. ANOVA testinde karşılaştırılan istatistiksel ölçüt ortalamalardır. Örnek bir analiz Tablo 5.4 'te gösterilmiştir:

Tablo 5.4 One - Way ANOVA (Minitab Çıktısı)

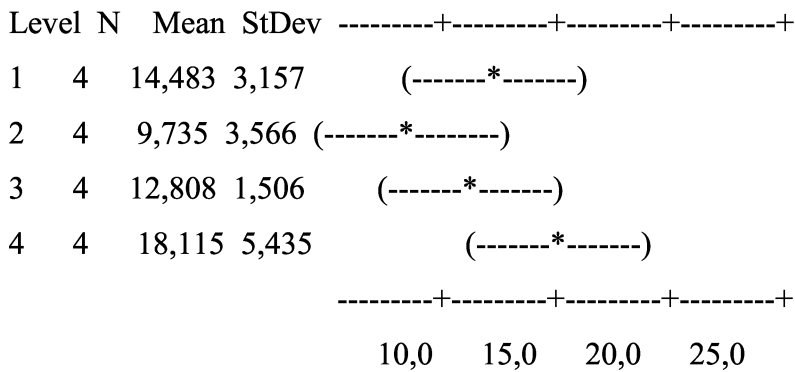
**One-way ANOVA: Velocity versus Pilot**

| Source | DF | SS    | MS   | F    | P     |
|--------|----|-------|------|------|-------|
| Pilot  | 3  | 146,4 | 48,8 | 3,58 | 0,047 |
| Error  | 12 | 163,5 | 13,6 |      |       |
| Total  | 15 | 309,9 |      |      |       |

S = 3,691 R-Sq = 47,24% R-Sq(adj) = 34,05%

Individual 95% CIs For Mean Based on

Pooled StDev

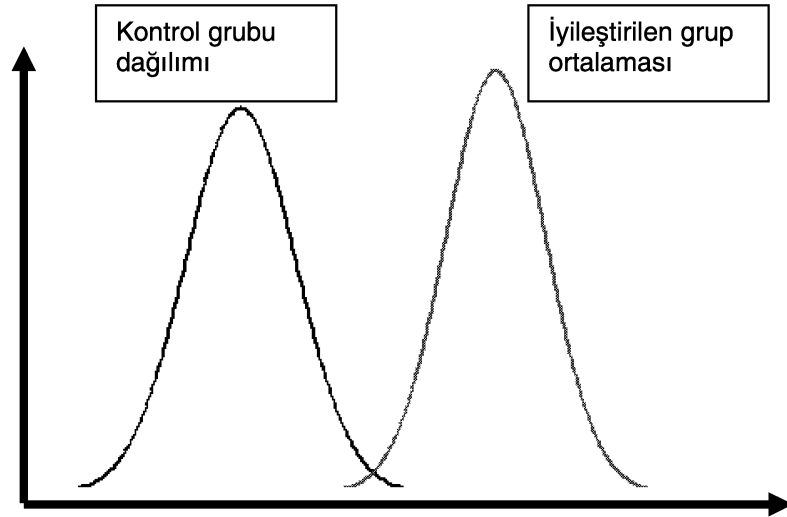


Pooled StDev = 3,691

Tablo 5.4' deki One - Way ANOVA Minitab çıktısında hız ve pilotların karşılaştırılması yapılmıştır. Burada P değerine baktığımızda 0,047 olduğunu görürüz ve bu değer 0,05'ten küçük olduğu için sistemde bir farklılık olduğunu söyleyebiliriz. Tablodan da görüleceği gibi pilotlar arasında hız farkı vardır. Bu durumda yavaş olan pilotu çeşitli yöntemler kullanarak hızlandırmanın gerekli olduğunu söyleyebiliriz.

#### 5.4.7. T - Testi

T - testi, iki grubun aritmetik ortalamalarının istatistiksel olarak birbirinden farklı olup olmadığını yargılamaya yarar. Bu analiz ne zaman iki grubun aritmetik ortalamasını karşılaştırmak istesek uygundur.

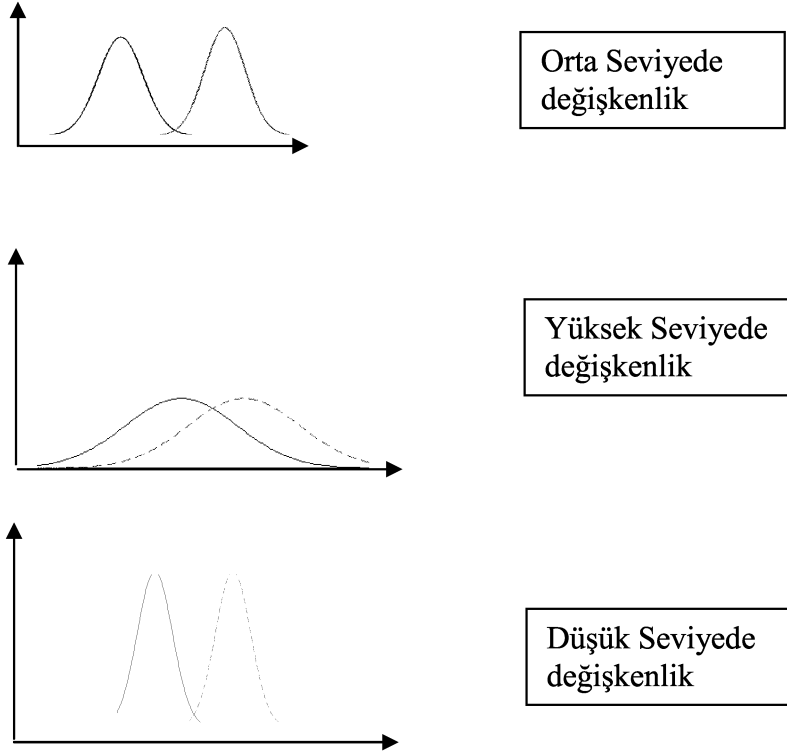


Şekil 5.9 Kontrol ve Uygulama Gruplarının Test Sonrası İdealleştirilmiş Dağılımları

Şekil 5.9 'da bir çalışmadaki uygulama ( kırmızı) ve kontrol ( siyah) gruplarının dağılımları görülmektedir. Aslında, bu figür ideal dağılımı göstermektedir – gerçek dağılım genellikle histogram veya çubuk grafikte gösterilir. Bu grafikte aritmetik ortalamaların yerlerini görebiliriz. T - testinin sorduğu soru, bu aritmetik ortalamaların istatistiksel olarak farklı olup olmadığıdır.

İki grubun ortalamasının istatistiksel olarak farklı olması ne demektir? Şekil 5.10'da gösterilen 3 durumu göz önüne alalım. Bu üç durumda ilk göze çarpan şey, aritmetik ortalamalar arasındaki farkın aynı olmasıdır. Ama fark edildiği üzere bu üç durum aynı görünmemektedir - hepsi farklı bir durumu anlatır. Üstteki örnekte, her grupta orta düzeyde değişkenlikte skorlara sahip bir durum gözlenmektedir. Ortadaki örnekte, yüksek değişkenlikte bir durum söz konusudur. Alttaki örnekte ise, düşük

değişkenlikte skora sahip bir durum görülmektedir. Şüphesiz, bu üç örneğe baktığımızda en farklı gördüğümüz iki grup, düşük değişkenliğe sahip olan durumdur. Çünkü, iki çan eğrisi arasında en az çakışmaya sahip olan durum bu örnektir. Yüksek değişkenlikteki durumda, grup farkı daha az görünmektedir, bunun sebebi iki çan eğrisinin çok fazla şekilde çakışmasıdır. Bu bizi çok önemli bir sonuca yönlendirir: İki grubun skorları arasındaki farka baktığımız zaman, skorlarının aritmetik ortalamalarının arasındaki farkı, skorlarının varyasyonuna göreceli olarak yargılamalıyız.



Şekil 5.10. Aritmetik Ortalamalar Arasındaki Fark İçin Üç Farklı Senaryo

T - testi, one - way ANOVA ile matematiksel olarak denktir ve sonuçları aynı çıkacaktır. Kritik T değerlerini gösteren tablo eklerde verilmiştir.

#### 5.4.8. Regresyon Analizi

##### 5.4.8.1 Çoklu Değişken Analizleri

Gelişme için fırsatların olduğu alanlarda, çoklu değişken analizi varyansı bölüştürmek için mükemmel bir araçtır. Varyansı, konumsal, çevrimsel ve zamansal kategorilere bölüp inceler. Konumsal varyasyon, sürecin ya da ürünün belirli noktalarında süreç performansını etkileyen değişkenler sonucu oluşur. Zamansal varyasyon, sürecin çevrim süreleri arasındaki farkları ve vardiyadan vardiyaya,

günden güne veya haftadan haftaya gibi zaman içindeki eğilimleri niteler. Süreçteki varyasyonu bölüştürmek, belirli bir tipte olan varyasyonla ilgili değişkenlere odaklanmaya sebep olur. Örneğin, konumsal varyasyon normalde hatalar belirli yerlerde yinelenince ürün veya süreç dizaynına atfedilir. Çevrimsel varyasyon, bir çevrimden diğer çevrime performansta varyasyona sebep olan düzenine bağlı değişkenlere atfedilir.

Zamansal varyasyon, süreçte harcanan malzemelerin ( lazer lambaları, makine araçları kimyasal konsantrasyonlar ya da sınırlı raf ömrü olan kimyasallar) azalmasına bağlı olmakla birlikte, günlük, haftalık veya aylık bakım aktivitelerine de bağlıdır.

## **5.5.İyileştirme Aşamasında Kullanılan Yöntemler**

### **5.5.1.Deneysel Tasarım**

Sanayide deney tasarımı ürünün kalitesini etkileyen ürün yada sürece ait değişkenleri sistematik olarak araştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Ürünün kalitesini etkileyen ürün bileşenlerini ve süreç şartlarını tanımladıktan sonra , ürünün imal edilebilirliğini, güvenilirliğini, kalitesini veya saha performansını iyileştirici faaliyetlere direkt olarak gerçekleştirebilirsiniz.

Örnek olarak çelik çubukların kaplama tipinin ve ocak sıcaklığının korozyon direncine olan etkisini araştırmak isteniyor. Öyle bir deney tasarlamamız gerekir ki kaplama ve sıcaklığın şartlarının kombinasyonlarını içersin. Deneylerinizde korozyon direncini her defasında ölçmelisiniz. Sonuçta bulduğunuz deney sonuçlarında göre imalat şartlarına karar verebilirsiniz.

Sanayide imkanlar kısıtlıdır ve deney demek maliyet olduğundan her deneyden mümkün olduğunca çok bilgi almak asıl gayedir. İyi tasarlanmış deneyler daha önemli bilgileri elde etmemize olanak sağlar ve genel olarak planlı olmayan, rastgele deney tasarımlarına göre de daha az deney sayısına sahiptirler. Birçok süreçte faktörlerde birbiri ile ilişkili olabilir. İlişki içerisindeki bu faktörler bir araya geldiğinde çıktıyı etkileyebilir. İkili etkileşim etkileri faktoriyel deney tasarımlarında dikkate alınır.

Deneysel tasarımı yeni bir yöntem değildir. Aşağı yukarı yarım asırdır mühendislik ve temel bilimler disiplinlerinde kullanılan deneysel tasarım tekniklerinin türevi olarak kalite yönetim metodolojilerine katılmıştır. Deneysel tasarım teknikleri, optimum duruma ulaşma amacıyla sistemin yanıtları üzerinde etkili olan faktörlerin incelenmesini amaçlayan teknikler olarak tanımlanabilir. Deneysel tasarım teknikleri, deney tasarımı (Desin of Experiments) ve deneysel veri analizi (Experimental Data Analysis) olarak iki grupta toplamak olanaklıdır.

Deney tasarımı; sistem yanıtlarının teşhis edebileceği en uygun deney koşullarının ne olduğu ile ilgilenir. Deneysel veri analizi ise, etkiyen faktörlere ağırlık cinsinden öncelikler vererek sistem yanıtlarının nasıl tahmin edileceği ile ilgilenir.

Ürünün kullanıma uygunluğu, müşterinin üründe vazgeçilmez olarak gördüğü karakteristiklerin üretimde uygulamaya konulması ve bunun sürdürülmesi ile ilişkilidir.

Bu ürün karakteristiklerine örnek olarak, bir içten yanmalı motorun yakıt tüketimi, belli koşullar altında bir enjektörden pompalanan yakıt miktarı veya bir malzemenin kırılma yükü gösterilebilir.

Bu örneklerin teknik tarafları bir yana bırakılırsa, ortak noktaları nedir? Her üç karakteristik de bir tasarıma katılacak olsa hedef değerlerinin ne olması gerektiğini araştıralım:

-Birinci örnekte; pozitif bir değerlendirme ile, motorun mümkün olan en küçük miktarda yakıt tüketmesi amaçlanır.

-İkinci örnekte; en iyi motor verimliliğine erişmek için enjektörün belli bir miktar yakıt göndermesi gerekir. Bu miktarın üstünde ve altında olan miktarlar motorun verimini düşürecektir.

-Son örnekte ise; alternatif malzemeler arasında, kırılma yükü mümkün olan en yüksek miktar ise, malzeme kullanımına uygun sayılır.

Üç örnekte de, hedef değerleri üç farklı kategoride saptanmıştır: En yüksek, en küçük ve belli bir seviyededir. İkinci örnekteki belli bir miktara ise, şunlar örnek verilebilir: Belli bir uygulanan yük ve belli bir hava basıncına sahip lastiğin çapı, elektrolitik kondansatörün elektrik kapasitesi.

Son örnekteki mümkün olan en" yüksek miktara ise, içten yanmalı motorun hacim olarak verimi, bir yapının bükülmezliği, bir akünün biriktirebileceği şarj miktarı örnek olarak verilebilir.

### **5.5.2. Deney Tasarım Çeşitleri**

Deney tasarımına üç yaklaşım vardır:

#### **5.5.2.1. Klasik Deney Tasarımı**

Deney tasarımı Sir Roland Fisher 1920'lerin başlarında tarımda uygulayarak bu yaklaşımın öncüsü olmuştur. Tarımın bir çok yağmur, su, toprak, güneş, iklim, tohum, gübre, vb. - değişkeni vardır ve Fisher tam faktöryel yöntemiyle İngiliz tarımına büyük katkıda bulunmuştur. Gerçekte, Fisher, deney tasarımını varyasyonu azaltmak için kullanmıştır ve modern kalite kontrolün babası olmuştur. Ancak, yöntem sayesinde saygınlık kazanan kişi, Fisher'ın öğrencisi olan, Walter Shewhart olmuştur.

Fisher'ın güçlü tam faktöryel yöntemi, daha zayıf olan ve klasik yaklaşım olarak adlandırılan, kesirli faktöryele dönüştürüldü. Böylece, tarım ve kimya endüstrileriyle sınırlandı ve profesörlerin, öğrencilerinin bu yöntemi kullanması konusunda pek bir beklentisi kalmamıştır.

#### **5.5.2.2 Taguchi Deney Tasarımı**

Deney tasarımı daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, bu kavramı ürün performansındaki varyansın azaltılması için ilk uygulayan kişi Taguchi olmuştur. Taguchi deney tasarımının kullanımının şu noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir: (Box and Bisgaard, 1987: 60)

- Ortalama ya da hedef değerden olacak varyansın minimize edilmesi.
- Çevre koşullarına karşı robüst ürün üretilmesi.- Parçalardaki varyansa karşı duyarlı olmayan ürünlerin üretilmesi.
- Ürünlerin ömür uzunluğu konusunda yapılan testler.

Bunlardan ilk üç tanesi Taguchi'nin parametre tasarımı adını verdiği kategorilerdir. Taguchi deney tasarımında, ürün ya da sürecin performans karakteristiğini etkileyen faktörleri şu şekilde belirlemektedir:

1. Kontrol edilebilen faktörler (tasarım faktörleri) : Bunlar değerleri tasarım ya da süreç mühendisi tarafından kolayca belirlenebilen faktörlerdir.

2. Kontrol edilemeyen faktörler (gürültü faktörleri) : Bunlar çoğu kez üretim ortamı ile ilişkili olan varyansın kaynaklarını oluştururlar. Genel performansı, ideal olarak, bunlardaki varyansa duyarlı olmamalıdır. Kontrol edilebilen faktörler kendi içinde üçe ayrılmaktadır:

1. Sinyal faktörleri (hedef kontrol faktörleri): Bunlar sözkonusu olan ortalama tepki düzeyini etkileyen faktörlerdir.

2. Varyans kontrol faktörleri: Bunlar tepkideki varyansı etkileyen faktörlerdir.

3. Maliyet faktörleri: Bunlar ortalama tepkiyi ya da varyansı etkilemeyen ve ekonomik koşullara göre belirlenen faktörlerdir.

Taguchi yaklaşımıyla geleneksel tolerans yöntemleri ya da muayeneye dayalı kalite denetimi arasındaki fark, Taguchi yaklaşımında varyansa verilen bu önemdir. Burada amaç, bir yandan hedef kontrol faktörlerinde yapılan ayarlamalar yoluyla gerekli ortalama performans sürdürülürken, diğer yandan varyans kontrol faktörlerinde değişikliğe gidilerek varyansın azaltılmasıdır.

Tasarım parametrelerinin belirlenmesi için yapılan deneyin amacı gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini minimize eden tasarım parametreleri değerlerini belirlemektir. Bu işlem,

1. Deneyde tasarım parametreleri değerlerini sistematik olarak değiştirme yoluyla.

2. Her bir deney için gürültü faktörlerinin etkisini karşılaştırarak gerçekleştirilir.

Parametre tasarımı deneyi iki bölümden oluşur: Tasarım parametre matrisi ve gürültü faktörleri matrisi.

Parametre matrisi ürün ya da süreçten sorumlu mühendisin seçtiği değerlerden oluşur. Bu değerler ürünün ya da sürecin tasarım spesifikasyonlarını belirler. Tasarım parametre matrisinin sütunları tasarım parametrelerini, satırları ise test değerlerinin farklı bileşimlerini ifade eder. Gürültü faktörleri ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmasına neden olan değişkenlerdir. Gürültü faktörleri matrisi gürültü faktörlerinin test değerlerini belirler. Bu matrisin sütunu ise gürültü faktörlerini, satırları ise gürültü düzeylerinin değişik bileşimlerini ifade eder. Deneyin tamamı tasarım parametreleri ile gürültü faktörleri matrisinin bileşiminden

oluşur. Her deneyde tasarım parametreleri matrisi gürültü faktörleri matrisinin tüm satırlarıyla karşılaştırılır. Böylece yukarıdaki örneği ele alırsak her deneyde dört deneme bulunmaktadır ve bunların herbiriyle gürültü faktörleri matrisindeki gürültü düzeylerinin bir bileşimi oluşturulur. Performans karakteristikleri dokuz deneyin her bir dört denemesi için tek tek değerlendirilir.

Taguchi tasarım parametreleri ve gürültü faktörleri matrisini oluşturmak için ortogonal dizinin (orthogonal arrays) kullanılmasını önermektedir. Ortogonal dizin tasarım parametrelerinin değişik sayıdaki değerlerinin belirlenmesini sağlar. Ayrıca karşılıklı olarak çift dengeleme özelliği nedeniyle deneme sayılarını minimize eder. Örneğin otomobil direksiyonunun geliştirilmesinde mühendisler bu ürünün performansını etkileyen 13 adet kritik tasarım değişkenini belirlemişlerdir. Bu örnekte mühendislerin herbir değişken için karşılaştırma amacıyla standart, düşük ve yüksek değer belirlemeleri durumunda, 1.594.323 adet deney alternatifi söz konusu olacaktı. Ancak Taguchi her seferinde tek bir değişken yerine, ortogonal dizini kullanarak bu deney sayısını 27'ye düşürülmüştür. Böylece deneyleri yaparken bazı faktörleri aynı anda değiştirme yoluna gitmiştir. Böylece faktörlerin ortalama etkilerini belirlemede az sayıda deney yeterli olmaktadır. Direksiyon örneğinde yaklaşık 1,5 milyon deney yerine sadece 27 deney yeterli olmuştur

Performans karakteristiklerinin yukarıdaki şekildeki gibi sürekli olması durumunda performans istatistiği adı verilen bir ölçütü hesaplamak için tasarım parametreleri matrisinin her bir deneyinden elde edilen çoklu gözlemler kullanılır. Hesaplanan performans istatistik değerleri tasarım parametrelerinin değerlerine ilişkin daha iyi tahminlerin elde edilmesinde kullanılır. Taguchi performans istatistiği ölçütü olarak sinyal-gürültü oranının kullanmasının gerekliliğini de ileri sürmüştür.

Sinyal, ürünün (ya da unsurlarının veya altmontajın) bize vermeye çalıştığı şeydir. Gürültü ise sinyali olumsuz olarak etkileyen müdahalelerdir. Bunlar bazen ürünün bünyesinde yeralan unsurlardan ya da dışarıdan gelen müdahalelerdir. Örneğin Sony Şirketinin mühendisleri televizyonu tasarlarken, verici istasyonun çok uzağında, şimşeklerin çaktığı bir sırada, aynı anda mutfak robotunun çalıştığı, hatta elektrik voltajının düştüğü zamanlarda bile müşterilerin iyi görüntü veya “sinyal” vermeyi sürdüren bir tasarımı arzu edeceklerini düşünmüşlerdir. Karlanan ya da diğer rahatsız edici “gürültüleri” üreten TV alıcılarını benimsemeyeceklerdir. Müşteriler televizyonun sesini her açtıklarında görüntü kötüleşirse bundan dehşete düşeceklerdir.

Bu yüzden robüslüğün, yüksek sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak tanımlanması akla uygundur.

S/N oranı belirlenen kontrol faktörleri düzeyinde fonksiyonun robüslüğünü değerlendirir. Parametre tasarımının amacı kayıpları azaltarak robüslüğü arttırmaktır. Bu oran aynı zamanda hedef performans civarındaki varyansı da ölçer. S/N oranı varyansa neden olan kontrol edilemeyen faktörlerin mevcut olması durumunda performansın istikrar ve güvenilirliğini ölçer. Taguchi yetmişten fazla sinyal-gürültü oranı geliştirmiştir. Bunlardan geniş ölçüde uygulanan ve generik hale gelen üç tane sinyal-gürültü oranı aşağıda verilmektedir.

Tip N : Hedef değer en iyi (ürün boyutları, elektrik voltajı vb.)

$$S/N = 10 \log ( Y^2 / N^2 ) \quad (5.12)$$

Burada ,

Y : Y değerlerinin (performans karakteristiklerinin değerlerinin) ortalaması

S : Y değerlerinin standart sapmasıdır.

Tip S : En küçük en iyi (gürültü, zararlı maddeler, kirlenme vb.)

$$S/N = - 10 \log ( \sum Y^2 / n ) \quad (5.13)$$

Tip B : En büyük en iyi (güç, mukavemet vb.)

$$S/N = - 10 \log [ \sum ( 1 / Y^2 ) / n ] \quad (5.14)$$

Bu üç tür problemde de amaç sinyal-gürültü oranını maksimize etmektir. Bunların maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, diğer yandan da varyansı azaltmaktadır. Parametre-tasarım deneyi fiziksel deneyler ya da bilgisayar simulasyon deneyleri aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

#### **5.5.2.3. Shainin Deney Tasarımı**

Bu yaklaşım, 800' ün üzerinde lider şirketin danışmanlığını yapan Amerikalı Dorian Shainin tarafından bulunan veya mükemmelleştirilen basit, ama güçlü tekniklerin bir derlemesidir. Shainin, kuşkusuz dünyanın önde gelen kalite problemleri çözücüsüdür. Buna en güzel örnek Motorola'da söylenen şu sözdür: "Deming olmasaydı,

Amerika'nın bir kalite felsefesi olamazdı; Juran olmasaydı, kalite yönetimi olamazdı; Shainin olmasaydı, kalite problemleri çözülemezdi!"

Ne yazık ki, Shainin teknikleri hak ettiği yeterli tanıtım ve ilgiyi göremedi. Bunun sebebi, bu teknikleri kullanan ve mükemmel sonuçlar alan şirketlerin, bu sonuçları diğer şirketlerle paylaşmaya yanaşmamasıydı.

Deney tasarımı bir bütün olarak ele alındığında tüm uygulamalardaki yaklaşımlarda eş değer olarak problemin çözümüne yönelik aşamaları içerir. Bu aşamalar aşağıdaki gibidir:

1. Problemin durumu ve tanımlanması
2. Faktörlerin ve seviyelerinin seçimi
3. Sonuç değişkenlerin seçimi
4. Deneylerin tasarımı yönteminin seçimi
5. Deneylerin yürütülmesi
6. Verilerin analizi
7. Sonuçlar ve tavsiyeler

### **5.5.3. Tam Faktöryel Deney Tasarımı**

Tam faktörlü deneyde bütün faktörlerin değişik seviyelerinde çıktımızı nasıl etkilediğini görürüz. Tam faktöryel deney bizim kafamızdaki bütün soruları yanıtlamamıza yardımcı olur. Bu deneylerde, tüm etkileşimler ve bir sonraki deneyin nerede yapabileceğiyle ilgili bilgilerin çoğu incelenebilmektedir.

Faktöryel deneylerde, çıktı üzerinde etkisi olabilecek ve deneyde incelenen girdilere faktör, bu faktörlerin yine deneylerde incelenen değerlerine de faktörlerin düzeyi denilmektedir. Tam faktöryel deneylerde, bu faktörlerin incelenen seviyelerinin tüm kombinasyonlarında deneyler yapılır.

Tam faktöryel deneyler bize en fazla bilgiyi vermesine karşın, faktör ve düzey sayısı arttıkça, deney sayıları da artmakta ve bazı durumlarda deney yapmak imkansız hale gelmektedir. Örneğin; her birinin 2 düzeyi olan 12 tane faktörün olduğu durumda, tam faktöryel deney yapmak için, en az 4096 kombinasyon gerekmektedir. Bu da çoğu süreç için olanaksız gözükmektedir. Böyle durumlarda da kesirli faktöryel deneylerden yararlanılmaktadır.

#### **5.5.4. Kesirli Faktöryel Deney Tasarımı**

Kesirli faktöryel deney tasarımı, tam faktöryel deney tasarımı yapılan deneylerin sadece bir kısmına bakılır. Eğer aktör sayısı çok fazla ise daha az bir yatırımla daha az deney yapılır. Bu yöntemle ayrılacak kaynak daha iyi idare edilebilir. Ama bu yöntemin bazı limitleri vardır. Örneğin, bu yöntemde daha az deney yapıldığı için bazı etkileşimler görülemez ve istatistiki hata payı daha fazladır. Bunun yanında ,daha ekonomik olması, daha hızlı olması ve daha az deney gerektirmesi gibi getirileri vardır.

Kesirli faktöryel deneylerde, tam faktöryel deneylerdeki kombinasyon sayıları belirli bir kesire bölünerek, deneyin bazı kombinasyonları yapılır.

Bu deneylerde, tam faktöryel deneylerde alınan bilginin bir bölümü kaydedilir. Bunun anlamı da, bazı etkileşimler hakkında bilgi sahibi olunamayacağıdır. Ancak bu kaybedilen bilgi, deneyde seçilen kombinasyonlarına göre minimum seviyede olmaktadır.

#### **5.6.Kontrol Aşamasında Kullanılan Yöntemler**

##### **5.6.1. İstatistiksel Süreç Kontrolü(İSK)**

İstatistiksel süreç kontrolü ya da İSK, bir süreç içindeki değişkenliğin ölçümü ve değerlendirmesi ile butür bir değişkenliği sınırlamak ve kontrol etmek için harcanan çabaları içerir.

İstatistik süreç kontrol (İSK), ürünlerin şartnameler ve toleransları ile uğraşan geleneksel kalite kontrolünden farklıdır (Şekil 5.11). En önemli özelliği, ürün karakteristiklerinin şartnameler veya toleranslar ile karşılaştırılmasından çok, alınan ölçülerin üretim sürecinin doğal değişkenlik sınırları ile karşılaştırması üzerine yoğunlaşmasıdır. Bu bakımdan (İSK) yaklaşımı hem ürün karakteristiklerinin (boyut, yüzey pürüzlülüğü, sertlik vs), hem de süreç karakteristiklerinin (sıcaklık, basınç, devir sayısı vs) ölçülmesi ve izlenmesini gerektirebilir. Ölçümler sürecin meyli hakkında bilgi verir (örneğin kararlı ve kararsız olduğu hakkında). Bu bilgiler bazı sorunlar için erken uyarı sağlayarak, önlem alınmasını bildirir. Böylece sürecin geliştirilmesi, hataların azaltılması ve müşteri beklentilerine (veya tasarım şartlarına) uyan üretim yapılması mümkün olur. Oysa geleneksel kalite kontrole göre, ürün karakteristiklerinin şartnameler veya toleranslar ile karşılaştırarak yapılan

muayenesinde, hata ve ıskartaların meydana gelmesi önlenemez. Bu durum yüzde yüz muayenede dahi geçerlidir Ancak üretim sürecini zaman içinde geliştirmek ve olası hatalı ürün miktarını önceden tespit ederek yüzde olarak tahmin etmek mümkündür.

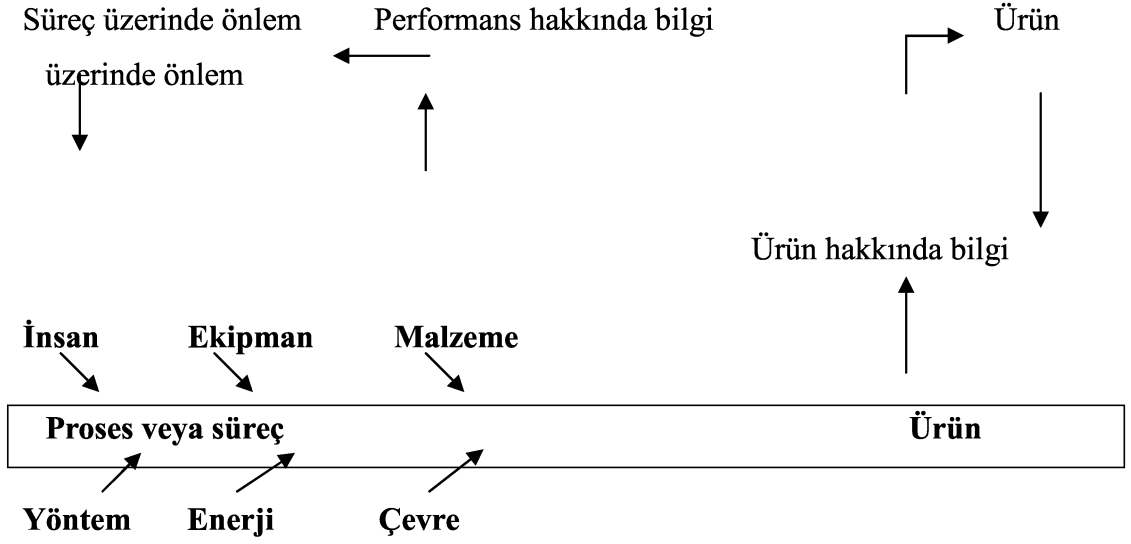
Şekil 5.11 da görüldüğü gibi geleneksel kalite kontrol uygulamasına göre ürün önce üretilir, imalatı biten ürün sonra bir muayene elemanı tarafından şartname şartlarını karşılayıp karşılamadığını anlamak bakımından muayene edilir. Muayene sonucunda söz konusu şartları karşılamayan ıskarta ürün (hatalı ürün) yeniden işlenmek ve/veya düzeltilmek amacı ile imalata geri gönderilir veya hurdaya ayrılır. Eğer önemli oranda hatalı ürün üretiliyorsa sorunun giderilmesi amacı ile üretim süreci üzerinde çalışılarak gerekli ayarlamalar ve düzeltmeler yapılır. Geleneksel kontrol iyi uygulanırsa ürünün yeterli bir kaliteye sahip olması sağlanabilir. Ancak maliyeti yüksek ve verimsizdir.

Bunun en önemli nedeni ise kalite bozukluğunu ortaya çıkarılabilmesi için ürünün imal edilmesini beklemek zorunda olmak ve bitmiş ürüne yapılan yatırımdır. Yani geleneksel kalite kontrol kaçınılmaz yeniden işlemler ve ıskartalar dolayısı ile kalitesizlik maliyetleri yüksek olan bir sistemdir İstatistik süreç kontrol üretim sürecinin belli aşamalarına uygulanır. Bu şekilde kalite, üretim sürecinin her aşamasında inşa edilmiş olur.

## İstatistik süreç kontrol (İSK)

## Geleneksel kalite

### kontrol



Şekil 5.11 Geleneksel kalite kontrol ile istatistik süreç kontrol uygulamasındaki farklılık

(İSK) için kullanılan çizelgeler esas olarak süreci yöneten operatörler veya işçiler tarafından izlenerek işlenir. Böylece çalışana kalitenin durumu hakkında bilgi veren bir ekran açılmış olur. Bu amaçla kontrol çizelgesinin anlamını, amacını ve nasıl işleneceğini açıklayan bir eğitimin ustabaşı veya formler tarafından verilmesi gerekir. Diğer taraftan kontrol çizelgesi uygulayan bir eleman işini kendi planladığı, kendi yaptığı ve kendi kontrol ederek gerekli gördüğü önlemleri kendi aldığı için öz kontrol durumundadır. Bir elemanın öz kontrol durumunda olması için söz konusu elemana şu vasıtalar sağlanmalıdır:

- 1) Ondan ne yapması beklendiğinin bilgisi
- 2) Onun gerçekte ne yaptığının bilgisi
- 3) Süreci ayarlama

İSK uygulanan bir süreçte yukarıda belirtilen bütün şartlar elemana sağlanmış olur. Bunların içinde süreci ayarlama yetki ve bilgisi sadece özel makine ayarlayıcılar gerektiren süreçlerde dahi eleman ayar işinin içindedir. Çünkü bir ayara gerek olduğu konusunda uyarı söz konusu elemandan gelmektedir. Öz kontrol durumundaki bir eleman işini daha çok benimser ve bedeni ile birlikte yaratıcı zekasını kullanma alışkanlığına sahip olur.

### 5.6.2. Kontrol Çizelgeleri

Kontrol çizelgesi esas olarak süreç değişkenliğini izlemek ve kontrol altına almak için geliştirilmiş bir grafikdir. İstatistik süreç kontrol (İSK) teknolojisinde başlıca iki tip kontrol çizelgesi kullanılmaktadır, bunlar: ölçülebilen karakteristikler için kontrol çizelgeleri ve sayılabilen veya nitelik sel karakteristikler için kontrol çizelgeleri. Ölçülebilen karakteristik adı üstünde çap, uzunluk, ağırlık, sertlik, oktan sayısı devir/dakika vs. gibi bir ölçü aleti ile veya laboratuvar analizi ile ölçülmesi mümkün olan özelliklerdir. Nitelik sel karakteristik ise ürünlerin iyi/kötü, geçer/geçmez olarak ayrıldığı veya hatalarının sayılarak bunların istatistiklerinin yapıldığı durumlar için kullanılır.

### 5.6.3 Örnek Alma Planı

Örnek alma planı, bir defada alınacak örnek sayısı ve örnek alma aralığının veya sıklığının tespit edilmesidir. Bu konuya yaklaşım ölçülebilen karakteristikler ve sayılabilen karakteristiklerde birbirinden oldukça farklıdır.

Ölçülebilen karakteristiklerde bir defada alınan örnek sayısı 1 ila 25 arasında değişen bir rakamdır .Bu sayı ne kadar artarsa limitler o kadar daralır (örnek sayısının kare kökü ile orantılı olarak) ve kontrol çizelgesi daha duyarlı hale gelir. Diğer taraftan örnek grubu alındığı sırada süreci sadece genel nedenlerin etkilemesi arzu edilir. Bu bakımdan örnekler ne kadar kısa sürede alınırsa, süreci özel nedenlerin etkilemesi riski o derecede az olur. Optimum bir çözüm olarak en çok kullanılan sayı 4 ve 5 tir. Çok süratli imalatlarda kontrol çizelgesi için bilgisayar kullanıldığı zaman bu sayı 15 ve hatta 25' e çıkabilir.

Sayılabilen karakteristiklerin kontrol çizelgelerinde örnek sayısı oldukça fazladır. Genel kural olarak alınan örneklerin en az 1 ila 5 hatalı ürün içermesi istenir. Örneğin ortalama hatalı oranı %1 olan bir süreçten alınacak örnek sayısı 100 ila 500 arasında olur.

Örnek alma sıklığının tespiti genellikle ekonomik bir konu olmaktadır. Çünkü alınan her örnek bir zaman ve emek sonuçta bir maliyet gerektirir. Bu bakımdan örnek alma aralığının geniş tutulması, bu maliyeti azaltır. Ancak özel nedenlerin zamanında yakalanması olasılığı da azalır. Bu bakımdan optimum bir sıklık deneyimlere göre tespit edilmelidir. Kural olarak limitlerin ilk tespiti aşamasında örnek alma aralığı

çok dar tutulur. Limitler tespit edildikten sonra aralık giderek genişletilir. Stabil bir süreçten örnek alma aralığı geniştir. Takım tezgahları kullanılan süreçlerde örnek alma sıklığı saatte 1 ile vardiyada veya günde 1 arasında değişmektedir.

#### **5.6.4. Ana Ortalama Değer Ve Kontrol Sınırları Veya Limitleri**

Süreç çalışırken, izlenecek karakteristik ile ilgili veriler toplanır ve kontrol çizelgesine işlenecek forma sokulur. Bu veriler bazı durumlarda örneğin çap gibi, ürünle ilgili doğrudan ölçmeler olabilir. Bazen de sürecin performansını etkileyen basınç, sıcaklık veya hız gibi bir süreç karakteristiği olabilir. Çok milli takım tezgahlarında her mili etkileyen özel nedenlerden şüphe ediliyorsa her mile ayrı bir tezgah gibi bakılır. Eğer miller arasındaki değişkenlik sadece genel nedenlerden etkileniyorsa grup kontrol çizelgesi yeterli olabilir.

Kontrol limitlerinin hesabı süreçten elde edilen verilere dayanır. Bu limitler süreci sadece genel nedenler etkilerken, beklenen en düşük ve en büyük değerleri temsil ederler. Söz konusu limitler çizelge üzerinde bir değerlendirme yapabilmek amacı ile çizilir. Dikkat edilmesi gereken bir konu, bu limitlerin bir şartname sınırı veya tolerans olmadığı, sürecin doğal değişkenlik sınırları olduğudur.

Süreçten alınan artarda veriler, kontrol limitleri ile karşılaştırılarak değişkenliğin stabil olup, olmadığı veya özel nedenlerden etkilenip, etkilenmediği saptanır. Özel nedenlere işaret eden düzensizlikler varsa, sürecin çalışması izlenerek gerekli önlemler alınır ve sonra veri toplamaya devam edilir. Genel kural olarak her çizelgenin limitleri bir önceki çizelgedeki veriler esas alınarak gerekirse tekrar hesaplanır.

Kontrol çizelgesi üretim sürecinin bir süre izlenip istatistiğinin yapılması ile geliştirilir. Bu amaçla süreçten en az 20-25 defa örnek alınması gerekir. Numune sayısı 5 ise bu durumda 100 numune alınması gerekir. Elde edilen bu numunelerin aritmetik ortalamasına ana ortalama değeri adı verilir. Hesaplanan ana ortalama değerin 3 standart ( $\sigma$ ) sapma altı ve üstü kontrol limitleri veya sınırları olarak isimlendirilir. Kontrol çizelgesinin standart sapmasının alınan örneklerden hesaplanması aşağıdaki bölümlerde kontrol çizelgesi örnekleri anlatılırken açıklanacaktır. Görüleceği gibi bunun için dağılım eğrisini çizmek gerekmez. Sadece

ana ortama değeri ve standart sapmayı bazı formüller kullanarak hesaplamak yeterlidir.

Kontrol çizelgesi üretim sürecinin zamana göre bir kalite fotoğrafını verir. Çizelgenin yatay eksenini daima saat, vardiya veya gün olarak zamanı gösterir. Düşey ekseninde ise ya ölçü değeri ya da hata oranı hatalı sayısı gibi niteliksel özellikler belirtilir. Çizelgeyi analiz ederek süreç değişkenliği hakkında bir tahminde bulunmak mümkündür. Söz konusu çizelgeler hem takım tezgahları üretim yapılan imalatla hem kimya ve petrol sanayinde geniş ölçüde kullanılmaktadır.

### **5.6.5 Kontrol Çizelgesinin Kuralları Ve Çizelgenin Analizi**

Kontrol çizelgesinin analiz edilmesi büyük ölçüde dağılım eğrisinin daha önce açıklanan özelliklerine dayanır. Kontrol çizelgesini oluşturan noktaların yorumunda anormallik olarak kabul edilen bazı kurallar aşağıda açıklanmıştır. Söz konusu anormalliklerin meydana gelmesi olasılığı istatistik olarak binde bir veya daha azdır. Bu da çok küçük bir olasılık olduğundan süreç istatistik olarak kontrol dışına çıkmış olarak kabul edilir. Bu durum stabilite dışına çıkma olarak da isimlendirilmektedir.

- 1) Kontrol çizelgesinde alt ve üst kontrol limitleri dışında bir veya daha fazla nokta olması kuralı. Böyle bir veya daha fazla nokta sürecin özel nedenlerden etkilendiğinin en açık göstergesi olarak kabul edilir
- 2) Kontrol çizelgesi üzerindeki tüm noktaların yaklaşık üçte ikisinin limitler arasındaki açıklığın ortadaki üçte birlik bölüme dağılması kuralı. Bu kural dağılım eğrisinin ekseninden itibaren simetrik olarak bir standart sapma mesafede ürünlerin %34 ünün yani toplamda %68'nin bulunması gerektiğinden çıkarılmıştır. Ancak pratikte elle doldurulan çizelgelerde uygulanması güç olduğundan sadece (İSK) için hazırlanmış bilgisayar programlarında kullanılmaktadır. Elle doldurulan çizelgelerde göz ardı edilmektedir.
- 3) İki standart sapma mesafede birbirini izleyen iki noktanın bulunması kuralı. Bilindiği gibi iki standart sapma dışında ürün bulunması olasılığı her iki tarafta toplam %4 veya 1/25 tir. İstatistik matematiğine göre birbiri ardına iki noktanın 2( $\sigma$ ) dışına çıkması olasılığı  $1/25 \times 1/25 = 1/625$  dür bu ise bir ürünün 3( $\sigma$ ) sınırı dışına çıkması gibi düşük bir olasılıktır. Bu kural özellikle ileride açıklanacak olan bireysel

kontrol çizelgelerinde kullanılmaktadır. Bireysel çizelgede numune sayısı bir olduğu için çizelge genelde süreç bozulmalarına karşı fazla duyarlı değildir Bu bakımdan  $2(\sigma)$  limiti uyarı limiti olarak kullanılmaktadır Ortalamalar kontrol çizelgeleri için böyle ikinci bir limit çizmek ve izlemek kullanışlı değildir

4) Ortalamanın altıda veya üstünde birbirini izleyen yedi noktanın veya ürünün bulunması kuralı. Bu durum süreç ortalamasında değişkenliğinde önemli bir kaymanın olduğunun göstergesidir ve olay muhtemelen söz konusu yedi noktanın ilkinde yakın olarak başlamıştır.

5) Artarda yedi noktanın aşağı veya yukarı doğru bir meyil izlemesi kuralı. Bu durum da yukarıdaki kurala benzer olarak süreç ortalamasında veya değişkenliğinde önemli kaymanın olduğunu belirtir

Bu genel kurallara ek olarak bazı kitaplarda belirtilen ilave kurallar şunlardır:

- Artarda 11 noktadan 10 tanesinin ana ortalama hattının bir tarafında olması kuralı
- Artarda 14 noktanın en az 12 tanesinin ortalamanın bir tarafında olması kuralı.
- Artarda 17 noktanın en az 14 tanesinin ortalamanın bir tarafında olması kuralı.
- Artarda 20 noktanın en az 17 tanesinin ortalamanın bir tarafında olması kuralı.
- Artarda 5 noktanın 4 tanesinin bir standart sapma ( $\sigma$ ) dışında bulunması kuralı.
- Artarda 15 notanın bir standart sapma ( $\sigma$ ) içinde bulunması kuralı

Bütün bu durumlara sürecin istatistik kontrol dışına çıktığına veya stabilitenin bozulduğuna hükmedilir.

#### **5.6.6. Kontrol çizelgesi tipleri**

Sanayide çok sayıda ve çeşitte kontrol çizelgesi kullanılmaktadır. Çizelgelerin en çok kullanılan tiplerinden örnekler ilerdeki bölümlerde açıklanacaktır. Ancak çizelgeleri iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bu iki grup içindeki çeşitli tipler aşağıda listelenmiştir

#### **5.6.6.1. Ölçülebilen Karakteristikler İçin Kontrol Çizelgeleri**

Ölçülebilen karakteristik ağırlık, uzunluk, sertlik vs. gibi ölçülebilen özelliktir. Bu amaçla kullanılan ve ilerdeki bölümlerde örnekleri verilecek başlıca kontrol çizelgeleri şunlardır:

$\bar{X}_{ort.}$ -R Ortalama değer ve aralık kontrol çizelgesi

$\bar{X}_{ortanca}$ -R Ortanca değer ve aralık kontrol çizelgesi

$\bar{X}_{ort.}$ -S Ortalama değer ve standart sapma kontrol çizelgeleri

X-R Bireysel değer ve aralık kontrol çizelgesi

Bu ana tiplere ek olarak ölçülebilen karakteristikler için imalat sanayinde kullanılan özel kontrol çizelgesi tipleri şunlardır:

Hareketli ortalamalar ve hareketli aralık için kontrol çizelgesi.

Parti değişkenlik çizelgeleri

Sık, sık ayarlanan süreçler

#### **5.6.6.2. Sayılabilen Veya Niteliksel Karakteristikler İçin Kontrol Çizelgeleri**

Sayılabilen veya niteliksel karakteristikler için kontrol çizelgeleri, ürünlerin “uygun, uygun değil” şeklinde ayrıldığı veya hatalarının sayıldığı durumlar için kullanılan kontrol çizelgeleridir. Bu amaçla kullanılan kontrol çizelgeleri dört gruba ayrılırlar:

(p) Çizelgesi veya hatalı oranı çizelgesi

(np) Çizelgesi veya hatalı sayısı kontrol çizelgesi

(u) Çizelgesi veya hata oranı kontrol çizelgesi

(c ) Çizelgesi veya hata sayısı kontrol çizelgesi

#### **5.6.7. Kontrol çizelgesinin sağlayacağı yararlar**

Daha önce de deyinildiği gibi kontrol çizelgesinin bir çok yararı şu şekilde sıralanabilir:

- Süreç performansının tartışılmasında kullanılan ortak bir dil sağlayarak iletişimi kolaylaştırır: Örneğin sürecin kontrol dışına çıkışı veya stabilitenin bozulması çizelgeyi gören veya inceleyen her ilgili tarafından fark edilebilir. Fazla konuşma ve açıklama gereksizdir. Bazı üretim tezgahlarında bu durumu atölye içinde duyurmak için tezgaha renkli bir plaka iliştilirilebilir. Böylece atölye yöneticisinin, varsa tezgah ayarlayıcısının, bakım elemanın, kalite yöneticisinin ve diğer ilgililerin durumdan anında haberdar olmaları sağlanabilir.

- Operatörlere süreçte her şeyin yolunda gittiğini kontrol etme olanağını vererek öz-kontrol durumu sağlamağa katkı yapar: Bir operatörün öz-kontrol durumunda olması için daha önce de bahsedildiği gibi operatöre şunlar sağlamalıdır:

- Kendisinden ne yapması beklendiğini bilmesi olanağı. Örneğin sınırları belirtilmiş kontrol - çizelgesi, teknik resim, şartname, numune parça vs. gibi vasıtalar bu şartı sağlar.
- Ne yaptığını bilme olanağı. Ölçü aletleri, masterlar ve kontrol çizelgesi operatöre yaptığı işin kalitesini izleme olanağı sağlar.
- Bir sorun halinde ne yapması gerektiği hakkında vasıta. Örneğin bozulan ayarı bizzat düzeltmek, ayarcıyı yardıma çağırmak, yöneticiye haber vermek bu vasıtalar içinde kabul edilir.

Eğer bunlar sağlanmazsa operatörün öz-kontrol durumunda olduğu söylenemez ve herhangi bir yetersizlik halinde sorumlu tutulamaz.

- Kontrol çizelgeleri özel ve genel bozulma nedenlerinin tespit edilebilmesi olanağını sağlayarak, hangi sorunların çalışanlar tarafından ve hangilerinin yönetim tarafından çözüleceğini gösterir. Yönetim tarafından çözümlenebilecek sorunlar genellikle bir yatırım gerektirir. Söz konusu yatırım kararına yönetimi ikna etme açısından güçlü bir vasıta

- Bir süreç istatistik kontrol durumunda iken performansı ve kalite seviyesi tutarlı ve ön görülebilir bir durumdadır. Kontrol çizelgesinin devamlı ve sürekli kullanılması değişkenliği ve hata seviyesini daha da azaltarak sürecin verimliliğinin artışında önemli rol oynar.

- Kontrol çizelgesinin limitleri sürecin doğal değişkenlik sınırlarıdır. Söz konusu sınırların toleranslar ile karşılaştırılması ilerdeki bölümlerde geniş olarak açıklandığı gibi sürecin yeterliliği hakkında karar verilmesini sağlar.
- Kontrol çizelgeleri ayarlanan orta değerde ve değişkenlikte meydana gelen farklılıkları belirtebilme özelliğine sahiptir. Çizelge ile süreçte istatistik kontrol durumu sağlandıktan sonra, daha uyumlu çıktılar elde etmek gibi sürecin iyileştirilmesi ile ilgili hedefler için de kullanılırlar.
- Kontrol çizelgesi süreç performansı hakkında bilgi veren kalıcı bir belgedir. Süreç performansındaki farklılıklar daha önceki kontrol çizelgeleri incelenerek değerlendirilir.

## 6.ALTı SIGMA ORGANIZASYON YAPISI

Son birkaç yıldır, Altı Sigma büyük ve küçük organizasyonlarda, baskın bir yönetim felsefesi haline gelmiştir. Altı Sigma yönetim felsefesindeki fark edilebilir bir değişiklik ise, daha önceki kalite metodolojileri ve taktikleri için gösterilen çabalarla, yönetimin gerçek katılımıdır. Takımın rolleri ve sorumlulukları, icra yönetiminin rolü ve proje takımının başarısını kesinleştirmekle başlar

Takım yaratırken çeşitli problemler çıkabilir. En tercih edileni takım içinde problem çıkmamasıdır ama bununla birlikte bazı hareketler takımda huzursuzluk çıkmasına, enerjinin problem çözümü için değil, takımın huzurunu sağlamak için harcanmasına sebep olur. Aşağıda, Altı Sigma Takım Dinamiği yaratırken kaçınılması gereken tehlikeler belirtilmiştir:

Takımın her çalışmasına şampiyonun katılmaması

Toplantılarda her şeyin yazılmaması

Altı Sigma Takımlarında tanınma ve ödüllendimeyi açıklama ve resmileştirme eksikliği

"ikna edilmiş" direnenlerin potansiyelinin yok sayılması

En iyi ve en zekiye görevlendirmeme

Altı Sigma topladılarında ckip bildirisini kullanmamak

Karakter farklılıklarını ortadan kaldırmak için kolaylaştırıcı liderlik

Takımda fikirlere direnenleri takımdan çok çabuk ayırmak

Altı Sigma takımlarından her türlü organizasyonel problemlerin çözümünü beklemek

Olaylara çok fazla müdahale etmek

Takımda oluşabilecek tehlikeleri sıraladıktan sonra, bu tehlikeleri engellemek için gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Bir Altı Sigma projesinde takım elemanları;

Üst kalite konseyi, yönetim temsilcisi, kalite şampiyonu (sponsor), uzman kara kuşak, kara kuşak, yeşil kuşak, sarı kuşak ve finans temsilcisinden oluşur. Aşağıda bu rollerin görev tanımları ve sorumlulukları belirtilmiştir.

### 6.1 Üst Kalite Konseyi

Altı Sigma projeleri orta düzeyde yer alan uzman kara kuşaklar ve kara kuşaklar tarafından yönetilir ama üst yönetim eğer bu projelerle ilgilenmeyip, önem vermezse, hiçbir sonuç elde edilemez. Eğer Üst yönetim Altı Sigma projeleri hakkında bilgi dinmek için zaman harcamaz, bu iş için en nitelikli personelini görevlendirmez ve ihtiyaç duyulan kaynakları sağlamazsa kara kuşakların başarı şansı kalmaz. Bu yüzden, işletmelerde bir Üst Kalite Konseyi oluşturmanın büyük yararı olacaktır.

Üst Kalite Konseyinin görevleri aşağıda belirtilmiştir:

Altı Sigma girişimi bünyesindeki rolleri saptamak ve bunun altyapısını oluşturmak

Projeler seçmek ve bunlara kaynak ayırmak

Çeşitli projelerde sağlanan ilerlemeyi düzenli olarak değerlendirmek, fikir ve destek vermek. ( örneğin projelerin örtüşmesini önlemek )

Altı Sigma projelerine ( bireysel olarak ) "sponsor" sıfatıyla destek vermek.

Altı Sigma çabalarının, şirketin net karını nasıl etkilediğinin niceliksel olarak saptanmasına katkıda bulunmak.

İlerlemeleri değerlendirmek, çalışma bünyesindeki kuvvetli ve zayıf noktaları tanımlamak ( yani, rehavete düşmeye meydan vermemek )

En iyi uygulama örneklerini kuruluş çalışanlarıyla ve gerektiği durumlarda, önemli edarikçilerle ve müşterilerle paylaşmak . Ekipler, çalışmalarının önündeki engelleri bildirdiğinde, bir "buldozer" gibi hareket etmek

Alınan dersleri, şirkete özgü yönetim tarzına uyarlamak. Ayrıca, Üst Yönetim Konseyiyle Altı Sigma takımı arasında yapılan toplantılar ne kadar sık yapılırsa, ilerleme hızı ve iyileştirmelerin ardındaki enerjiyi korumak için o kadar iyi sonuç verir.

## 6.2 Yönetim Temsilcisi

Altı Sigma çabaları üst yönetimden etkili bir lider tarafından yönetilmediği sürece başarısızlık şansı yüksektir. Bu tür bir görevlendirme Altı Sigma'ya verilen önemi göstermesi ve faaliyetleri kolaylaştırması açısından önemlidir. Yönetim temsilcisi, üst yönetim adına karar verebileceği için proje çalışmaları sırasında çıkan sorunların çözümü için konsey toplantıları beklenmeyecektir. Yönetim Temsilcisinin başlıca görevlerini;

Altı Sigma eğitim planlarını hazırlamak ve eğitimin plana uygun olarak icrasını sağlamak.

Gerektiğinde Altı Sigma konusunda, eğitim kuruluşları, şirketleri ve diğer ilgili kuruluşlardan yardım almak danışmanlık.

Altı Sigma konusunda yardım isteyen kuruluşların taleplerini cevaplamak.

Proje takımların kalite seçimi ve oluşturulmasında şampiyonu/şampiyonlarına yardımcı olmak.

Belirlenen projeleri ve bu projeler için oluşturulan takımları onaylamak.

Takımların ihtiyaçlarını değerlendirmek, uygun gördüklerinden yetkisi dahilinde olanları tedarik etmek, yetkisini aşanları üst kalite konseyine teklif etmek.

Kalite şampiyonlarına her konuda destek olmak

Tüm iyileştirme projelerini takip etmek ve elde edilen sonuçları bir rapor halinde Üst Kalite Konseyine sunmak şeklinde özetleyebiliriz.

## 6.3 Kalite Şampiyonu

Kalite şampiyonu, iyileştirme projelerini Üst Kalite Konseyi adına gözlemleyen kişi/kişilerdir. Sigma takımlarını, Toplam Kalite yönetiminin Aslında Altı çemberlerinden ayıran temel fark da buradadır. Kalite Çemberlerinde iyileştirme konularının projelerin yürütülmesi tamamen çember üyelerinin seçimi ve sorumluluğundayken, Altı Sigma'da bir miktar yönlendirme söz konusudur. Ancak, bu yönlendirme takımların inisiyatiflerini ve yaratıcılıklarına zarar vermemeli, fakat işletme amaçlarına doğrudan katkı sağlamayan projelerle zaman harcamalarını önlemelidir.

Sponsorun işlevleri arasında şunlar bulunur:

Yönetimleri altındaki iyileştirme projelerinin genel hedeflerini - bunların arasında Proje gerekçesi bulunur - saptamak ve korumak ve bu hedeflerin iş öncelikleriyle uyumlu olduğundan emin olmak.

Gerektiği takdirde, bir projenin yönü ya da kapsamı konusunda yol göstermek, yapılacak değişiklikleri onaylamak.

Projeler için kaynak bulmak ve görüşmeler yapmak.

Ekibi, Üst Kalite Konseyi önünde temsil etmek ve ekibin savunuculuğunu yapmak.

Ekipler arasında ya da ekiplerle ekip - dışı kişiler arasında oluşan sorunların ve mükerrer çalışmaların ortadan kaldırılmasına yardımcı olmak.

Bir iyileştirme projesinin bitiminde, projenin sorunsuz bir biçimde, devredilmesini sağlamak için Süreç Sahipleri ile çalışmak.

Süreç İyileştirmesi konusunda kazandıkları deneyimi, kendi yönetim süreçlerinde uygulamak'

Kalite Şampiyonunun; İyileştirme Projesinin başanya ulaşması için sorumlulukları içinde en önemli olanı; proje kapsamlarını ayrıntılı biçime getirmelerinde ekiplere yardımcı olmaktır. Kalite şampiyonu ekibi Üst Kalite Konseyi önünde temsil edip ekibin savunuculuğunu yapacağından dolayı takımın attığı her adımdan haberi olmalıdır.

Takım Oluşmadan Önce Şampiyonun Sorumlulukları

- Takım Üyelerini seçmek
- Proje için iş sorunu yaratmak
- Problemin başlangıç ifadesini formüle etmek
- Projenin başlangıç olanağını belirlemek
- Projenin başlangıç amacını belirlemek
- Takımın çalışmalarını tamamlaması için kaynaklar ayarlamak
- Takım liderini (kara kuşak ya da yeşil kuşak) belirlemek
- İş sorununu her takım Üyesine açıklamak

- Çalışmaları tamamlamaları için takım Üyelerine zaman sınırını belirtmek
- Şampiyonun girdilerini için dönüm noktalarını belirtmek
- Bağımsız rakım kararlarından şampiyon girdilerine ihtiyaç olan kararları ayırmak
- Takımın Varlığı Sonrasında Şampiyonun Sorumlulukları
- Bildiriyi onaylayıp kesinleştirmek
- Bütün proje takımlarının işini gözleyip onaylamak
- Takımın başarısına engelolabilecek bariyerleri ortadan kaldırmak
- Takımın hızlını ayarlayıp, takımı iş başında tutmak
- Takımda direnenlerle anlaşmak
- İlerlemeyi Üst yönetime bildirmek
- Devam eden eğitim
- Çabaları takdir etmek,
- Proje sırasında fırsatı tekrar değerlendirmek.
- Takımın Konseyine yeni süreci (ve sonuçlarını) iletmek
- Öğrenilen derslere egemen olmak
- Yeni prosesin performansını gözlemlemek
- Takdir et, ödüllendir, ve başarı ve çabayı kutla

#### **6.4 Uzman Kara Kuşaklar**

Altı Sigma ile ilgili her konuda en üst düzeyde teknik bilgiye sahip uzmandır. Bu görev, Altı Sigma çalışanlarının başlangıcında dış kuruluşlardan kiralanan bir danışman tarafından yürütülebilir.

Uzman Kara Kuşaklar, gerçek bir danışman olduğu için, başarısını belirleyen kilit noktalardan birisi, insanların üstleneceği roller ile, proje ve süreçlerde ne dereceye, kadar doğrudan rol üstlenecekleri konularında net bir anlaşmaya varılmasını sağlamaktır. Teknik desteğe ek olarak Uzman Kara Kuşakların görevleri arasında;

- Proje Sponsoru ve Üst Kalite Konseyi ile iletişim kurmak.
- Proje için kesin bir program yapmak ve buna sadık kalmak.
- Kuruluş içindeki insanların göstereceği direnci ya da işbirliği konusundaki yetersizlikleri ortadan kaldırmak.
- Potansiyelleri tahmin etmek ve sonuçları kontrol etmek ( hatalar giderildi, giderler kısıldı vb. )
- Ekip Üyeleri arasındaki uyuşmazlıkları, zıtlıkları vb. Çözümllemek.
- Ekip çalışmaları hakkında veri toplamak ve analiz etmek.
- Ekiplere başarılarını duyunnada ve kutlamada destek olmak.

### **6.5 Kara Kuşaklar**

Kara Kuşaklar Altı Sigma iyileştirme takımının lideridir. İyileştirme projelerinin seçilmesi, yürütülmesi ve elde edilecek sonuçlardan birinci derecede sorumludur. Kara Kuşak görevini yürüten kişi tam zamanlı olarak projesiyle ilgilenir. Kara Kuşaklar Altı Sigma araçlarını etkin bir şekilde kullanarak işletme sorunlarına hızlı ve kalıcı çözümler getirebilecek nitelikte olmalıdırlar. Bunu sağlamak için Kara Kuşaklar, Uzman Kara Kuşaklar veya dış eğitim kuruluşları tarafından ortalama dört ay süren bir eğitime tabi tutulurlar; ancak eğitim bir hafta ders, Üç hafta uygulama şeklinde icra edildiğinden, ilk haftanın sonunda küçük çaplı projelere liderlik edebilirler.

Kara Kuşakların iyileştirme projeleri başta olmak üzere spesifik sorumlulukları arasında şunlar bulunur:

- Sponsor ile birlikte proje mantığını gözden geçirmek/netleştirmek.
- Proje Bildirisini ve uygulama planını oluşturmak ve güncellemek.
- Proje ekibinin üyelerini seçmek ya da seçimine yardımcı olmak.
- Kaynakları ve bilgileri tanımlamak ve araştırmak.
- Uygun Altı Sigma araçlarını saptama, ekip ve toplantı yönetim teknikleri konularında olduğu kadar, bu araçların kullanımı konusunda diğer kişilere yardımcı olmak.

- Proje programının uygulanmasını sağlamak ve nihai çözüm ve sonuçlara ulaşacak biçimde ilerlemeyi kontrol etmek.
- Departman yöneticileri ve/veya süreç Süreç Sahipleriyle birlikte çalışırken, sürmekte olan uygulamalara yeni çözümlerin ya da süreçlerin dahil edilmesini kolaylaştırmak. Nihai sonuçları belgelemek ve projeyi anlatan bir "Proje Sunuş Panosu" oluşturmak.

## **6.6 Yeşil Kuşaklar**

İyileştirme Ekibinin Üyelerine yeşil kuşak adı verilir. İyileştirme faaliyetlerini bizzat yürütürler. Yeşil Kuşakların temel ölçüm ve analiz yöntemlerini iyi derecede bilmeleri ve bilgisayar yazılımları yardımı ile analizleri çok rahat yapabilecek yeterlilikte olmaları gerekmektedir. Bunun için Yeşil Kuşaklar belirlenmesini müteakip ortalama iki hafta süre ile eğitime tabi tutulurlar. Yeşil kuşaklar projelerde yarı zamanlı olarak görev alırlar. ( Zamanlarının - %50'sini projeye verirler ). Altı sigma metodolojisini günlük hayata geçiren Yeşil Kuşaklar, mini projelerde sorumluluk alırlar.

## **6.7 Sarı Kuşaklar**

Sarı kuşaklar, çalışanların tamamıdır. Sarı kuşaklara Altı Sigma tanıtım eğitimi verilir. Sürekli gelişime katkıda bulunan sarı kuşaklar, uygun durumlarda: projelere katılır.

## **6.8 Finans Temsilcileri**

Finans temsilcileri, projenin maliyetinin ve getirilerinin nasıl hesaplanacağına karar verir, projenin faydalarını denetler. Finans temsilcileri, proje takımından bağımsız olmalıdır.

## **7. ALTI SIGMA UYGULAYAN FIRMALAR**

### **7.1.1 Borusan ve Altı Sigma**

Altı Sigma, 2002 yılı başında Borusan Makina ve Borusan Güç Sistemleri'nden başlayarak kısa bir süre içerisinde tüm grup şirketlerinde uygulanmaya başladı.

Borusan Holding, bu yaklaşımı, herhangi bir kalite uygulaması olarak değil, bütünsel bir yönetim modeli olarak algılıyor. 2002 Mart ayında grubun 150 yöneticisine 2 günlük Altı Sigma yönetici eğitimi verildi. Nisan 2002'de, program yönetim ofisi kurularak faaliyete geçti.

Mayıs 2002'de de birinci dalga siyah kuşaklar projelere atanmaya başladı. Birinci dalga projeler başarıyla tamamlanınca yeni projeler üstlenildi. Aralık 2002'de ikinci dalga eğitimler başladı, Mart 2003' de de üçüncü kuşak eğitimler başlayacaktır.

Şu anda grup genelinde 32 kara kuşak vardır. Altı Sigma topluluğu Nisan 2003 itibariyle 375 kişiden oluşmaktadır. Bu sayı grup içerisinde toplam çalışan oranının %10'unudur.

Borusan şirketlerinin hepsinde "Altı Sigma" uyguladıklarını belirten Borusan Holding Altı Sigma Kurumsal Yayılım Koordinatörü Sinan Yüksel, grup şirketlerinin tamamında "Altı Sigma" uyguladıklarını söylüyor. Yükeb, yürüttükleri uygulamalar hakkında:

"Altı Sigma metodolojisi 10 kritik başarı faktörü temelinde, dört ana gruptan oluşan bir yayılım programı mimarisi üzerine kurulu. Dört ana grubu 'Strateji ve Yapısal', Sigma'Proje Metodolojileri', 'Altyapıya Destek' ile 'Veri Sistemleri ve Stratejinin Entegrasyonu' oluşturuyor. Tüm mimarinin başarısının güvencesi ise hepsinin üstünde yer alan 'Adanmış Liderlik'" olduğunu belirtiyor.

Bir bütün olarak ele alındığında bu mimari, tüm Borusan şirketlerinin büyük bir kararlılıkla benimsediği kültüre} değişimi ifade ediyor. Örnek vermek gerekirse, stratejik uyum çerçevesinde 2007 yılını hedefleyen 5 yıllık bir stratejik plan oluşturulmuş. Bu stratejik plan çerçevesinde yıllık iş planları hazırlanıyor. Sonuçta,

bütün yayılım programı gerçekleştiğinde, her bir Borusan çalışanının iş yapma biçimi ve kültürü değişime uğramış olacağı düşünüyor.

#### **7.1.2. Borusan Holding Altı Sigma'yı Seçme Nedeni.**

Artan rekabet karşısında ve belirlenen zorlayıcı hedefleri gerçekleştirmek için değişimin şart olduğunu düşünerek "yarın bugünkü gibi olmamalıyız, konfor alanlarımızı terk etmeliyiz" söyleminden yola çıkarak Altı Sigma Metodolojisi kullanılmaya başlanmıştır. Altı Sigma'nın GE, Motorola, Allied Signal ve Caterpillar gibi firmalarda başarı sağlamış ve kanıtlanmış olması seçimde bir diğer faktör olmuştur.

Borusan'a göre, Altı Sigma EFQM'i tamamlayıcı roloynamakta ve TKY ile daha önceden oluşturulan altyapıyı temel almaktadır. Caterpillar distribütörleri içinde öncü rol üstlenmekte olan Borusan Makina da "bir adım önce olmak" vizyonunun başlangıcı olarak Altı Sigma uygulamalarını başlattı.

Borusan'ın vizyonu müşteri, organizasyon ve çalışanlar temeli üzerine kurulmuştur. Müşterilerin sesini dinleyerek onlardan gelenleri paylaşarak güvenilir iş ortağı olmak amaçlanmaktadır. Organizasyon verilere dayalı kararlarla yönetilerek, mevcut performans geliştirilir ve tüm faaliyetler yapılan işlerle ilişkilendirilerek, işin yeni olanaklar ve mevcut kanallarla büyütülmek istenmektedir. Çalışanların gelişimi, birbirini desteklemeleri ve teşvik ederek en iyi olabilmek amacıyla konfor alanlarının sürekli sorgulaması yapılmaktadır.

#### **7.1.3 Borusan Holding Altı Sigma Organizasyonu**

Altı Sigma başarısını uzun vadede sürdürebilmek için Borusan organizasyonun tam amanlı adanmışlığı ile her kademede çalışanların güçlü iş birliği ve koordinasyonunu sağlamak için Altı Sigma organizasyon geneline yayılmıştır.

Altı Sigma organizasyonu üst yöneticiler ve şirket genel müdürlerinden başlamaktadır.

Yayılım şampiyonları değişimi kolaylaştırırlar. Yarı zamanlı çalışırlar. İş yayılım planını yaratarak yön belirler. Proje sponsorları projenin sahibidir. Alanlarındaki projelerin tespit edilmesine ve önceliklerin belirlenmesine liderlik ederler: Sonuçları uygularlar. Süreç sahipleri siyah kuşakları ve proje sponsorlarını desteklerler.

Kazançları sürdürmek ve yükseltmekle görevlidirler. Çözümleri uygularlar. Yeşil kuşaklar proje ekiplerinde yer alırlar ve bu projelerde yarı zamanlı çalışırlar.

Usta kuşaklar siyah kuşakları ve yeşil kuşakları eğitirler ve koçluk yaparlar. Tam zamanlı çalışırlar. Siyah kuşaklar da tam zamanlı çalışırlar. Problem çözmeyi kolaylaştırırlar. Proje gruplarını, yeşil kuşakları eğitir ve koçluk ederler. Finans temsilcisi de projelerin getirilerinin hesaplanmasından ve doğrulanmasından sorumludur.

Kurumsal düzeyde yıllık strateji inceleme ve planlama, şirket düzeyinde aylık veya Üç aylık Altı Sigma planlamaları, proje düzeyinde ise 14 günlük uygulama planları yapılır.

#### **7.1.4. Borusan Holding'in Altı Sigma Kazançları**

Siyah kuşaklar tarafından süreç sahiplerine devredilen ve devam eden toplam 56 projede vergi sonrası kar olarak 12 milyon \$ kazanç elde edileceği belirtiliyor. Bu miktarın %57'si gider azaltmayı hedefleyen projelerden, %37'si ise gelir arttırmayı hedefleyen projelerden sağlanmaktadır. %6'sında ise hem gelir arttırılması hem de gider azaltılması amaçlanmaktadır.

#### **7.1.5 Borusan Holding'in Altı Sigma Tecrübeleri**

AltıSigma projelerinin başarısı için liderlerin adanmışlığı gerekmektedir. Stratejilerin belli olması ve çalışanlarla paylaşımın gerekliliği öğrenilmiştir. Bu yüzden Altı Sigma program yönetim altyapısının gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Altı Sigma ile ilgili hedeflerin ve performans göstergelerinin tanımlanması öğrenilmiş, proje takip alt yapısı sağlanmıştır. Ekip çalışmasının önemi fark edilmiştir.

Projelerin başarıya ulaşması için yeşil kuşak eğitimini önemi vurgulanmaktadır. İyi donatılmış personellerle projeler daha büyük başarılarla ulaşmaktadır.

Bilgilendirme toplantıları ,ve iletişimin önemi ortaya çıkmıştır. İletişimi sağlamak için değerlendirme toplantıları belirli aralıklarla tekrar edilmektedir. Projelerin durum raporlaması ve geçiş toplantıları Altı Sigma'nın uygulamalarının başarısı için önem taşımaktadır.

## **7.2 Arçelik A.Ş.'de Altı Sigma Çalışmaları**

### **7.2.1 Arçelik A.Ş. Tanıtımı**

Arçelik 1955 yılında kurulmuştur. Koç Topluluğu'nun Dayanıklı Tüketim Grubu altında faaliyet gösteren Arçelik A.Ş. 'nin ana faaliyet konusu ev yaşamına yönelik dayanıklı tüketim malları ve komponentleri üretimi, pazarlama ve satış sonrası servis hizmetleridir.

Arçelik 961 Milyon \$ ciro ile Avrupa'nın ilk on beyaz eşya üreticisinden birisidir. İstanbul Sanayi Odası tarafından yapılan Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu araştırmasında, son 16 yılda 13 defa özel sektör birincisi olarak seçilmiştir.

Ürün Gamı Temel Beyaz Eşya (Buzdolabı, Derin dondurucu, Çamaşır ve kurutma makinesi, Bulaşık makinesi, Fırın, Mini ve midi fırın; mikrodalga fırın, set üstü ocak ve aspiratör), Isıtma-Havalandırma- Klima (Klima, termosifon, şofben, ısıtıcılar), Ankastre Ürünler (Buzdolabı, Bulaşık makinesi, fırın, ocak, aspiratör, davlumbaz, küçük ev aletleri, elektrikli süpürge, elektrikli mutfak aletleri, ütü, vantilatör, elektrikli kişisel bakım aletleri) ve Elektronik (Televizyon, Video, DVD, Oto müzik sistemi, uydu sistemi, müzik seti, müzik seti kabini, taşınabilir müzik seti, televizyon sehpası, faks, telefon, bilgisayar ve sehpası), Komponentler (Kompresör, Çok amaçlı motor, Motor-Pompa) ve Hazır Mutfak şeklindedir.

Beş şehirde, yedi işletme ile ulaşılan; yılda 6 milyon adet beyaz eşya ve 8.2 milyon adet komponent üretim kapasitesine sahiptir. Yurtiçi Pazar beyaz eşyada, %50'ye ulaşan pazar payına sahiptir.

### **7.2.2 Arçelik ve Altı Sigma**

Özellikle kendi teknolojisini yaratarak önemli bir aşama kaydeden Arçelik, Altı Sigma'dan önemli yararlar sağladı.

Arçelik, Altı Sigma için profesyonel bir danışmanlık şirketinden uzmanlık desteği aldı. Arçelik'te 1998 yılı sonuna Altı Sigma uygulamaları sadece üretim süreçlerinde özel organizasyonlar ile başlamıştır. 1998 yılının ikinci yarısında işletmelerinde' önemli pozisyonlardaki yöneticilere Altı Sigma Bilinçlendirme Eğitimleri verilmeye başlandı. Bir yandan da Altı Sigma eğitimi alan, diğer yandan da öğrendiklerini projesinde uygulayacak 'kara kuşaklar' yetiştirildi. 2001 yılına kadar bu yapı korunmuş 2003'te şirket Üst yönetimi Altı Sigma'nın sadece Üretim birimlerinde

değil, pazarlama, satış ve finans gibi. diğer tüm süreçlere de yaygınlaştırılması kararını aldı.

Bu nedenle üst yönetime direkt raporlayan Altı Sigma yöneticiliği ve ona entegre şirket çapına yayılan bir Altı Sigma Organizasyonu kuruldu. Şu anda ISO'ye yakın Arçelik çalışanı 'kara kuşak' eğitimi olarak Altı Sigma projelerini yönetecek ve yönlendirecek düzeye ulaşmış durumda.

### **7.2.3 Arçelik'in Altı Sigma'yı Seçme Nedeni**

Arçelik Kalite Sistemleri Yöneticisi Bahadır Akın Altı Sigma'yı tercih nedenlerini ve ulaşılan başarıyı şöyle anlatıyor:

"Bu, metodoloji, ürün ve hizmetleri ortaya çıkaran süreçlerin, kalitesini sıçrama yaratacak derecede iyileştiriyor. Ayrıca, Altı Sigma Kalite Seviyesi olarak nitelenen sınıfının en iyileri' ile kıyaslama olanağı veriyor.. Altı Sigma. düzeyindeki bir sürecin, bir milyon üründe veya hizmette sadece üç adet hatalı ürün veya hizmet üretme yeteneğine sahip olması anlamına geliyor" .

Arçelik'te Altı Sigma felsefesinin ana unsurlarını; liderlik, yaratıcılık, şirket içi iletişim, yapılan her işte hız ve mükemmellik, müşteri merkezli düşünce oluşturmaktadır.

Arçelik mükemmellik seviyesine ulaşmak amacıyla Altı Sigma uygulamalarına başlamış ve mükemmellik modeli çerçevesinde koyduğu hedeflere ulaşma aracı olarak Altı Sigma metodolojisini kendisine rehber edinmiştir.

Arçelik'in mükemmellik anlayışını ortaya koyan model aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Arçelik bu modeldeki temel kavramları sağlamada Altı Sigma'nın kritik gördüğü başarı faktörlerinin paralellik gösterdiğini düşünerek Altı Sigma ile mükemmellik hedefine ulaşmaya çalışmaktadır.

### **7.2.4 Arçelik Mükemmellik Anlayışı Çevrimi**

Sonuçlara yönlendirmeyi de Altı Sigma sonuçlara odaklanmış görünür işlerle sağlamaktadır.. Sonuçlar belirli ölçüt ve göstergelerle değerlendirilir, kıyaslanır. Hedefler zorlayıcıdır. Çalışanların arasından en iyileri seçilerek kara kuşak eğitimleri ile çalışanların geliştirilmesi ve katılımı sağlanır. Altı Sigma metodolojisi ile müşteri gereksinimleri ve beklentileri karşılanır. Ortaya koyduğu süreç yönetimi, deney

tasarımı ve istatistiksel proses kontrol gibi araçlarla sistematik yaklaşım sayesinde sürekli öğrenme, iyileştirme ve yeniliğe olanak sağlar ve süreçler ve verilerle yönetimi mümkün kılar. Böylece iş yapma politikası tüm şirkete yayılır.

Altı Sigmanın ortaya koyduğu stratejilerle bütünleşik projeler ve yönetimin kesin istek ve kararlılığı mükemmellik modelindeki liderlik ve amacın tutarlılığı kavramıyla örtüşmektedir.

Arçelik'te, Altı Sigma projeleri içsel süreçlerin kalite, verimlilik ve hız açısından iyileşmelerini sağlarken aynı zamanda müşterilere daha düşük maliyetli ve daha fazla katma değer içeren ürün, ve hizmetlerin sunulması yönünde odaklanmaktadır.

#### **7.2.5 Arçelik A.Ş. Altı Sigma Organizasyonu**

Arçelik'teki Altı Sigma organizasyonunun entegrasyonu aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere şirket seviyesi ve fonksiyonel seviyelerde belirlenmiştir. Bu anlamda Arçelik'in Altı Sigma organizasyonu olma yolunda ilerlediğini, süreçlerin Altı Sigma bakış açısıyla ele alınma konusunda şirket genelinde hızlı yayılımın söz konusu olduğu görülmektedir.

Üst Yönetim: Altı Sigma Yöneticisi, Finansman ve Mali işler'den sorumlu Genel Müdür Yardımcısı' na bağlı çalışmaktadır. Kara kuşak eğitimleri Altı Sigma yöneticisi tarafından takvimlendirilir. Altı Sigma yöneticisi insan Kaynakları ile eşgüdümlü çalışmaktadır. Üst yönetim tarafından belirlenen hedefler doğrultusunda proje seçimleri Altı Sigma yöneticisi ve uzman kara kuşaklar tarafından gerçekleştirilir.

Fonksiyonel seviyede projeler uzman kara kuşaklar gözetiminde kara kuşak ve yeşil kuşaklar tarafından gerçekleştirilir.

150'ye yakın Arçelik çalışanı kara kuşak eğitimi alarak Altı Sigma projelerini yönetecek ve yönlendirecek düzeye ulaşmıştır. Kara kuşak eğitimleri şirket bünyesinde bulunan uzman kara kuşaklar tarafından verilmektedir. Proje konularının belirlenmesi ve kaynak sağlanması ise şampiyonların sorumluluğundadır.

Altı Sigma ile süreçler iyileştirilerek, fonksiyonlar arası entegrasyon sağlanarak ve çalışanların gelişimi desteklenerek davranışsal değişimler' ile karmaşıklığın ve değişkenliğin azaltılması sayesinde kalıcı sonuçlar elde edilmektedir. Davranışsal değişiklik, problem çözme yaklaşımlarında alışlagelmiş yöntemlerden farklı olarak

istatistiksel düşÜncenin önemi dikkate alınarak sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar çıktı artışı, maliyetlerde azalma, çevrim süresinde düşüş ve değişkenlikte azalmadır.

Arçelik'te Altı Sigma projeleri şirket ana hedef ve stratejileri doğrultusunda gerçekleştirilir. Süreç iyileştirme projeleri olarak değerlendirilen Altı Sigma projeleri başarı ile tamamlandıktan sonra kalite güvence sistemleri ile bütünleştirilerek günlük işler haline getirilerek iyileştirme sağlanmaya çalışılmaktadır.

Proje seçim yaklaşımı olarak beyin fırtınası (SWOT, Özdeğerlendirme),kalite maliyet analizi,  $Y=F(x)$  süreç analizi, süreç yönetimi ve gösterge tablosu ve müşterinin sesi yöntemleri kullanılmaktadır.

#### **7.2.6 Arçelik A.Ş.'nin Altı Sigma Kazançları**

Arçelik'te TÖAİK adımları ile iyileştirilen süreçler 3 sigma seviyelerinden 4 sigma seviyelerine çekilmiş olup, bu değişikliğin tüm şirket geneline yayılması durumunda cironun % 10 değeri kadar getiri sağlanacağı düşünülmektedir. Günümüze kadar tamamlanan 100'ün üzerinde Altı Sigma projesinden 15 milyon \$'dan fazla net kazanç sağlanmıştır.

#### **7.2.7 Arçelik A.Ş.'nin Altı Sigma Tecrübeleri**

Arçelik Altı Sigma deneyimicrinde başarı için üst yönetimin kararlılığı ve desteğinin gerekliliği gerçeğini görmüştür. Bu yüzden Altı Sigma çalışmaları için ayrı bir bölüm oluşturulmuş, şirket genelinde tam zamanlı uzman kara kuşak ve kara kuşak sayısının artırılmasına çalışılmaktadır. Uzman karakuşak ve kara kuşak eğitimi alacak kişiler çalışanların en iyileri arasından seçilmektedir. Altı Sigma kara kuşak eğitimleri çalışanların kariyer planlarının önemli bir parçası olarak görülmektedir.

Sürekliliğin sağlanması için program bileşenlerinin organizasyon tarafından içselleştirilmesi gerektiği düşüncesinden yola çıkarak "stratejik yönetim", "süreç yönetimi" ve "proje yönetimi" gibi konularda gerekli altyapının oluşturulmasına çalışılmaktadır.

Bu nedenle projeler doğru tanımlanmış stratejilerle ilişkilendirilmektedir. Tasarımda Altı Sigma ve KFY ile müşterinin sesinin süreçlere katılması sağlanarak Altı Sigma'nın önleyici yaklaşımı ve müşteri odaklılığı vurgulanmaktadır.

Arçelik'te Altı Sigma proje getirileri Mali İşler Bölümü tarafından onaylanır. Böylece getirilerin somutlaştırılması sağlanmakta ve proje sonuçlarının adil bir şekilde takdir edilmesi ön ayak olunmaktadır.

### **7.3 Tusaş Motor Sanayi A.Ş.'de Altı Sigma Çalışmaları**

#### **7.3.1 TEI ve Altı Sigma**

Askeri ve ticari havacılık sanayinde, uluslararası kalitesi, standardı, rekabet gücü, modern üretim teknikleri ve çağdaş yönetim ve çağdaş yönetim anlayışıyla bir dünya üreticisi olarak kendisini kanıtlayan Tusaş Motor Sanayi A.Ş.(TEI) 1985 yılında kurulmuş anonim şirkettir. TSK güçlendirme vakfının payı %3'tür. Şirketin hissedarları arasında Türk Uçak Sanayi A.Ş. ve General Electric şirketleri vardır.

Ana faaliyetleri içerisinde Motor montaj ve Test (F16, Awacs, Cougar helikopter..), parça imalatı, müşteri destek hizmetleri mevcuttur.

Türkiye'de ilk kez 1995'de TEI "Altı Sigma" metodolojisini uygulamaya koydu. Altı Sigma uygulamaları öncesinde, TEI önce istatistik konusunda güçlü bir altyapı oluşturmuştur. Yoğun eğitim programlarından sonra 1996 yılının başında ilk projelere başlanmıştır. Üretimden başlamak üzere TEI hemen hemen tüm süreçlerde yaygın şekilde Altı Sigma metodolojisini kullanmıştır. 1999 yılının son çeyreğinde Work-Out, Altı Sigma uygulamalarını kolaylaştırmak ve değer katmayan adımları ortadan kaldırmak için yeniden kullanılmaya başlanmıştır. Yıllar içerisinde kazanılan birikimler neticesinde TEI de bugün kullanılan Altı Sigma uygulama stratejileri geliştirilmiştir

TEI Altı Sigma stratejisi dört ana temel üzerinde durmaktadır:

- Müşteri tatmini
- Paydaşların istek ve beklentileri (iş sonuçları)
- Çalışanlar
- Çevrenin beklentileri ve şirketin sorumlulukları

Bu ana stratejik hedeflere ulaşmak için ölçümler yapılır. Müşteri tatminine yönelik olarak kalite, fiyat, zamanında teslimat performansı, müşteri beklentiler, müşteri şikayetleri ve müşteri inisiyatiflerine uyum, ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

Paydaşlara yönelik olarak ise envanter maliyeti, karlılık, maliyetin azaltılması, kalitesizlik maliyetinin azaltılması, çevrim zamanının azaltılması ve önleyici bakıma yönelik ölçümler yapılır. Çevre sağlığı ve güvenliği, işçi sağlığı ve güvenliği ve motivasyon ölçümleri çalışanlar ve çevreye yönelik ölçümlerdir.

### **7.3.2 TEI'nin Altı Sigma'yı Seçme Nedeni?**

TEI'ye göre yüksek rekabet şartlarında hayatta kalabilmek için büyümek ve gelişmek gerekmektedir. Müşteri tatmini arttırmak için daha hızlı, daha kaliteli ve daha ucuz ürünler üretilmelidir. Bu da müşteri tatmini ve üretimin etkileşiminin geliştirilmesi ile mümkündür.

Rekabet üstünlüğünü sağlamak için müşteri, paydaş ve çalışan mutluluğu sürekli geliştirmelidir. Bu gelişim sayılarla ifade edilebilen bilginin işlenmesi ile mümkündür. Süreç kabiliyetleri farklı süreçlerin karşılaştırılması, hesaplanması ile ortaya çıkar. Sonucu bilinen ve hızlı süreçler kabiliyetli süreçlerdir. Operasyonel mükemmellik süreçlerin geliştirilmesi ile mümkündür.

Operasyonel mükemmelliğe ulaşmak için TEI süreçlerini kararlı ve değişkenliği az hale getirmeye, kalitesizlik maliyetlerini sıfırlamaya, yalın işleyiş yapısına sahip hızlı ve esnek süreçlere sahip olmaya ve hatasız ve çalışan ürün ve hizmetler üretmeye yönelerek ulaşmaya çalışır. Bu yönelimleri gerçekleştirmek için Altı Sigma kullanılması şart olan bir rehberdir.

### **7.3.3 TEI Altı Sigma Organizasyonu**

TEI' de Altı Sigma stratejisi yürütme kurulu tarafından belirlenir. Her yılın başında belirlenen hedefler çerçevesinde geçen yılın performansı, müşteri beklentileri, pazar durumu, çalışanların tatmini ve şirketin vizyonuna dayalı iş öncelikleri tespit edilir ve sayısal hedefler konulur.

2002 yılı için altı iş önceliği seçilmiştir; kalite, üretim inisiyatifleri, tasarım, masraflar, satın alma, dijitalleşme ve üretim dışı faaliyetlerde verimlilik gibi sayısallaştırılan hedefler izlenebilir bağımlı Y değişkenleri olarak tanımlamıştır. Yürütme Takımı Altı Sigma faaliyetlerini belirlenen iş önceliklerine uygun olarak yönlendirir. Her iş önceliğine o konuya en yakın yöneticiler iş önceliği sahibi olarak atanır. Projeler iş sonuç göstergelerine dayandırılır. Ürün kalitesi, proses kabiliyeti, ürün maliyeti, kayıp saatleri, uygunsuzluklar, iç ve dış denetimler ve masraflar ile,

ilgili periyodik raporlar ve müşteri şikayetleri ile sevkıyat performans raporları proje konuları için esas kaynaklardır.

TEI de bugün Altı Sigma ve Work-Out ve hata önleme (error proof), problemlere çözüm bulma veya proses geliştirmede temel araç olarak kullanılmaktadır. TEI'nin Altı Sigma felsefesi, müşteri ve paydaşlarının beklentilerini en kısa sürede, en düşük maliyet ve en yüksek kalitede ürün ve hizmetler sağlayarak karşılamak ve aşmak şeklinde belirlenmiştir.

Bu öncelikler müşteriler, paydaşlar, çalışanlar, pazar koşulları ile ilgili bilgiler ortaya konularak, stratejiler doğrultusunda önceliklendirilir. Bu öncelikler sayısal hedeflere sahiptir. Sahip olunan sayısal hedeflere ulaşabilmek için aday projeler belirlenir. Belirlenen projeler, iş önceliklerinin sahipleri ve kara kuşakların danışmanlığı proje gruplarına dağıtılır. Projeler belirlenen tarihlerde yönetime sunuş yapılarak kapatılır. Projeler tamamlandıktan sonra sonuçlar gözden geçirilir. Yeni öncelikler ve değişen şartlar göz önüne alınarak yıl sonu değerlendirmeleri, yapılır.

Yürütme kurulu ve "Y" sahipleri tüm Altı Sigma faaliyetlerine liderlik ederler. Kara kuşaklar projelerin etkinliğinden ve takibinden birinci derecede sorumludur. Proje tamamlanma sürecinde Altı Sigma TÖAİK adımları uygulanır.

Tanımlama ve ölçüm aşamasında kalite için kritik olan hususlar seçilir, performans standartları oluşturulur, ölçüm sistemi doğrulanır ve ürün kabiliyeti saptanır. Analiz aşamasında performans hedefi, geliştirme kaynakları, potansiyel nedenler belirlenir. İyileştirme aşamasında değişkenler arasındaki ilişki saptanarak çalışma toleransı belirlenir. Kontrol adımı ise ölçüm performans sistemi doğrulanır, proses kabiliyeti belirlenir ve proses kontrol sistemi uygulanır.

Bugüne kadar eğitilen yeşil kuşak sayısı 160'ın üzerindedir. 4 uzman kara kuşak ve 20 kara kuşak bu sayıya dahildir. TEI dışından ilave olarak 25 kişi yeşil kuşak olarak eğitilmiştir. Çalışanların tamamına yakın kısmı Altı Sigma takım çalışmalarında yer almıştır. Altı Sigma takım çalışmalarının sonuçları periyodik yönetim toplantıları ile izlenmektedir. 2002 yılı ilk çeyreği itibarıyla tamamlanan toplam proje sayısı 900'ü geçmiştir.

### **7.3.4 TEI Altı Sigma Kazançları**

Altı Sigma yönetim anlayışı sonucunda rekabetçi olma özelliklerinin güçlendiğine dikkat çeken TEI Genel Müdürü Tayfun Mutlu "Karlılıkta ve verimlilikte yüksek getiriler sağlandık. Tüm süreçlerde hata oranını milyonlarda 3' e kadar indirmeyi başardık. Altı Sigma projelerini yürüten, TEI'nin rekabetçi yapısını kuvvetlendiren, çok sayıda etkin proje lideri yetiştirdik. Bugüne kadar binden fazla proje tamamlayarak önemli ölçüde finansal tasarruf sağladık. Bunların dışında tüm süreçleri hızlandırarak esnekliği artırdık" diyor.

### **7.3.5 TEI Altı Sigma Tecrübeleri**

Altı Sigma'nın beş aşamalı, bir süreç olduğunu belirten Mutlu, iyileştirmeye yönelik yaptıkları uygulamaları şöyle anlatıyor:

"Tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol aşamalarını tamamlayarak iyileştirme sağladık. Birinci aşamada, müşterileri ve onların önceliklerini tespit ederek proje tanımlaması yaptık.. Ölçme aşamasında var olan sürecin nasıl çalıştığı ve ölçüldüğü incelenerek kalite için kritik olan hususlar, performans standardı ve ürün yeteneğini belirledik.

Üçüncü aşamada hatanın ne zaman, nerede ve niye oluştuğu sorularının cevaplarını aldık. Sonra potansiyel nedenler takip edilerek değişkenler arasındaki ilişkiler inceledi. Son olarak da amaç gerçekleştirilen iyileştirmelerin kalıcılığını sağladık. Ölçüm sistemini doğrulayarak proses yeteneği belirledik. Özetle, Altı Sigma disipline edilmiş problemi bulma, anlama, kaynağına ulaşma, çözüm üretme ve çözümün kalıcılığını sağlama metodolojisi"

## **7.4 General Electric ve Altı Sigma**

### **7.4.1 Altı Sigma Uygulamaları**

Altı Sigma girişimi şirkete hiçbir mali yararının olmadığı 1996 yılındaki başlangıcından itibaren gelişerek 1999 yılında 2 milyardan fazla yarar sağladı ve önümüzdeki on yılda da çok daha fazlası bekleniyor.

Altı Sigma'nın başlangıç aşamalarında hedeflenen 100 binden fazla kişiyi Altı Sigma bilim ve metodolojisi konusunda eğitmekten ve binlerce "proje"yi verimliliği artırıp

sanayi tesislerinden finansal hizmetlere kadar tüm şirket içi faaliyetlerdeki farklılıkları azaltmaya odaklanmaktan ibaretti. O günlerden beri GE, girişimi "Altı Sigma'lı" ürünler hazırlamaya yönlendirdi ve hızla finansal hizmetler sektörünün müşteri işlemleri süreçlerine götürdü. Her GE ürün işletmesi ve finansal hizmet faaliyeti ürün tasarım ve gerçekleştirme sürecinde Altı Sigma'yı kullanıyor. Altı Sigma ile hedeflenen müşterinin istediği düşünülen kusursuz ürün ve hizmetleri söz verilen zamanda sağlamak değil, müşterinin gerçekten istediği zaman sağlamaktır.

#### **7.4.2 GE’de Altı Sigma Sistemi**

İlgili sistem önceki programların hatalarını yinelemeyecek şekilde şirket çapında bir kalite kampanyasına nasıl ulaşılması gerektiğinin belirlenmesidir.

Altı Sigma Sistemi, Kaliteyi geliştirmek ve GE'yi dünyanın en rekabetçi şirketi haline getirecek strateji hamlesi olarak planlandı. Rekabetin yoğunlaştığı ve çok iyi firmaların da ortaya çıktığı dönemde en önemli kriter kalite olmuştur. Bu doğrultuda kalite kavramının GE'de yönetim için can alıcı bir odak haline getirilmesi amaçlanarak, Motorola'nın öncülük ettiği 6 sigma modeline geçilmeye karar verildi. Sistemin başlangıcında, şirket müdürleri konu uzmanları ile birlikte 6 sigma yaklaşımının yararları hakkında görüşmeler gerçekleştirdiler.

6 sigma 1 milyon ayrı faaliyette hata ölçümü yapmakta olan ve kaliteyi istatistiksel olarak gösteren bir modeldir. Hata sayısı ne denli düşükse, kalite o denli yüksektir. 1 sigma ürünlerin % 68'i kabul edilebilir; 3 sigma % 99.7 kabul edilebilir; 6 sigma ise son hedeftir ve %99.9 kabul edilmek anlamına gelmektedir.

#### **7.4.3 GE’ deki Altı Sigma Organizasyonu**

GE altı sigma çalışmasında (proje ekibinde yer alan kişilere) oyunculara çeşitli adlar verilmiştir.

Şampiyonlar : Bunlar projeyi saptayan kıdemli yöneticilerdir. Bu kıdemli yönetim, liderlere altı sigma çalışmalarının başarısından sorumlu, projeyi onaylayan, onlara kaynak sağlayan ve aksaklıkları çözümleyen kişilerdir. Şampiyonlar 1 hafta eğitim görmektedir. 1997 sonunda GE'de 200 şampiyon bulunmaktadır.

Usta Kara Kuşaklılar: Bunlar sıra dışı niceliksel ustalıkları, öğretim ve liderlik yetenekleriyle tam zamanlı eğiticilerdir. Bu görevi almak için belirlenen kriter ; sertifika alan 10 kara kuşaklıya göz kulak olmak ve işletme şampiyon ekibi tarafından onaylanmış olmaktır. Bunlar kara kuşaklıları gözden geçirmekte ve onlara rehberlik etmektedirler. Usta kara kuşaklılar, öğretmek ve rehberlik etmek için en az 2 hafta eğitilmektedirler. 1997 sonunda GE'de 700 Usta Kara Kuşaklı bulunmaktadır.

Kara Kuşaklılar: Bunlar ekiplere öncülük eden ve kilit süreçler üzerinde odaklanan, sonuçları şampiyonlara raporlayan tam zamanlı kalite yürütücüleridir. Bu ekip liderleri; müşteri tatminini ve verimlilik artışını etkileyen kilit süreçleri ölçme, çözümleme, geliştirme ve kontrol etmeyle sorumludurlar. Kara kuşaklıların sertifika alma kriterleri, bir usta kara kuşaklıının himayesinde yetişmek ve daha bağımsız iki projeyi başarılı bir biçimde tamamlamaktır. Sertifika almak için kara kuşaklılar aynı zamanda işletme şampiyon ekipleri tarafından onaylanmaktadır. 1997 sonunda GE'de 2600 Kara Kuşaklı bulunmaktadır.

Yeşil Kuşaklılar: Bunlar kara kuşaklıların projelerinde tam zamanlı çalışmamaktadırlar. 1997 sonunda GE'de 15.000 Yeşil Kuşaklı bulunmaktadır. İşletme süreçlerinde kalite geliştirmek için ele alınan altı sigma yaklaşımı, proje ekiplerinin kurulmasını gerektirmekte, bunların her biri de dört aşamalı süreçle altı sigma doğruluk düzeyini başarmayı amaçlamaktadır ;

GE altı sigma programında, bir işletmenin ilerlemesini izlemeye yardımcı olacak 5 şirket ölçüsü tasarlamıştır.

- I. Müşteri Tatmini: Her işletme müşterilerine bir anket uygulanmakta ve müşteriden GE'yi derecelendirmesi, yaşamsal önem taşıyan kalite sorunlarında en iyi kategoriyi belirtmesi istenmektedir. GE kusurları 1 milyon anket yanıtına göre ölçmektedir. Projedeki tüm ölçülerle sonuçlar, 3 aylık bazında raporlanmaktadır.
- II. Düşük Kalitenin Maliyeti: Değerleme; iç maliyetler, aşırı ıskarta ve yeniden işleme olarak ele alınmaktadır. GE 3 aylık bazındaki toplamı, gelirlerin bir yüzdesi olarak izlenmektedir.

- III. Satıcının Kalitesi : GE, alımların bir milyon birimi başına kalite için yaşamsal ölçü toleransının bir yada daha çok dışında kalan, geri gönderilen, yeniden işlenen yada programın dışına alınan kusurlu parçaları izlemektedir.
- IV. İç Başarı: GE kendi süreçleri tarafından yaratılan kusurluları ölçülmektedir. Ölçü, tüm kusurlular toplamının, KİY'in toleransı içindeki kusurlular toplamına bölümü ifade etmektedir.
- V. Üretilbilirlik İçin Dizayn: GE, KİY'e göre gözden geçirilen çizimlerin yüzdesini ve altı sigmaya göre dizayn edilmiş KİY'in yüzdesini ölçmektedir. Yeni ürünlerin çoğu şimdi saptanmış KİY ile dizayn edilmektedir.

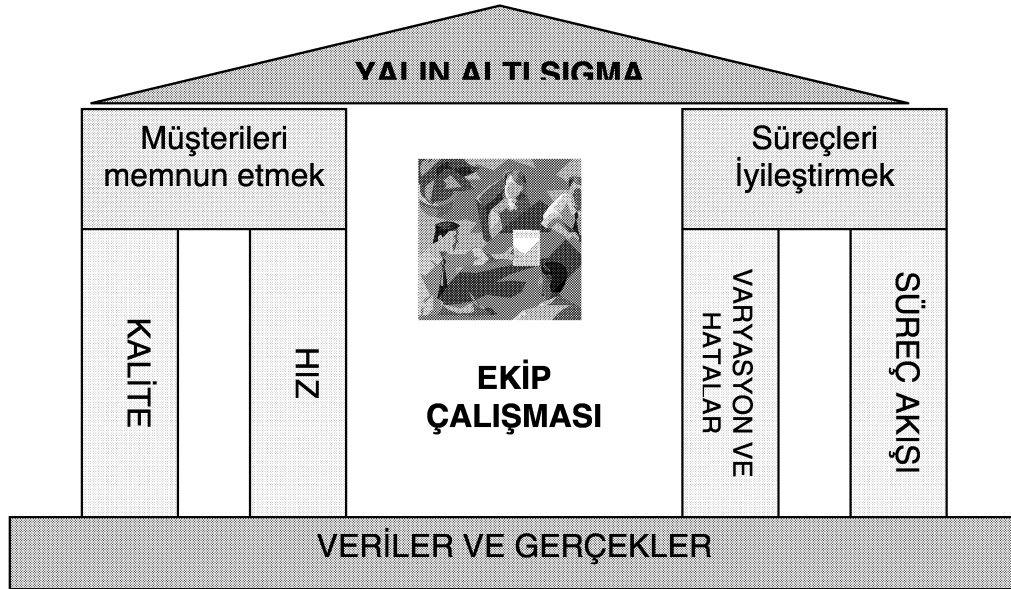
## 8. YALIN ALTI SİGMA

### 8.1 Yalın Altı Sigma Kavramı

Yalın altı sigma, üretim ve servis sistemleri birimlerinin her ikisini de bünyesinde barındıran firmaların uyguladıkları, geleneksel 6 sigma ve yalın prensiplerinin bir arada ele alındığı bir süreç yaklaşım ve iyileştirme yöntemidir.

Yalın altı sigma günümüzün en önemli iki iyileştirme trendini bir araya getirmektedir. Altı sigma kullanarak işleri daha iyi hale getirmek ve yalın ilkeleri kullanarak işleri hızlandırmak.

Yalın altı sigma'nın 4 anahtarı bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde bu dört anahtar ve birbirleriyle olan ilişkisi görülmektedir.



Şekil 8.1 Yalın Altı Sigma Şeması

### 8.2 Yalın Altı Sigma Temelleri

Yalın altı sigma ait aşağıdaki 4 anahtar kavram önemlidir;

- Müşterilerinizi hız ve kalite ile memnun etmek
- Süreçlerinizi iyileştirmek

- En yüksek kazanç için birlikte çalışmak
- Kararları verilere ve gerçeklere dayandırmak

Süreç iyileştirmek şirketin iyileştirmek istediği sonuçları geliştirmenin tek yoludur.İşin kişiler ve iş istasyonları arasında nasıl aktığının incelenmesi gerekmektedir.Varyasyona ve varyasyonun süreçleri nasıl etkilediğine bakmak gerekir.Herşeyden önemlisi bir “süreç düşünürü”,yani sorunları ve olayları süreçte neler olduğunu inceleyen biri olmanız gerekmektedir.

Temellerin ötesinde yalın altı sigmanın 5 yasası ise şöyle sıralanabilir;

- Müşteriler önemlidir.
- Hız,kalite ve düşük bedel birbirine bağlıdır.
- Kalite hız ve düşük bedel sunmak istiyorsan varyasyon ve hataları ortadan kaldırmanız ve süreç akışına odaklanmanız gerekiyor
- Sağlam ticari kararlar vermek için veriler kritik önem taşır.
- Müşterilerin farkına varacağı türde iyileştirmeler yapmak için insanların birlikte çalışması gereklidir.

### **8.3 Yalın Ve Altı Sigma Prensiplerinin Birlikte Mukayesesi**

Yalın ve altı sigma prensiplerinin nasıl ortaya çıktığını anlamak için TKY konseptinin gelişimine bakalım. 20.YY’ın 2.yarisının sonlarında TKY uygulamaları ve PDSA çevrimi kalite departmanın sorumluluğundaydı. TKY uygulamaları proses iyileştirmeye odaklanırken istatistiksel yöntemleri kullanmaktaydı ancak kazançları para birimi cinsinden ifade edememekteydi. Ayrıca sistem birkaç endüstri mühendisi tarafından yönetilen “kalite çemberleri” uygulamasına daraltılmıştı bu ise sistemin bütününe kapsamamaktaydı.

Bu nedenle yapılan iyileştirmeler sürekli olamamakta ve iyileştirme ve süreç sahipleri tam olarak belirlenememekteydi. 6 sigma yaklaşımı süreç odaklı iyileştirmeyi ele alırken “proje şampiyonu ,uzman kara kuşak,kara kuşak ve yeşil kuşak” gibi terimleri de gündeme getirdi. 6 sigma projeleri sistemdeki süreçleri tanımlayıp bu süreçlerdeki değişkenlikleri yok etmeye odaklanırken aynı zamanda elde edilen sonuçların sürdürülebilirliğini de kontrol aşamasında elde etmeye çalışmaktaydı.

Ancak üretim sistemlerinde sağlanan iyileştirme üretim sistemini destekleyen diğer servis ve destek sistemlerince de takip edilmez ise iyileştirme sürdürülebilir olamaz. İşte tam bu noktada 6 sigma yaklaşımına yalın prensiplerinin de katılmasıyla “YALIN ALTI SIGMA” yaklaşımı doğdu.

Yalın altı sigma yaklaşımı hem imalat hemde organizasyonel yapısı içerisinde servis,insan kaynakları,IT departmanı,lojistik vb. Destek birimlerini içeren firmalar için çok uygundur.

Entegre yalın altı sigma yaklaşımı süreçlerin her birinin öncelikle proses haritalarının çıkarılmasını daha sonra ise TÖAİK yaklaşımı ( Tanımla – Ölç – Analiz – İyileştir – Kontrol et) ile bu süreçlerin iyileştirilmesini öngörür. Yalın altı sigma yaklaşımının en temel farklılığı süreçlerdeki kayıpları israf olarak algılamasıdır.

Yalın altı sigma yaklaşımına göre işler yolunda gidiyor gibi gözükse dahi sürecin belirli noktalarında atıl prosesler ve israflar yer alabilir.Bu noktalara müdahale de 6 sigma yaklaşımı imalattaki kayıpları azaltmayı ve değişkenlikleri azaltırken,yalın altı sigma yaklaşımı da insan kaynakları ve yukarıda bahsedilen diğer destekleyici servis sistemlerine uygulanabilir.İmalattaki 6 sigma uygulamaları geleneksel WIP (Work in Process) kayıplarını azaltmaya odaklanırken,entegre yalın altı sigma yaklaşımıyla hem imalattaki değişkenlikler azaltılır hemde müşteri beklentilerini karşılayacak iyileştirmeler,hız – maliyet – kalite üçgeninde elde edilebilir.

Yalın altı sigma uygulamasının bu noktada klasik altı sigma uygulamalarından en temel farkı derin istatistiksel metodların servis ve destek sistemlerindeki süreç iyileştirme aktivitelerinde kullanılamayacak olmasından dolayı alternatif bir bakış açısının sağlanmasıdır. Buradaki metod daha çok müşteri memnuniyeti ile yakından ilgili olan çıktılar üzerine odaklanmaktadır,müşteri beklenti ve ihtiyaçları ölçülebilir olması için CTQ olarak tanımlanır .Örneğin bu metrik teknik servis departmanı için “concern ratio” yani servis arıza oranı olarak tanımlanır. Bu müşteriler nihayi müşteri olabilecekleri gibi şirket içerisindeki birimler de yani “iç müşteriler” de olabilmektedir.

Operasyon stratejisi risklerin,problemlerin ve strajilerin belirlenmesi ve bunları önceliklendirebilmek için bir değer atanmasıdır. Daha sonra her bir alt departman tarafından bir iyileştirme planı hazırlanır ve bu plan gerekli görürse firmanın tedarikçilerini ve taşeronlarını da içinde barındırabilir.

Yalın altı sigma yaklaşımındaki tüm bu aktiviteler bir uzman karkuşak,kara kuşak yada yeşil kuşak denen proje liderleri tarafından yürütülmeli ve denetlenmelidir.

## **9. ARÇELİK\_LG KLİMA FABRİKASINDAKİ ALTI SİGMA PROJE ÇALIŞMASI**

### **9.1 Firmanın Tanıtımı**

Arçelik-Lg Klima Sanayi A.Ş. 1999 yılında Gebze Organize Sanayi bölgesinde hizmete açılmış Arçelik ve Lg firmalarının %50 ortalıkla kurduğu bir firmadır. Firmada Türkiye iç pazarına , Ortadoğu ve bazı Avrupa ülkelerine kaliteli, çevreye dost ev tip klima üretilmektedir. 2005 yılı sonu itibariyle arap ülkeleri için çatı tip diye tabir edilen kanallı büyük klimalarında üretilmesine başlanmıştır. Toplam 70000 m<sup>2</sup> alana sahip olup bunun 47000m<sup>2</sup> 'si kapalı alandır. Şirketin 2005 cirosu yaklaşık 150 M\$ civarındadır. Şirket içpazarda sahip olduğu %50 pazar payını hergeçen gün artırmak için Ar-Ge çalışmalarına ve Ürün geliştirme çalışmalarına devam etmektedir.

Firmanın altı sigma faaliyetlerinden sorumlu Altı Sigma takımı bulunmaktadır. Takımda 1 uzman karakuşak ve 2 adet karakuşak bulunmaktadır. Firmanın şampiyonu ise Koreli bir yönetici olup firmanın genel müdür yardımcısıdır.

Firmada kritik bir parça olan kondanser fanı ile ilgili olarak yapılan altı sigma projesinin aşamaları aşağıda anlatılmıştır.

### **9.2 Tanımlama Aşaması**

Split tipi klimalarda iç ünite ve dış ünite olmak üzere iki ayrı cihaz bulunmaktadır. İki ayrı ünite yalıtılmış bakır boru vasıtasıyla rakorlu bağlantı sayesinde birleştirilerek nihai müşterinin tercih ettiği alana montajı gerçekleştirilir.

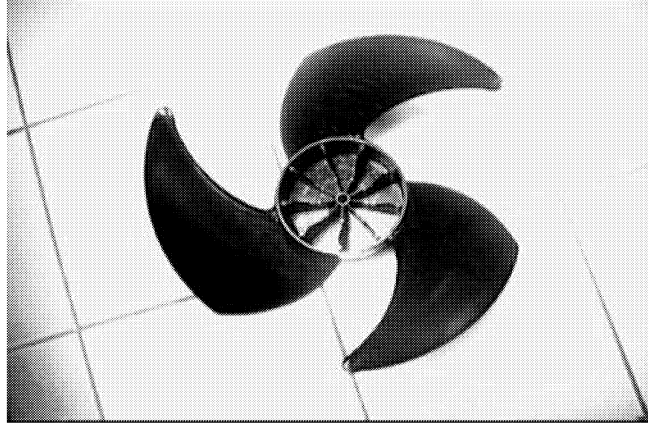
Müşterinin bir ev tipi split klimadan en önemli beklentileri şu şekilde sıralanabilir;

- Yeterli Soğutma Performansı
- Yeterli Isıtma Performansı
- Sessiz çalışma

- Uzun ömürlü olması
- Servis kolaylığı
- Ekonomik olması
- Düşük enerji sarfıyatı
- Estetik görünüş

Üretim esnasında klimaların belirlenmiş bazı parçaları sürekli olarak ölçülür. Ölçülen bu parametreler tolerans dahilinde olması gerekmektedir. Aksi halde ürünler direkt olarak müşteri tarafında ürün memnuyetsizliği olarak işletmeye geri döner.

Bir ev tipi split klimanın dış ünitesinde bulunan fan (kondanser fanı olarak tanımlanacak ve şekil 9.1 de görülmektedir.) klima üreticisi için kritik bir parça olup toleranslar dışında çalışması durumunda müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır.

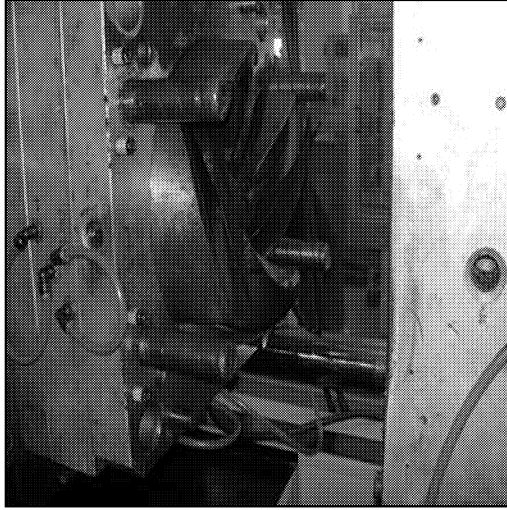


Şekil 9.1 Kondanser Fanı

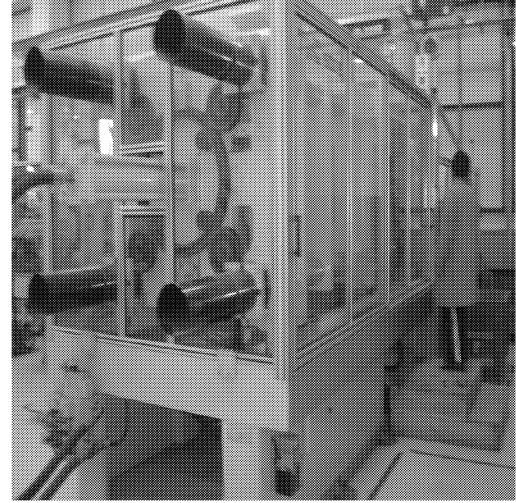
Yapılan altı sigma projesinin amacı kondanser fanlarının dengesizliği kontrol altına almaya çalışmaktadır. Eğer kondanser fanında dengesizlik var ise ürün çalışırken aşırı sese sebebiyet vermektedir. 18000 Btu/h ve 24000 Btu/h kapasiteye sahip klimaların dış ünitesinde çalışan fanın en fazla 350 mg dengesizliğe sahip olabilir. Fanın en fazla izin verilen salgı ve yalpa değeri 2,2 mm'dir. Bu değer bizim üst spek değerimizdir.

Fanın malzemesi cam elyaf takviyeli ABS olup siyah renktedir.

Aşağıdaki Şekil 9.2 de fanın enjeksiyon kalıbını ve Şekil 9.3 'de fanın üretimini yapan 500 Tonluk TMC marka enjeksiyon makinasının resmini görebilirsiniz.

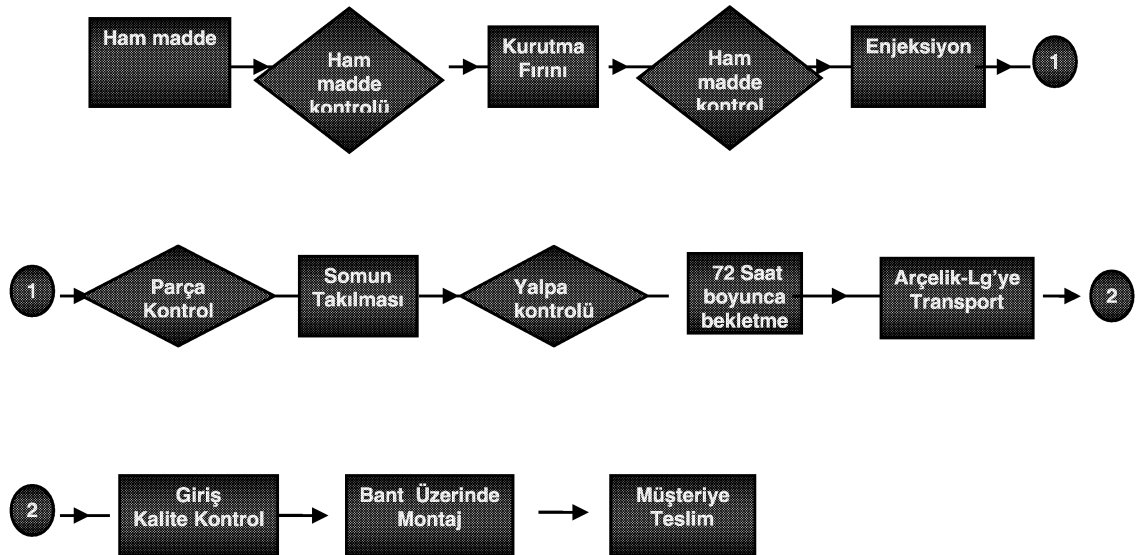


Şekil 9.2 Fan Kalıbı



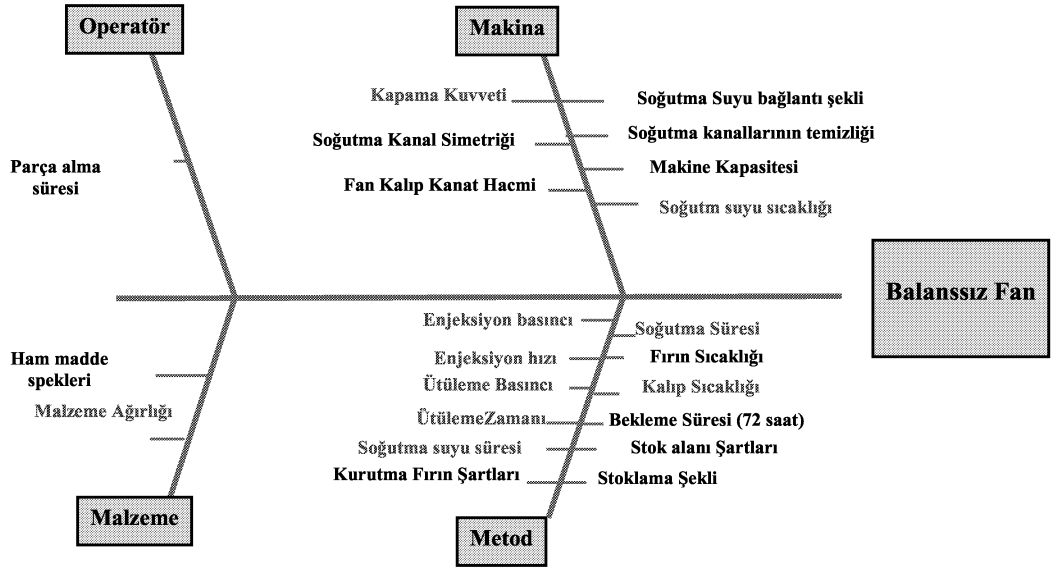
Şekil 9.3 Fan Enjeksiyon Makinası

Problemin tanımlama aşamısında fanın üretiminden montajı yapıp müşteriye gidene kadarki sürecin haritası aşağıdaki şekil 9.4’ de çizildi.



Şekil 9.4 Fan Üretim Süreci

Proje ekibi ve uzman kişiler ile birlikte fanın dengesiz olarak üretilmesine sebep olacak unsurlar tartışıldı. Bu faktörler şekil 9.5’deki balık kılçığı grafiğine yerleştirildi. Bu grafik üzerinde faktörler arasından öncelikle hangilerinin üzerine gidilmesi gerektiğine karar verildi. Bu faktörlerle ilgili olarak denemeler planlandı.



Şekil 9.5 Balık Kılçığı Diagramı

### 9.3 Ölçüm Aşaması

Topladığımız verilerin güvenilir ve sağlıklı olduklarından emin olmak için öncelikle ölçüm yeterliliğini göstermemiz gereklidir.

Balans değerini, parçanın ağırlığını, salgı ve yalpa değerlerinin ölçüm yeterliliği için ayrı ayrı çalışmalar yapıldı.

Tüm ölçüm yeterliliği çalışmaları 10 tane numune ve 2 operatör ile birlikte yapıldı. Her operatör 10 parçayı karışık olarak ikişer defa ölçtüler ve sonuçları kaydettiler. Bu ölçümler Minitab programı kullanılarak elde edilen raporlar ek 1,2,3,4' de verilmiştir.

Ölçüm yeterliliği sonuçları olumlu olarak gerçekleştirildikten sonra mevcut durumun hata seviyesini ölçmek için yeterlilik analizi yapılmıştır. Yeterlilik analizi için 30 adet numune alınmış ve fan balans değerleri ölçülmüştür. Fan balans değerleri ölçümü yapılmadan önce verilere normallik testi yapılmıştır. Normallik testine göre verilerin normal bir dağılıma uygun olduğu tespit edilmiştir.(Ek 5)

Yeterlilik testin sonucuna göre Cpk değeri -1,68 çıkmıştır(Ek 6). Tüm veriler 350 mg sınır balans değerinden daha yüksek balans değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Yeterlilik çalışmasında salgı değeri için Cpk değeri 16,36 ve yalpa değeri için Cpk değeri 8,86 çıkmıştır. (Ek 7 ve 8) Salgı ve yalpa açısından teknik resim speklerine göre endişe verici bir durum yoktur.

#### 9.4 Analiz Aşaması

Beyin fırtınası çalışması yapılarak tespit edilen faktörlerden hangilerinin çıktı üzerinde gerçekten etkili olduğunu belirlemek için ANOVA analizi uygulanmıştır. Faktörlerin her biri için çalışma şartlarına uygun seviyeler belirlenmiştir. Her faktörün maksimum ve minimum seviyelerinde 5'er adet numune alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarını Ek 9 'da bulabilirsiniz.

Tablo 9.1 Analize Giren Faktörler

| Faktör                      | 1.Seviye | 2.Seviye | Numune Sayısı |
|-----------------------------|----------|----------|---------------|
| Soğutma Suyu Sıcaklığı (°C) | 30       | 45       | 10            |
| Enjeksiyon Basıncı (bar)    | 60       | 80       | 10            |
| Enjeksiyon Zamanı (sn)      | 2,5      | 4        | 10            |
| Ütüleme Basıncı (bar)       | 20       | 40       | 10            |
| Ütüleme Zamanı(sn)          | 5        | 12       | 10            |
| Kalıp Sıcaklığı (°C)        | 220      | 250      | 10            |
| Soğutma Süresi (sn)         | 35       | 50       | 10            |
| Enjeksiyon Miktarı (gr)     | 885      | 895      | 10            |
| Kapama Basıncı (bar)        | 450      | 550      | 10            |

Analiz sonuçlarına göre hipotez testleri olasılıkları risk seviyemiz %5 ile karşılaştırılınca etkili parametreler şunlardır;

- Ütüleme Süresi
- Ütüleme Basıncı
- Kapama Basıncı
- Enjeksiyon miktarı

#### 8.5 İyileştirme Aşaması

Analiz safhasını tamamladıktan sonra elde ettiğim etkili parametreler ile deney tasarımı yapmak gerekiyordu. Elimdeki parametrelerin hangi değerlerinde düzgün ve

balansı limitlerin altında fan elde edebilirim sorusuna cevap bulmak için tam faktoriyel deney tasarımı planlandı.

Tüm seviyeler için deneyler yapıldığından 16 adet deneme yapıldı ve her noktada 3 tekrarlı deney yapıldığı için toplam 48 adet deney yapıldı.

Tablo 9.2 Deney tasarımında kullanılan faktörlerin seviye göstergeleri

| Faktör                 | Nomal Değeri | Üst Limit Değeri | Alt Limit Değeri |
|------------------------|--------------|------------------|------------------|
| Ütüleme Süresi(sn)     | 10           | 5                | 12               |
| Ütüleme Basıncı(bar)   | 30           | 20               | 40               |
| Kapama Basıncı(ton)    | 550          | 450              | 550              |
| Enjeksiyon Miktarı(gr) | 892          | 885              | 895              |

**Factorial Fit: BALANS versus IRONING PRESSURE; PLASTIFICATION; ...**

Estimated Effects and Coefficients for BALANS (coded units)

| Term                                                              | Effect  | Coef   | SE Coef | T     | P     |
|-------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------|-------|-------|
| Constant                                                          |         | 450,35 | 16,20   | 27,80 | 0,000 |
| IRONING PRESSURE                                                  | -94,21  | -47,10 | 16,20   | -2,91 | 0,007 |
| PLASTIFICATION                                                    | -19,12  | -9,56  | 16,20   | -0,59 | 0,559 |
| IRONING TIME                                                      | -95,54  | -47,77 | 16,20   | -2,95 | 0,006 |
| CLOSING PRESSURE                                                  | -84,04  | -42,02 | 16,20   | -2,59 | 0,014 |
| IRONING PRESSURE*PLASTIFICATION                                   | 80,96   | 40,48  | 16,20   | 2,50  | 0,018 |
| IRONING PRESSURE*IRONING TIME                                     | -13,13  | -6,56  | 16,20   | -0,41 | 0,688 |
| IRONING PRESSURE*CLOSING PRESSURE                                 | -48,96  | -24,48 | 16,20   | -1,51 | 0,141 |
| PLASTIFICATION*IRONING TIME                                       | -170,87 | -85,44 | 16,20   | -5,27 | 0,000 |
| PLASTIFICATION*CLOSING PRESSURE                                   | -185,54 | -92,77 | 16,20   | -5,73 | 0,000 |
| IRONING TIME*CLOSING PRESSURE                                     | 142,54  | 71,27  | 16,20   | 4,40  | 0,000 |
| IRONING PRESSURE*PLASTIFICATION*<br>IRONING TIME                  | -135,79 | -67,90 | 16,20   | -4,19 | 0,000 |
| IRONING PRESSURE*PLASTIFICATION*<br>CLOSING PRESSURE              | 55,54   | 27,77  | 16,20   | 1,71  | 0,096 |
| IRONING PRESSURE*IRONING TIME*<br>CLOSING PRESSURE                | -28,71  | -14,35 | 16,20   | -0,89 | 0,382 |
| PLASTIFICATION*IRONING TIME*<br>CLOSING PRESSURE                  | 163,21  | 81,60  | 16,20   | 5,04  | 0,000 |
| IRONING PRESSURE*PLASTIFICATION*<br>IRONING TIME*CLOSING PRESSURE | -48,38  | -24,19 | 16,20   | -1,49 | 0,145 |

S = 112,244 R-Sq = 83,48% R-Sq(adj) = 75,74%

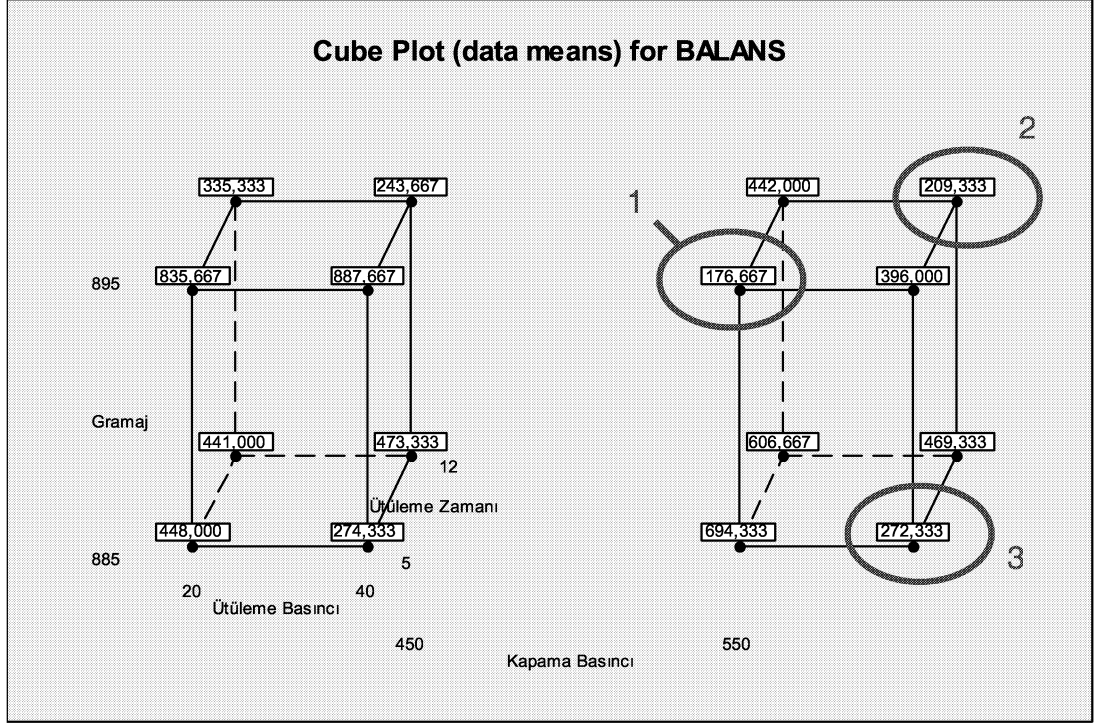
Analysis of Variance for BALANS (coded units)

| Source             | DF | Seq SS  | Adj SS  | Adj MS | F     | P     |
|--------------------|----|---------|---------|--------|-------|-------|
| Main Effects       | 4  | 305186  | 305186  | 76297  | 6,06  | 0,001 |
| 2-Way Interactions | 6  | 1116786 | 1116786 | 186131 | 14,77 | 0,000 |
| 3-Way Interactions | 4  | 587825  | 587825  | 146956 | 11,66 | 0,000 |
| 4-Way Interactions | 1  | 28082   | 28082   | 28082  | 2,23  | 0,145 |
| Residual Error     | 32 | 403158  | 403158  | 12599  |       |       |
| Pure Error         | 32 | 403158  | 403158  | 12599  |       |       |
| Total              | 47 | 2441037 |         |        |       |       |

**Şekil 9.6 DT Analiz Çıktısı**

Şekil 9.6'daki deney sonuçlarının analizi yapıldığında modelin güvenilirliğini gösteren  $R^2$  değerine (%83,5) ve modelde kullanılan gereksiz faktörlerin miktarına bağlı olarak değişen  $R^2_{\text{ayarlı}}$  değerlerinin (%76) kabul edilebilir seviyede olmasından dolayı sonuçlar kabul edilmiştir.

Buna göre aşağıdaki şekil 9.7'deki küp grafiğini kullanarak optimum noktayı belirlememiz gerekmektedir.



Şekil 9.7 K p Grafiği

Deney sonuçlarına göre 1 numaralı Şartlarda en düşük balans değeri elde edilmesine rağmen parçalarda  apak olduğu g zlenmiŐ tir. Bu bilgi ışığında 2 numaralı bölgedeki  retim Şartlarında balans değerinin speklere göre uygun olduğu tespit edilmiŐ tir. Bu deney Şartlarında fannın salđı ve yalpa ölçümleri de yapılmıŐ  ve balans için optimum olan Şartlarda speğe göre uygun sonuçlar elde edilmiŐ tir. Sonuçları ekler kısmında bulabilirsiniz. Optimum Şartlarda üretilen fanlar ürünler üzerinde gruplu haldeyken ses odasına alınarak gürültü seviyeleri  l  lm Ő tir. Dışı  nite gürültü seviyesi 43 dB'dir. Sonuçlar gürültü açısından da uygun  ıkmıŐ tır.

Optimum deney Şartlarına aşağıdaki Őekildedir;

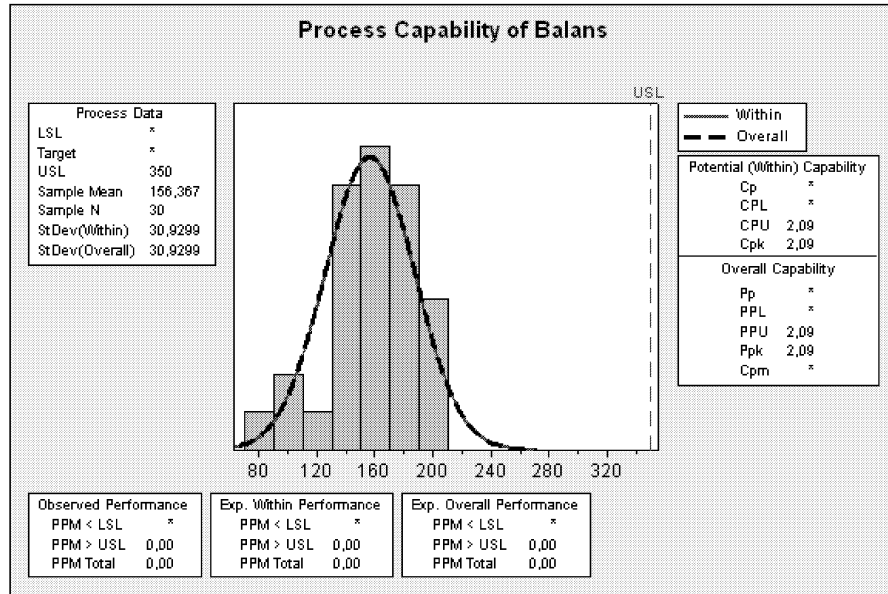
Kapama Basıncı : 550 ton

Ütüleme Basıncı : 40 bar

Gramaj : 895 gr

Ütüleme Zamanı : 12 sn

Deney tasarımı sonucu elde sonuçlara bağlı olarak belirlediğimiz üretim parametrelerini sağlamasını görmek için üretim yapıldı ve veriler toplandı. Bu verilerin yeterlilik analizi aşağıdaki Şekil 9.8'de g sterilmiŐ tir.



**Şekil 9.8 İyileştirme Sonrası Yeterlilik Analizi**

Analiz sonucuna göre

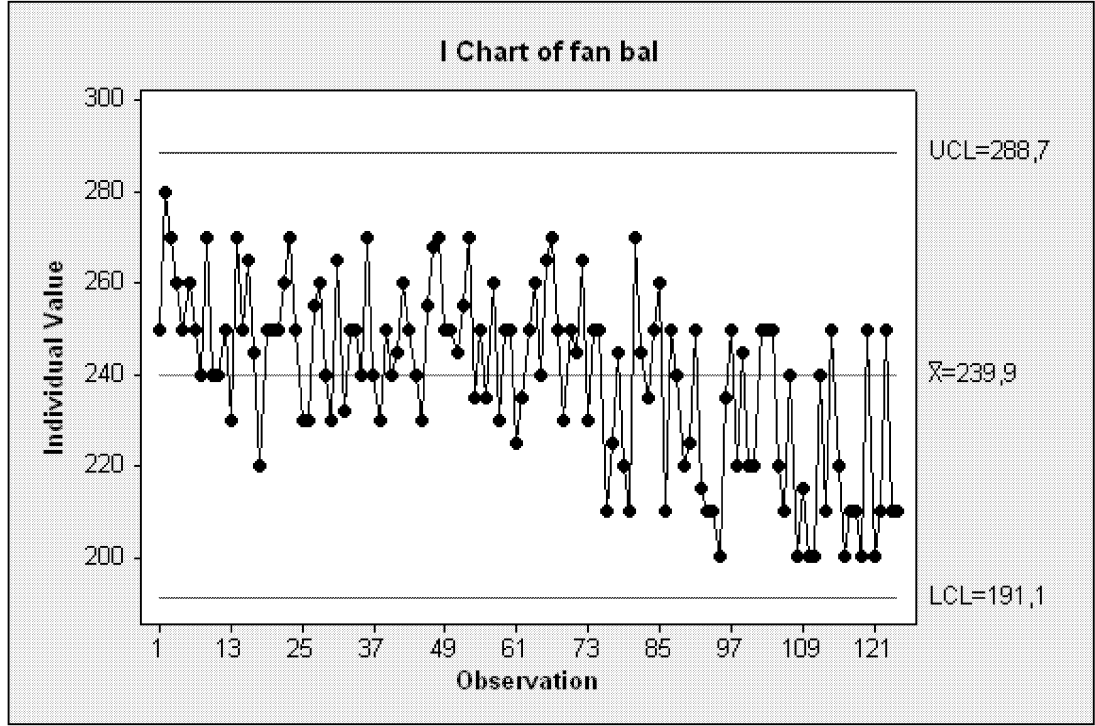
Cpk değeri = 2,09

Hata Oranı = 0 ppm

olarak tespit edilmiştir.

### 8.6 Kontrol Aşaması

Proje kontrol aşaması için belli süre fan önceden belirlediğimiz parametrelerde üretilip fabrikaya gönderilmiş. İlk partide gelen fanlar ölçülerek aşağıdaki Şekil 9.9 kontrol şemasına işlenmiştir.



Şekil 9.9 Kontrol Grafiği

Deney tasarımı sonucu belirlenen şartlarda seri üretime uygulanmıştır. İstatiksel kontrol ile seri üretim için gelen fanlar sürekli olarak kontrol edilmektedir. Yardımcı sanayiden arabalara yüklenip gelen fanlardan her defasında 5 ‘er adet fan seçilip kontrol edilmiştir. Kısa dönem ve uzun dönem süreç yeterlilikleri hesaplanarak hedeflenen 6 Sigma seviyesine göre süreç kontrol altına alınması amaçlanmıştır. Kümüle olarak kontrol için ölçüm sonuçlarını eklerde bulabilirsiniz. Kontrol verileri de göstermektedir ki kondansör fan sürecimiz kontrol altına alınmıştır. Hata üretme olasılığı hedef olan 6 sigma seviyesine çekilmiş ve hata oranı 3,4 ppm seviyesine gerilemiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Arçelik-Lg Klima A.Ş. Yeşil Kuşak Eğitim Notları**,2005,Gebze,Kocaeli
- [2] **Bayram İ.**, 2005 Altı Sigma ve Bir Şirket Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*,
- [3] **Halis, M.**, 2000 Paradigmadan Uygulamaya Toplam Kalite Yönetimi, Beta Basım, İstanbul
- [4] **Infotech KFY ve HTEA eğitim notları**,2001 ,İstanbul
- [5] **İnsan Kaynakları Yönetim Dergisi** ; 2003 Sayı 12 Nisan 2003 Altı Sigma Sayfa 8 -16
- [17] **Karaköse M.A.**, 2004 Altı Sigma ve Türkiye Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **LG Electronics Black Belt Training Notes**,2005, South Korea
- [7] **Pande, P.S., Neuman, R.P. and Cavanagh, R.R.**, 2000. The Six Sigma Way, Mc-Graw Hill Trade,New York
- [8] **Prokopenko, J.** ; 1995 Verimlilik Yönetimi Çev: Olcay Baykal MPM Yayınları Ankara
- [9] **Pyzdek, T.**, 2001 The Six Sigma Handbook , Mc Graw Hill Quality Publishing Tucson
- [10] **Saat Mesiha**, *Gazi Üniv. İktisadi ve İdari Bilimler Fak. Dergisi* , Cilt 2 Sayı 3 Sayfa 97-108
- [11] **Schwinn, D.R.** ; 2003 The Benefits can six sigma can bring you
- [12] **S.P.A.C.** , 2003 ALTI SİGMA NEDİR?, Ankara
- [13] **Tuncel S.**, 2004, Toplam Kalite Yönetimi Açısından Altı Sigma Çalışmaları Aracılığı ile Sayısal Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Türker Baş**,2003 , Kalite Ofisi Yayınları , Yayın no:5
- [15] **Uğur, Naci** 1960. Kalite Geliştirme İçin İstatistikî Yöntemler,İTÜ

[16] **Yurko A.**, 2001 Beyond Six Sigma, GEO European Conference ,USA

## EK A

### Fan Balansı Ölçüm Yeterliliği Raporu

#### Gage R&R

| Source          | VarComp | %Contribution<br>(of VarComp) |
|-----------------|---------|-------------------------------|
| Total Gage R&R  | 340,2   | 2,54                          |
| Repeatability   | 340,2   | 2,54                          |
| Reproducibility | 0,0     | 0,00                          |
| OPERATÖR        | 0,0     | 0,00                          |
| Part-To-Part    | 13027,1 | 97,46                         |
| Total Variation | 13367,3 | 100,00                        |

| Source          | StdDev (SD) | Study Var<br>(2,33 * SD) | %Study Var<br>(%SV) | %Tolerance<br>(SV/Toler) |
|-----------------|-------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Total Gage R&R  | 18,443      | 42,973                   | 15,95               | 17,19                    |
| Repeatability   | 18,443      | 42,973                   | 15,95               | 17,19                    |
| Reproducibility | 0,000       | 0,000                    | 0,00                | 0,00                     |
| OPERATÖR        | 0,000       | 0,000                    | 0,00                | 0,00                     |
| Part-To-Part    | 114,137     | 265,938                  | 98,72               | 106,38                   |
| Total Variation | 115,617     | 269,388                  | 100,00              | 107,76                   |

Number of Distinct Categories = 8

## EK B

### Ağırlığı Ölçüm Yeterliliği Çalışma Raporu

#### Gage R&R

| Source          | VarComp   | %Contribution<br>(of VarComp) |
|-----------------|-----------|-------------------------------|
| Total Gage R&R  | 0,0000353 | 0,65                          |
| Repeatability   | 0,0000353 | 0,65                          |
| Reproducibility | 0,0000000 | 0,00                          |
| C2              | 0,0000000 | 0,00                          |
| Part-To-Part    | 0,0053738 | 99,35                         |
| Total Variation | 0,0054090 | 100,00                        |

| Source          | StdDev (SD) | Study Var<br>(2,33 * SD) | %Study Var<br>(%SV) | %Tolerance<br>(SV/Toler) |
|-----------------|-------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Total Gage R&R  | 0,0059379   | 0,013835                 | 8,07                | 0,00                     |
| Repeatability   | 0,0059379   | 0,013835                 | 8,07                | 0,00                     |
| Reproducibility | 0,0000000   | 0,000000                 | 0,00                | 0,00                     |
| C2              | 0,0000000   | 0,000000                 | 0,00                | 0,00                     |
| Part-To-Part    | 0,0733059   | 0,170803                 | 99,67               | 0,03                     |
| Total Variation | 0,0735460   | 0,171362                 | 100,00              | 0,03                     |

Number of Distinct Categories = 17

## EK C

### Fan Salgı Ölçüm Yeterliliği Çalışması

#### Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for olcum

| Source          | VarComp | %Contribution<br>(of VarComp) |
|-----------------|---------|-------------------------------|
| Total Gage R&R  | 0.00859 | 1.17                          |
| Repeatability   | 0.00288 | 0.39                          |
| Reproducibility | 0.00572 | 0.78                          |
| operator        | 0.00000 | 0.00                          |
| operator*parca  | 0.00572 | 0.78                          |
| Part-To-Part    | 0.72372 | 98.83                         |
| Total Variation | 0.73231 | 100.00                        |

| Source          | StdDev<br>(SD) | Study Var<br>(5.15*SD) | %Study Var<br>(%SV) |
|-----------------|----------------|------------------------|---------------------|
| Total Gage R&R  | 0.092684       | 0.47732                | 10.83               |
| Repeatability   | 0.053619       | 0.27614                | 6.27                |
| Reproducibility | 0.075599       | 0.38934                | 8.83                |
| operator        | 0.000000       | 0.00000                | 0.00                |
| operator*parca  | 0.075599       | 0.38934                | 8.83                |
| Part-To-Part    | 0.850719       | 4.38120                | 99.41               |
| Total Variation | 0.855753       | 4.40713                | 100.00              |

Number of Distinct Categories = 13

## EK D

### Fan Yalpa Öçüm Yeterliği Çalışması

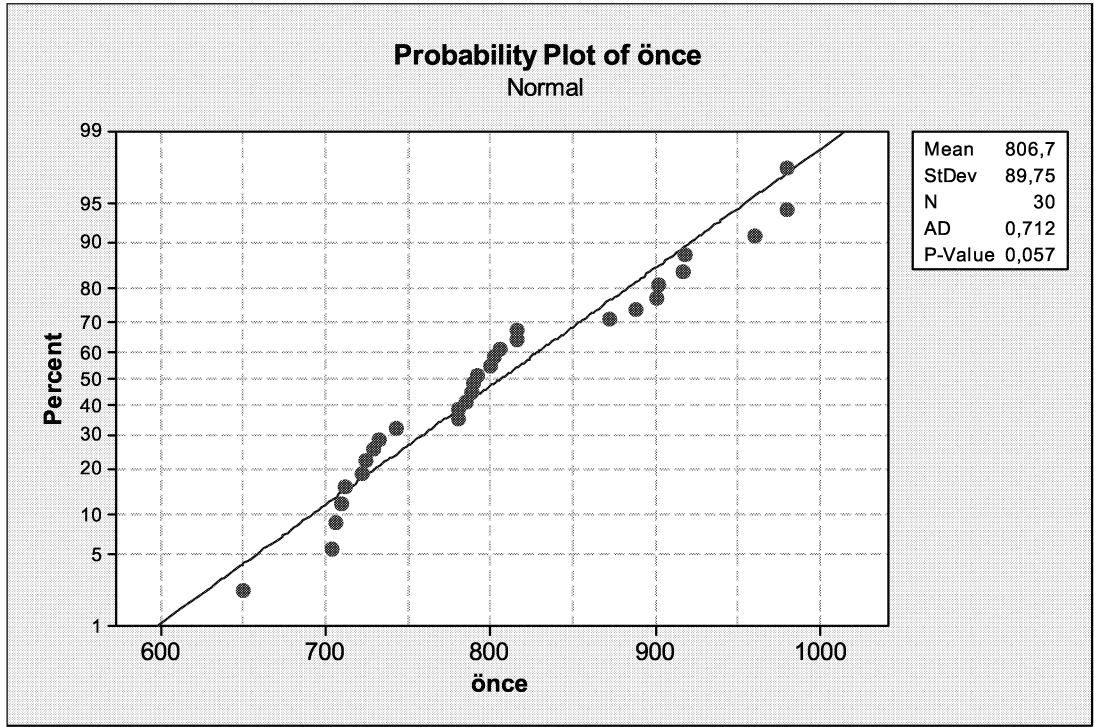
#### Gage R&R

| Source                      | VarComp  | %Contribution<br>(of VarComp) |
|-----------------------------|----------|-------------------------------|
| Total Gage R&R              | 0,005988 | 0,85                          |
| Repeatability               | 0,005988 | 0,85                          |
| Reproducibility<br>operator | 0,000000 | 0,00                          |
| Part-To-Part                | 0,699602 | 99,15                         |
| Total Variation             | 0,705590 | 100,00                        |

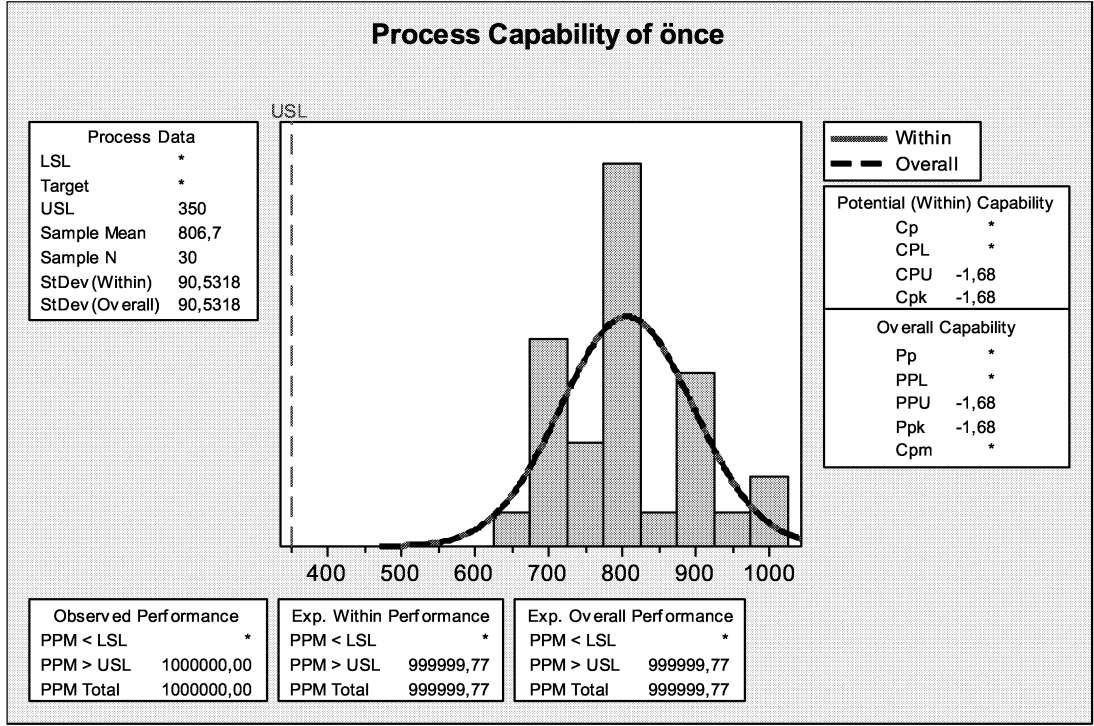
| Source                      | StdDev (SD) | Study Var<br>(2,33 * SD) | %Study Var<br>(%SV) |
|-----------------------------|-------------|--------------------------|---------------------|
| Total Gage R&R              | 0,077384    | 0,18030                  | 9,21                |
| Repeatability               | 0,077384    | 0,18030                  | 9,21                |
| Reproducibility<br>operator | 0,000000    | 0,00000                  | 0,00                |
| Part-To-Part                | 0,836422    | 1,94886                  | 99,57               |
| Total Variation             | 0,839994    | 1,95719                  | 100,00              |

Number of Distinct Categories = 15

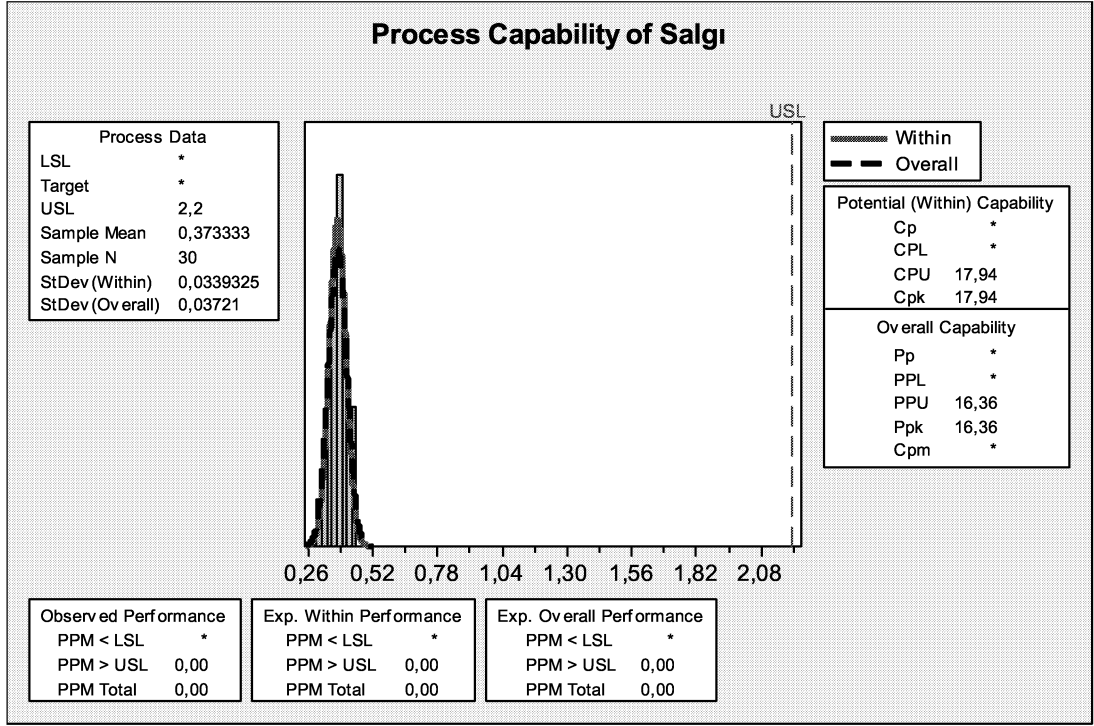
EK E



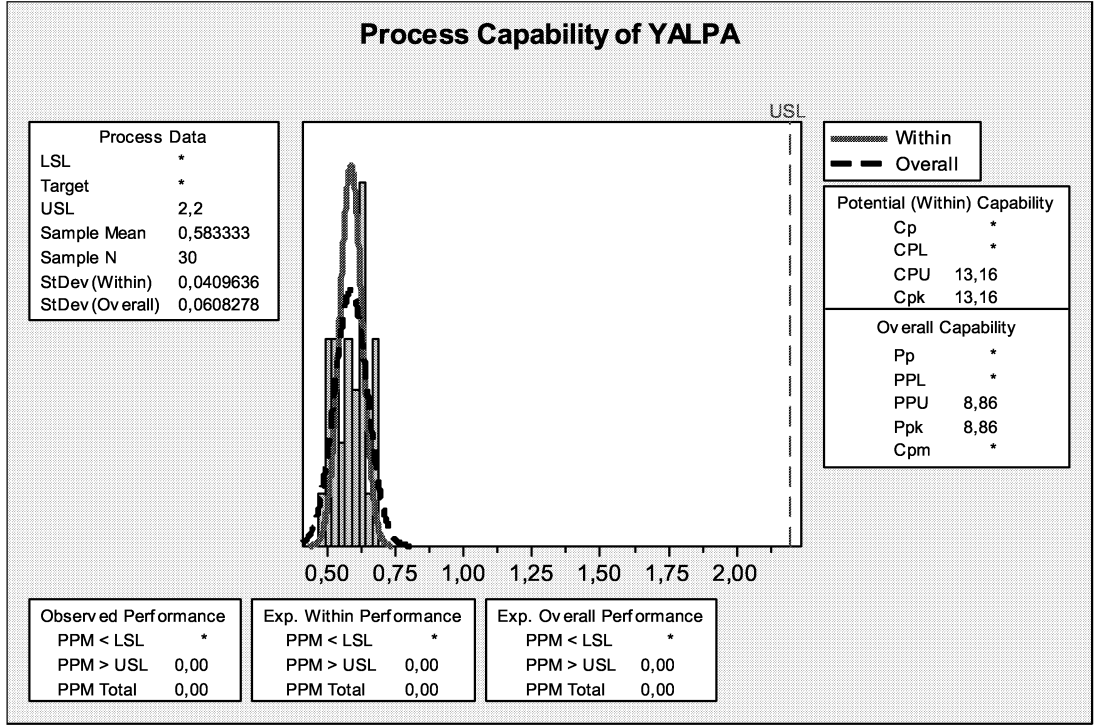
**Şekil E.1.** Mevcut Durum Fan Balans Ölçümlerinin Normalite Test Sonucu



**Şekil E.2.** Mevcut Durum Fan Balans Yeterlilik Analizi



**Şekil E.3.** Mevcut Durumdaki Salgı Değerleri İçin Yeterlilik Analizi Raporu



**Şekil E.4.** Mevcut Durumdaki Yalpa Değerleri İçin Yeterlilik Analizi Raporu

## EK F

### Kritik Faktör Belirleme İçin Yapılan Anova Raporları

#### One-way ANOVA: normal; ütü.basıncı

| Source | DF | SS   | MS   | F    | P     |
|--------|----|------|------|------|-------|
| Factor | 1  | 1513 | 1513 | 5,74 | 0,043 |
| Error  | 8  | 2108 | 264  |      |       |
| Total  | 9  | 3621 |      |      |       |

S = 16,23    R-Sq = 41,78%    R-Sq(adj) = 34,51%

|             |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |
|-------------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|
| Level       | N | Mean   | StDev | -----+-----+-----+-----+                          |
| normal      | 5 | 723,80 | 14,31 | (-----*-----)                                     |
| ütü.basıncı | 5 | 748,40 | 17,95 | (-----*-----)                                     |
|             |   |        |       | -----+-----+-----+-----+                          |
|             |   |        |       | 720        735        750        765              |

Pooled StDev = 16,23

#### One-way ANOVA: normal; ütü.kademe

| Source | DF | SS   | MS  | F    | P     |
|--------|----|------|-----|------|-------|
| Factor | 1  | 32   | 32  | 0,15 | 0,710 |
| Error  | 8  | 1750 | 219 |      |       |
| Total  | 9  | 1782 |     |      |       |

S = 14,79    R-Sq = 1,82%    R-Sq(adj) = 0,00%

|            |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |
|------------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|
| Level      | N | Mean   | StDev | -----+-----+-----+-----+                          |
| normal     | 5 | 723,80 | 14,31 | (-----*-----)                                     |
| ütü.kademe | 5 | 720,20 | 15,25 | (-----*-----)                                     |
|            |   |        |       | -----+-----+-----+-----+                          |
|            |   |        |       | 710        720        730        740              |

Pooled StDev = 14,79

### One-way ANOVA: normal; ütü.zamanı

| Source | DF | SS   | MS  | F    | P     |
|--------|----|------|-----|------|-------|
| Factor | 1  | 176  | 176 | 1,12 | 0,321 |
| Error  | 8  | 1262 | 158 |      |       |
| Total  | 9  | 1438 |     |      |       |

S = 12,56    R-Sq = 12,26%    R-Sq(adj) = 1,30%

|            |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |
|------------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|
| Level      | N | Mean   | StDev |                                                   |
| normal     | 5 | 723,80 | 14,31 | (-----*-----)                                     |
| ütü.zamanı | 5 | 715,40 | 10,53 | (-----*-----)                                     |

Pooled StDev = 12,56

### One-way ANOVA: normal; soğ.süresi

| Source | DF | SS   | MS  | F    | P     |
|--------|----|------|-----|------|-------|
| Factor | 1  | 144  | 144 | 0,92 | 0,366 |
| Error  | 8  | 1256 | 157 |      |       |
| Total  | 9  | 1400 |     |      |       |

S = 12,53    R-Sq = 10,31%    R-Sq(adj) = 0,00%

|            |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |
|------------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|
| Level      | N | Mean   | StDev |                                                   |
| normal     | 5 | 723,80 | 14,31 | (-----*-----)                                     |
| soğ.süresi | 5 | 716,20 | 10,45 | (-----*-----)                                     |

Pooled StDev = 12,53

### One-way ANOVA: normal; fırın sıc.

| Source | DF | SS   | MS  | F    | P     |
|--------|----|------|-----|------|-------|
| Factor | 1  | 336  | 336 | 1,79 | 0,218 |
| Error  | 8  | 1506 | 188 |      |       |
| Total  | 9  | 1842 |     |      |       |

S = 13,72    R-Sq = 18,26%    R-Sq(adj) = 8,05%

|            |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |
|------------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|
| Level      | N | Mean   | StDev |                                                   |
| normal     | 5 | 723,80 | 14,31 | (-----*-----)                                     |
| fırın sıc. | 5 | 712,20 | 13,10 | (-----*-----)                                     |

Pooled StDev = 13,72



| Source | DF | SS   | MS   | F    | P     |
|--------|----|------|------|------|-------|
| Factor | 1  | 1145 | 1145 | 6,41 | 0,035 |
| Error  | 8  | 1430 | 179  |      |       |
| Total  | 9  | 2575 |      |      |       |

| Level       | N | Mean   | StDev | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |
|-------------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|
| normal      | 5 | 723,80 | 14,31 | (-----+-----+-----+-----+-----+)                  |
| enj.basinci | 5 | 745,20 | 12,36 | (-----*-----)                                     |

-----+-----+-----+-----+-----+  
720 735 750 765

132

# EK G

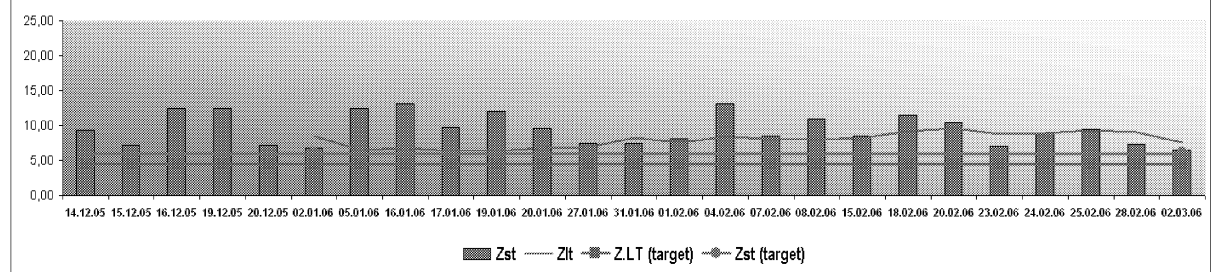
Tablo G.1 Kontrol Tablosu (1)

## CTQ KONTROL GRAFİĞİ

| SORUMLU | ONAY |
|---------|------|
|         |      |

### CTQ TAKİP

| PARÇA ADI     | KONDANSER FANI      | SPEKİFİKASYON  | MAX | MODEL          | SK<br>5400027902 | CTQ NO  | AÇIKLAMA |
|---------------|---------------------|----------------|-----|----------------|------------------|---------|----------|
| CTQ ADI       | BALANS              | SPEKT. ARALIĞI | MAX | BÖLÜM          | GKK              | CTQ-8.3 |          |
| ÖLÇME YÖNTEMİ | FAN BALANS MAKİNASI | MIN            | 0   | KONTROL DÖNEMİ | 2006             |         |          |



| Date          | 14.12.05 | 15.12.05 | 16.12.05 | 18.12.05 | 20.12.05 | 02.01.06 | 05.01.06 | 16.01.06 | 17.01.06 | 19.01.06 | 20.01.06 | 27.01.06 | 31.01.06 | 01.02.06 | 04.02.06 | 07.02.06 | 08.02.06 | 15.02.06 | 18.02.06 | 20.02.06 | 23.02.06 | 24.02.06 | 25.02.06 | 28.02.06 | 02.03.06 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Data 1        | 250,00   | 210,00   | 220,00   | 235,00   | 235,00   | 210,00   | 266,00   | 210,00   | 245,00   | 245,00   | 245,00   | 255,00   | 262,00   | 225,00   | 235,00   | 240,00   | 200,00   | 240,00   | 210,00   | 225,00   | 255,00   | 240,00   | 250,00   | 244,00   | 242,00   |
| Data 2        | 230,00   | 220,00   | 225,00   | 230,00   | 210,00   | 210,00   | 255,00   | 230,00   | 255,00   | 240,00   | 235,00   | 232,00   | 235,00   | 230,00   | 220,00   | 245,00   | 210,00   | 245,00   | 235,00   | 230,00   | 235,00   | 222,00   | 233,00   | 226,00   | 258,00   |
| Data 3        | 220,00   | 235,00   | 235,00   | 245,00   | 250,00   | 245,00   | 265,00   | 220,00   | 258,00   | 230,00   | 225,00   | 230,00   | 222,00   | 240,00   | 221,00   | 230,00   | 195,00   | 220,00   | 235,00   | 230,00   | 220,00   | 231,00   | 216,00   | 251,00   | 266,00   |
| Data 4        | 220,00   | 250,00   | 245,00   | 252,00   | 210,00   | 235,00   | 250,00   | 225,00   | 233,00   | 230,00   | 255,00   | 210,00   | 230,00   | 210,00   | 210,00   | 210,00   | 225,00   | 210,00   | 233,00   | 220,00   | 210,00   | 210,00   | 234,00   | 233,00   | 229,00   |
| Data 5        | 220,00   | 210,00   | 230,00   | 235,00   | 220,00   | 245,00   | 265,00   | 235,00   | 255,00   | 220,00   | 245,00   | 225,00   | 240,00   | 200,00   | 230,00   | 220,00   | 220,00   | 225,00   | 230,00   | 200,00   | 225,00   | 205,00   | 226,00   | 210,00   | 233,00   |
| Sum           | 1140,00  | 1125,00  | 1155,00  | 1197,00  | 1125,00  | 1145,00  | 1301,00  | 1120,00  | 1246,00  | 1165,00  | 1205,00  | 1152,00  | 1189,00  | 1105,00  | 1115,00  | 1145,00  | 1050,00  | 1140,00  | 1143,00  | 1105,00  | 1145,00  | 1108,00  | 1155,00  | 1164,00  | 1229,00  |
| X             | 228,00   | 225,90   | 231,00   | 239,40   | 225,00   | 229,00   | 260,20   | 224,00   | 249,20   | 233,00   | 241,00   | 230,40   | 237,80   | 221,00   | 223,00   | 229,00   | 210,00   | 228,00   | 228,60   | 221,00   | 229,00   | 221,60   | 231,80   | 232,80   | 245,60   |
| σ st          | 13,6984  | 17,3206  | 9,6177   | 8,3061   | 17,3206  | 17,8185  | 7,2535   | 9,6177   | 10,3062  | 9,7468   | 11,4018  | 16,2266  | 15,0752  | 16,3687  | 9,6799   | 14,3178  | 12,7475  | 14,4049  | 10,6972  | 12,4499  | 17,1026  | 14,4672  | 12,4579  | 15,3306  | 15,8468  |
| σ lt          | 14,5392  | 12,9294  | 12,8648  | 13,6648  | 14,0852  | 17,7141  | 16,9923  | 17,7964  | 17,3623  | 16,3814  | 15,3838  | 13,8846  | 15,1261  | 14,1590  | 14,6725  | 15,5275  | 15,2769  | 12,7818  | 12,2200  | 14,3812  | 14,2550  | 13,1341  | 13,5384  | 15,0879  |          |
| uZ lt         | 8,49     | 9,44     | 9,26     | 8,81     | 8,55     | 6,50     | 6,78     | 6,33     | 6,24     | 6,76     | 6,90     | 8,22     | 7,53     | 8,40     | 8,16     | 7,98     | 8,19     | 9,23     | 9,58     | 8,74     | 8,91     | 9,39     | 9,02     | 7,53     |          |
| lsl Z lt      | 15,58    | 17,64    | 17,94    | 16,81    | 16,30    | 13,26    | 13,22    | 13,41    | 13,25    | 14,83    | 14,59    | 16,99    | 15,56    | 16,32    | 15,70    | 14,40    | 14,72    | 16,26    | 16,89    | 15,59    | 15,55    | 17,26    | 16,74    | 14,50    |          |
| Zlt           |          |          |          |          |          | 8,55     | 6,50     | 6,78     | 6,33     | 6,24     | 6,76     | 6,90     | 8,22     | 7,53     | 8,40     | 8,16     | 7,98     | 8,19     | 9,23     | 9,58     | 8,74     | 8,91     | 9,39     | 9,02     | 7,53     |
| Zst           | 9,36     | 7,22     | 12,37    | 12,42    | 7,22     | 6,79     | 12,37    | 13,10    | 9,78     | 12,00    | 9,56     | 7,27     | 7,44     | 8,08     | 13,10    | 8,45     | 10,98    | 8,47     | 11,46    | 10,36    | 7,07     | 8,88     | 8,49     | 7,23     | 6,55     |
| u Z st        | 9,36     | 7,22     | 12,37    | 12,42    | 7,22     | 6,79     | 12,37    | 13,10    | 9,78     | 12,00    | 9,56     | 7,27     | 7,44     | 8,08     | 13,10    | 8,45     | 10,98    | 8,47     | 11,46    | 10,36    | 7,07     | 8,88     | 8,49     | 7,23     | 6,55     |
| l Z st        | 17,49    | 12,99    | 24,02    | 26,89    | 12,99    | 12,85    | 35,84    | 23,29    | 24,19    | 23,91    | 21,14    | 14,20    | 15,78    | 18,44    | 23,06    | 15,99    | 16,47    | 15,83    | 21,57    | 17,75    | 13,29    | 15,22    | 15,61    | 14,56    | 15,40    |
| ZLT (target)  | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      |
| Z.ST (target) | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        |

rev. 3

rev 3

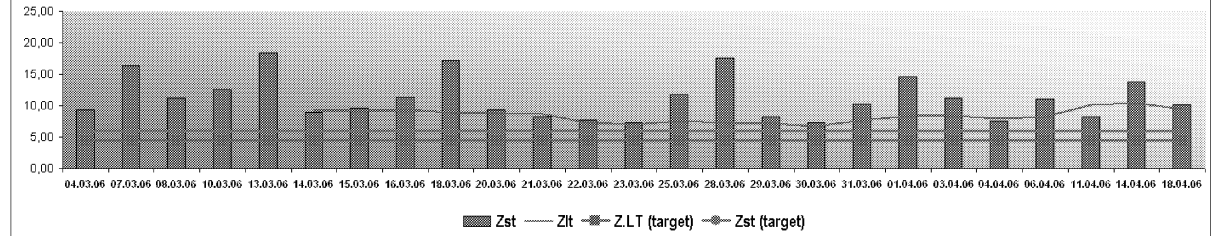
Tablo G.2 Kontrol Tablosu (2)

## CTQ KONTROL GRAFİĞİ

| SORUMLU | ONAY |
|---------|------|
|         |      |

## CTQ TAKİP

| PARÇA ADI     | KONDANSER FANI         | SPEŞİFİKASYON     | MAX | MODEL             | SK<br>5400027902 | CTQ NO  | AÇIKLAMA |
|---------------|------------------------|-------------------|-----|-------------------|------------------|---------|----------|
| CTQ ADI       | BALANS                 | SPEKT.<br>ARALIĞI | MAX | BÖLÜM             | GKK              | CTQ-8.3 |          |
| ÖLÇME YÖNTEMİ | FAN BALANS<br>MAKİNASI | MIN               | 0   | KONTROL<br>DÖNEMİ | 2006             |         |          |



| Date         | 04.03.06 | 07.03.06 | 08.03.06 | 10.03.06 | 13.03.06 | 14.03.06 | 15.03.06 | 16.03.06 | 18.03.06 | 20.03.06 | 21.03.06 | 22.03.06 | 23.03.06 | 25.03.06 | 28.03.06 | 29.03.06 | 30.03.06 | 31.03.06 | 01.04.06 | 03.04.06 | 04.04.06 | 06.04.06 | 11.04.06 | 14.04.06 | 18.04.06 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Data 1       | 250,00   | 205,00   | 233,00   | 216,00   | 201,00   | 205,00   | 240,00   | 206,00   | 245,00   | 208,00   | 240,00   | 251,00   | 246,00   | 219,00   | 202,00   | 204,00   | 242,00   | 201,00   | 210,00   | 226,00   | 225,00   | 204,00   | 241,00   | 212,00   | 240,00   |
| Data 2       | 230,00   | 201,00   | 242,00   | 235,00   | 222,00   | 226,00   | 236,00   | 231,00   | 233,00   | 228,00   | 211,00   | 235,00   | 219,00   | 205,00   | 205,00   | 241,00   | 231,00   | 230,00   | 202,00   | 231,00   | 235,00   | 225,00   | 201,00   | 211,00   | 213,00   |
| Data 3       | 220,00   | 222,00   | 215,00   | 241,00   | 208,00   | 235,00   | 238,00   | 202,00   | 228,00   | 245,00   | 205,00   | 265,00   | 247,00   | 231,00   | 213,00   | 231,00   | 253,00   | 210,00   | 205,00   | 212,00   | 216,00   | 232,00   | 215,00   | 230,00   | 232,00   |
| Data 4       | 220,00   | 201,00   | 222,00   | 230,00   | 209,00   | 241,00   | 210,00   | 213,00   | 235,00   | 231,00   | 203,00   | 231,00   | 250,00   | 228,00   | 214,00   | 229,00   | 224,00   | 221,00   | 226,00   | 201,00   | 245,00   | 221,00   | 220,00   | 203,00   | 236,00   |
| Data 5       | 220,00   | 204,00   | 235,00   | 225,00   | 211,00   | 230,00   | 225,00   | 201,00   | 242,00   | 226,00   | 229,00   | 248,00   | 220,00   | 217,00   | 222,00   | 210,00   | 260,00   | 230,00   | 215,00   | 216,00   | 202,00   | 232,00   | 202,00   | 215,00   | 242,00   |
| Sum          | 1140,00  | 1033,00  | 1147,00  | 1147,00  | 1051,00  | 1137,00  | 1149,00  | 1053,00  | 1184,00  | 1136,00  | 1088,00  | 1230,00  | 1182,00  | 1091,00  | 1059,00  | 1115,00  | 1219,00  | 1092,00  | 1069,00  | 1086,00  | 1123,00  | 1114,00  | 1079,00  | 1071,00  | 1163,00  |
| X            | 228,00   | 206,60   | 229,40   | 229,40   | 210,20   | 227,40   | 229,80   | 210,60   | 236,80   | 227,20   | 217,60   | 246,00   | 236,40   | 218,20   | 211,80   | 223,00   | 243,80   | 218,40   | 211,80   | 217,20   | 224,60   | 222,80   | 215,80   | 216,20   | 232,60   |
| σ st         | 13,0334  | 8,7926   | 10,7942  | 9,5551   | 7,5961   | 13,7222  | 12,4960  | 12,2410  | 6,6727   | 10,2552  | 16,1802  | 15,5847  | 16,5916  | 11,2116  | 7,9183   | 15,4434  | 14,9164  | 12,7897  | 9,4499   | 11,8186  | 16,5520  | 11,5196  | 16,3903  | 9,8843   | 11,6103  |
| σ lt         |          | 15,3968  | 14,8509  | 13,9483  | 13,8730  | 13,2442  | 13,9302  | 13,6114  | 14,1384  | 14,4278  | 14,4051  | 16,5821  | 17,2314  | 16,9081  | 17,1210  | 17,2392  | 17,8108  | 16,2195  | 16,3374  | 15,4392  | 15,8210  | 15,3526  | 12,3044  | 12,6550  | 13,6240  |
| uZ lt        |          | 8,62     | 8,96     | 9,08     | 9,32     | 9,28     | 9,18     | 9,38     | 9,31     | 8,76     | 8,64     | 7,36     | 7,92     | 7,62     | 7,24     | 7,16     | 6,77     | 7,67     | 8,43     | 8,39     | 9,04     | 8,29     | 10,20    | 10,45    | 9,45     |
| islZ lt      |          | 14,11    | 14,90    | 16,01    | 15,91    | 16,32    | 15,95    | 16,37    | 16,88    | 16,60    | 15,50    | 16,75    | 18,30    | 14,48    | 19,21    | 12,96    | 12,88    | 13,78    | 14,09    | 14,09    | 14,06    | 14,61    | 16,82    | 17,20    | 16,24    |
| Zlt          |          |          |          |          |          | 9,26     | 9,18     | 9,35     | 8,91     | 8,76     | 8,64     | 7,36     | 7,02     | 7,62     | 7,24     | 7,16     | 6,77     | 7,67     | 8,43     | 8,39     | 9,04     | 8,29     | 10,20    | 10,45    | 9,45     |
| Zst          | 9,36     | 16,21    | 11,18    | 12,62    | 18,40    | 9,30     | 9,62     | 11,20    | 17,22    | 9,26     | 8,18     | 7,67     | 7,30     | 11,76    | 17,53    | 9,22     | 7,24     | 10,33    | 14,65    | 11,24    | 7,50     | 11,04    | 9,23     | 13,74    | 10,11    |
| uZ st        | 8,36     | 16,21    | 11,18    | 12,62    | 18,40    | 9,30     | 9,62     | 11,20    | 17,22    | 9,26     | 8,18     | 7,67     | 7,30     | 11,76    | 17,53    | 9,22     | 7,24     | 10,33    | 14,65    | 11,24    | 7,50     | 11,04    | 9,23     | 13,74    | 10,11    |
| iZ st        | 17,49    | 22,60    | 21,27    | 24,01    | 27,67    | 16,57    | 16,29    | 17,97    | 36,03    | 17,14    | 13,45    | 16,14    | 15,25    | 19,46    | 26,97    | 14,44    | 16,22    | 17,14    | 22,29    | 18,98    | 10,49    | 19,44    | 18,24    | 21,67    | 20,03    |
| ZLT (target) | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      | 4,5      |
| ZST (target) | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        |

## EK H

Tablo H.1 Standart Normal Dağılım Tablosu (1)

| Z   | 0        | 0.01     | 0.02     | 0.03     | 0.04     | 0.05     | 0.06     | 0.07     | 0.08     | 0.09     |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.0 | 5.00E-01 | 4.96E-01 | 4.92E-01 | 4.88E-01 | 4.84E-01 | 4.80E-01 | 4.76E-01 | 4.72E-01 | 4.68E-01 | 4.64E-01 |
| 0.1 | 4.60E-01 | 4.56E-01 | 4.52E-01 | 4.48E-01 | 4.44E-01 | 4.40E-01 | 4.36E-01 | 4.33E-01 | 4.29E-01 | 4.25E-01 |
| 0.2 | 4.21E-01 | 4.17E-01 | 4.13E-01 | 4.09E-01 | 4.05E-01 | 4.01E-01 | 3.97E-01 | 3.94E-01 | 3.90E-01 | 3.86E-01 |
| 0.3 | 3.82E-01 | 3.78E-01 | 3.75E-01 | 3.71E-01 | 3.67E-01 | 3.63E-01 | 3.59E-01 | 3.56E-01 | 3.52E-01 | 3.48E-01 |
| 0.4 | 3.45E-01 | 3.41E-01 | 3.37E-01 | 3.34E-01 | 3.30E-01 | 3.26E-01 | 3.23E-01 | 3.19E-01 | 3.16E-01 | 3.12E-01 |
| 0.5 | 3.09E-01 | 3.05E-01 | 3.02E-01 | 2.98E-01 | 2.95E-01 | 2.91E-01 | 2.88E-01 | 2.84E-01 | 2.81E-01 | 2.78E-01 |
| 0.6 | 2.74E-01 | 2.71E-01 | 2.68E-01 | 2.64E-01 | 2.61E-01 | 2.58E-01 | 2.55E-01 | 2.51E-01 | 2.48E-01 | 2.45E-01 |
| 0.7 | 2.42E-01 | 2.39E-01 | 2.36E-01 | 2.33E-01 | 2.30E-01 | 2.27E-01 | 2.24E-01 | 2.21E-01 | 2.18E-01 | 2.15E-01 |
| 0.8 | 2.12E-01 | 2.09E-01 | 2.06E-01 | 2.03E-01 | 2.01E-01 | 1.98E-01 | 1.95E-01 | 1.92E-01 | 1.89E-01 | 1.87E-01 |
| 0.9 | 1.84E-01 | 1.81E-01 | 1.79E-01 | 1.76E-01 | 1.74E-01 | 1.71E-01 | 1.69E-01 | 1.66E-01 | 1.64E-01 | 1.61E-01 |
| 1.0 | 1.59E-01 | 1.56E-01 | 1.539E01 | 1.52E-01 | 1.49E-01 | 1.47E-01 | 1.45E-01 | 1.42E-01 | 1.40E-01 | 1.38E-01 |
| 1.1 | 1.36E-01 | 1.34E-01 | 1.31E-01 | 1.29E-01 | 1.27E-01 | 1.25E-01 | 1.23E-01 | 1.21E-01 | 1.19E-01 | 1.17E-01 |
| 1.2 | 1.15E-01 | 1.13E-01 | 1.11E-01 | 1.09E-01 | 1.08E-01 | 1.06E-01 | 1.04E-01 | 1.02E-01 | 1.00E-01 | 9.85E-02 |
| 1.3 | 9.68E-02 | 9.51E-02 | 9.34E-02 | 9.18E-02 | 9.01E-02 | 8.85E-02 | 8.69E-02 | 8.53E-02 | 8.38E-02 | 8.23E-02 |
| 1.4 | 8.08E-02 | 7.93E-02 | 7.78E-02 | 7.64E-02 | 7.49E-02 | 7.35E-02 | 7.21E-02 | 7.08E-02 | 6.94E-02 | 6.81E-02 |
| 1.5 | 6.68E-02 | 6.55E-02 | 6.43E-02 | 6.30E-02 | 6.18E-02 | 6.06E-02 | 5.94E-02 | 5.82E-02 | 5.71E-02 | 5.59E-02 |
| 1.6 | 5.48E-02 | 5.37E-02 | 5.26E-02 | 5.16E-02 | 5.05E-02 | 4.95E-02 | 4.85E-02 | 4.75E-02 | 4.65E-02 | 4.55E-02 |
| 1.7 | 4.46E-02 | 4.36E-02 | 4.27E-02 | 4.18E-02 | 4.09E-02 | 4.01E-02 | 3.92E-02 | 3.84E-02 | 3.75E-02 | 3.67E-02 |
| 1.8 | 3.59E-02 | 3.52E-02 | 3.44E-02 | 3.36E-02 | 3.29E-02 | 3.22E-02 | 3.14E-02 | 3.07E-02 | 3.01E-02 | 2.94E-02 |
| 1.9 | 2.87E-02 | 2.81E-02 | 2.74E-02 | 2.68E-02 | 2.62E-02 | 2.56E-02 | 2.50E-02 | 2.44E-02 | 2.39E-02 | 2.33E-02 |
| 2.0 | 2.28E-02 | 2.22E-02 | 2.17E-02 | 2.12E-02 | 2.07E-02 | 2.02E-02 | 1.97E-02 | 1.92E-02 | 1.88E-02 | 1.83E-02 |
| 2.1 | 1.79E-02 | 1.74E-02 | 1.70E-02 | 1.66E-02 | 1.62E-02 | 1.58E-02 | 1.54E-02 | 1.50E-02 | 1.46E-02 | 1.43E-02 |
| 2.2 | 1.39E-02 | 1.36E-02 | 1.32E-02 | 1.29E-02 | 1.26E-02 | 1.22E-02 | 1.19E-02 | 1.16E-02 | 1.13E-02 | 1.10E-02 |
| 2.3 | 1.07E-02 | 1.04E-02 | 1.02E-02 | 9.90E-03 | 9.64E-03 | 9.39E-03 | 9.14E-03 | 8.89E-03 | 8.66E-03 | 8.42E-03 |
| 2.4 | 8.20E-03 | 7.98E-03 | 7.76E-03 | 7.55E-03 | 7.34E-03 | 7.14E-03 | 6.95E-03 | 6.76E-03 | 6.57E-03 | 6.39E-03 |
| 2.5 | 6.21E-03 | 6.04E-03 | 5.87E-03 | 5.70E-03 | 5.54E-03 | 5.39E-03 | 5.23E-03 | 5.09E-03 | 4.94E-03 | 4.80E-03 |
| 2.6 | 4.66E-03 | 4.53E-03 | 4.40E-03 | 4.27E-03 | 4.15E-03 | 4.02E-03 | 3.91E-03 | 3.79E-03 | 3.68E-03 | 3.57E-03 |
| 2.7 | 3.47E-03 | 3.36E-03 | 3.26E-03 | 3.17E-03 | 3.07E-03 | 2.98E-03 | 2.89E-03 | 2.80E-03 | 2.72E-03 | 2.64E-03 |
| 2.8 | 2.56E-03 | 2.48E-03 | 2.40E-03 | 2.33E-03 | 2.26E-03 | 2.19E-03 | 2.12E-03 | 2.05E-03 | 1.99E-03 | 1.93E-03 |
| 2.9 | 1.87E-03 | 1.81E-03 | 1.75E-03 | 1.70E-03 | 1.64E-03 | 1.59E-03 | 1.54E-03 | 1.49E-03 | 1.44E-03 | 1.40E-03 |
| 3.0 | 1.35E-03 | 1.31E-03 | 1.26E-03 | 1.22E-03 | 1.18E-03 | 1.14E-03 | 1.11E-03 | 1.07E-03 | 1.04E-03 | 1.00E-03 |
| 3.1 | 9.68E-04 | 9.35E-04 | 9.04E-04 | 8.74E-04 | 8.45E-04 | 8.16E-04 | 7.89E-04 | 7.62E-04 | 7.36E-04 | 7.11E-04 |
| 3.2 | 6.87E-04 | 6.64E-04 | 6.41E-04 | 6.19E-04 | 5.98E-04 | 5.77E-04 | 5.57E-04 | 5.38E-04 | 5.19E-04 | 5.01E-04 |
| 3.3 | 4.84E-04 | 4.67E-04 | 4.50E-04 | 4.34E-04 | 4.19E-04 | 4.04E-04 | 3.90E-04 | 3.76E-04 | 3.63E-04 | 3.50E-04 |
| 3.4 | 3.37E-04 | 3.25E-04 | 3.13E-04 | 3.02E-04 | 2.91E-04 | 2.80E-04 | 2.70E-04 | 2.60E-04 | 2.51E-04 | 2.42E-04 |
| 3.5 | 2.33E-04 | 2.24E-04 | 2.16E-04 | 2.08E-04 | 2.00E-04 | 1.93E-04 | 1.86E-04 | 1.79E-04 | 1.72E-04 | 1.66E-04 |
| 3.6 | 1.59E-04 | 1.53E-04 | 1.47E-04 | 1.42E-04 | 1.36E-04 | 1.31E-04 | 1.26E-04 | 1.21E-04 | 1.17E-04 | 1.12E-04 |
| 3.7 | 1.08E-04 | 1.04E-04 | 9.97E-05 | 9.59E-05 | 9.21E-05 | 8.86E-05 | 8.51E-05 | 8.18E-05 | 7.85E-05 | 7.55E-05 |
| 3.8 | 7.25E-05 | 6.96E-05 | 6.69E-05 | 6.42E-05 | 6.17E-05 | 5.92E-05 | 5.68E-05 | 5.46E-05 | 5.24E-05 | 5.03E-05 |
| 3.9 | 4.82E-05 | 4.63E-05 | 4.44E-05 | 4.26E-05 | 4.09E-05 | 3.92E-05 | 3.76E-05 | 3.61E-05 | 3.46E-05 | 3.32E-05 |
| 4.0 | 3.18E-05 | 3.05E-05 | 2.92E-05 | 2.80E-05 | 2.68E-05 | 2.57E-05 | 2.47E-05 | 2.36E-05 | 2.26E-05 | 2.17E-05 |
| 4.1 | 2.08E-05 | 1.99E-05 | 1.91E-05 | 1.82E-05 | 1.75E-05 | 1.67E-05 | 1.60E-05 | 1.53E-05 | 1.47E-05 | 1.40E-05 |
| 4.2 | 1.34E-05 | 1.29E-05 | 1.23E-05 | 1.18E-05 | 1.13E-05 | 1.08E-05 | 1.03E-05 | 9.86E-06 | 9.43E-06 | 9.01E-06 |
| 4.3 | 8.62E-06 | 8.24E-06 | 7.88E-06 | 7.53E-06 | 7.20E-06 | 6.88E-06 | 6.57E-06 | 6.28E-06 | 6.00E-06 | 5.73E-06 |
| 4.4 | 5.48E-06 | 5.23E-06 | 5.00E-06 | 4.77E-06 | 4.56E-06 | 4.35E-06 | 4.16E-06 | 3.97E-06 | 3.79E-06 | 3.62E-06 |
| 4.5 | 3.45E-06 | 3.29E-06 | 3.14E-06 | 3.00E-06 | 2.86E-06 | 2.73E-06 | 2.60E-06 | 2.48E-06 | 2.37E-06 | 2.26E-06 |
| 4.6 | 2.15E-06 | 2.05E-06 | 1.96E-06 | 1.87E-06 | 1.78E-06 | 1.70E-06 | 1.62E-06 | 1.54E-06 | 1.47E-06 | 1.40E-06 |
| 4.7 | 1.33E-06 | 1.27E-06 | 1.21E-06 | 1.15E-06 | 1.10E-06 | 1.05E-06 | 9.96E-07 | 9.48E-07 | 9.03E-07 | 8.59E-07 |
| 4.8 | 8.18E-07 | 7.79E-07 | 7.41E-07 | 7.05E-07 | 6.71E-07 | 6.39E-07 | 6.08E-07 | 5.78E-07 | 5.50E-07 | 5.23E-07 |
| 4.9 | 4.98E-07 | 4.73E-07 | 4.50E-07 | 4.28E-07 | 4.07E-07 | 3.87E-07 | 3.68E-07 | 3.50E-07 | 3.32E-07 | 3.16E-07 |

Tablo H.2 Standart Normal Dağılım Tablosu (2)

| Z    | 0        | 0.01     | 0.02     | 0.03     | 0.04     | 0.05     | 0.06     | 0.07     | 0.08     | 0.09     |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5.0  | 3.00E-07 | 2.85E-07 | 2.71E-07 | 2.58E-07 | 2.45E-07 | 2.32E-07 | 2.21E-07 | 2.10E-07 | 1.99E-07 | 1.89E-07 |
| 5.1  | 1.80E-07 | 1.71E-07 | 1.62E-07 | 1.54E-07 | 1.46E-07 | 1.39E-07 | 1.31E-07 | 1.25E-07 | 1.18E-07 | 1.12E-07 |
| 5.2  | 1.07E-07 | 1.01E-07 | 9.59E-08 | 9.10E-08 | 8.63E-08 | 8.18E-08 | 7.76E-08 | 7.36E-08 | 6.98E-08 | 6.62E-08 |
| 5.3  | 6.27E-08 | 5.95E-08 | 5.64E-08 | 5.34E-08 | 5.06E-08 | 4.80E-08 | 4.55E-08 | 4.31E-08 | 4.08E-08 | 3.87E-08 |
| 5.4  | 3.66E-08 | 3.47E-08 | 3.29E-08 | 3.11E-08 | 2.95E-08 | 2.79E-08 | 2.64E-08 | 2.50E-08 | 2.37E-08 | 2.24E-08 |
| 5.5  | 2.12E-08 | 2.01E-08 | 1.90E-08 | 1.80E-08 | 1.70E-08 | 1.61E-08 | 1.53E-08 | 1.44E-08 | 1.37E-08 | 1.29E-08 |
| 5.6  | 1.22E-08 | 1.16E-08 | 1.09E-08 | 1.03E-08 | 9.78E-09 | 9.24E-09 | 8.74E-09 | 8.26E-09 | 7.81E-09 | 7.39E-09 |
| 5.7  | 6.98E-09 | 6.60E-09 | 6.24E-09 | 5.89E-09 | 5.57E-09 | 5.26E-09 | 4.97E-09 | 4.70E-09 | 4.44E-09 | 4.19E-09 |
| 5.8  | 3.96E-09 | 3.74E-09 | 3.53E-09 | 3.34E-09 | 3.15E-09 | 2.97E-09 | 2.81E-09 | 2.65E-09 | 2.50E-09 | 2.36E-09 |
| 5.9  | 2.23E-09 | 2.11E-09 | 1.99E-09 | 1.88E-09 | 1.77E-09 | 1.67E-09 | 1.58E-09 | 1.49E-09 | 1.40E-09 | 1.32E-09 |
| 6.0  | 1.25E-09 | 1.18E-09 | 1.11E-09 | 1.05E-09 | 9.88E-10 | 9.31E-10 | 8.78E-10 | 8.28E-10 | 7.81E-10 | 7.36E-10 |
| 6.1  | 6.94E-10 | 6.54E-10 | 6.17E-10 | 5.81E-10 | 5.48E-10 | 5.16E-10 | 4.87E-10 | 4.59E-10 | 4.32E-10 | 4.07E-10 |
| 6.2  | 3.84E-10 | 3.61E-10 | 3.40E-10 | 3.21E-10 | 3.02E-10 | 2.84E-10 | 2.68E-10 | 2.52E-10 | 2.38E-10 | 2.24E-10 |
| 6.3  | 2.11E-10 | 1.98E-10 | 1.87E-10 | 1.76E-10 | 1.66E-10 | 1.56E-10 | 1.47E-10 | 1.38E-10 | 1.30E-10 | 1.22E-10 |
| 6.4  | 1.15E-10 | 1.08E-10 | 1.02E-10 | 9.59E-11 | 9.02E-11 | 8.49E-11 | 7.98E-11 | 7.51E-11 | 7.06E-11 | 6.65E-11 |
| 6.5  | 6.25E-11 | 5.88E-11 | 5.53E-11 | 5.20E-11 | 4.89E-11 | 4.60E-11 | 4.32E-11 | 4.07E-11 | 3.82E-11 | 3.59E-11 |
| 6.6  | 3.38E-11 | 3.18E-11 | 2.98E-11 | 2.81E-11 | 2.64E-11 | 2.48E-11 | 2.33E-11 | 2.19E-11 | 2.06E-11 | 1.93E-11 |
| 6.7  | 1.82E-11 | 1.71E-11 | 1.60E-11 | 1.51E-11 | 1.42E-11 | 1.33E-11 | 1.25E-11 | 1.17E-11 | 1.10E-11 | 1.04E-11 |
| 6.8  | 9.72E-12 | 9.13E-12 | 8.57E-12 | 8.05E-12 | 7.56E-12 | 7.10E-12 | 6.66E-12 | 6.26E-12 | 5.87E-12 | 5.52E-12 |
| 6.9  | 5.18E-12 | 4.86E-12 | 4.56E-12 | 4.28E-12 | 4.02E-12 | 3.77E-12 | 3.54E-12 | 3.32E-12 | 3.12E-12 | 2.93E-12 |
| 7.0  | 2.75E-12 | 2.58E-12 | 2.42E-12 | 2.27E-12 | 2.13E-12 | 2.00E-12 | 1.87E-12 | 1.76E-12 | 1.65E-12 | 1.55E-12 |
| 7.1  | 1.45E-12 | 1.36E-12 | 1.28E-12 | 1.20E-12 | 1.12E-12 | 1.05E-12 | 9.88E-13 | 9.26E-13 | 8.69E-13 | 8.15E-13 |
| 7.2  | 7.64E-13 | 7.16E-13 | 6.72E-13 | 6.30E-13 | 5.90E-13 | 5.54E-13 | 5.19E-13 | 4.86E-13 | 4.56E-13 | 4.28E-13 |
| 7.3  | 4.01E-13 | 3.76E-13 | 3.52E-13 | 3.30E-13 | 3.09E-13 | 2.90E-13 | 2.72E-13 | 2.55E-13 | 2.39E-13 | 2.24E-13 |
| 7.4  | 2.10E-13 | 1.96E-13 | 1.84E-13 | 1.72E-13 | 1.62E-13 | 1.51E-13 | 1.42E-13 | 1.33E-13 | 1.24E-13 | 1.17E-13 |
| 7.5  | 1.09E-13 | 1.02E-13 | 9.58E-14 | 8.98E-14 | 8.41E-14 | 7.87E-14 | 7.38E-14 | 6.91E-14 | 6.47E-14 | 6.06E-14 |
| 7.6  | 5.68E-14 | 5.32E-14 | 4.98E-14 | 4.66E-14 | 4.37E-14 | 4.09E-14 | 3.83E-14 | 3.58E-14 | 3.36E-14 | 3.14E-14 |
| 7.7  | 2.94E-14 | 2.76E-14 | 2.58E-14 | 2.42E-14 | 2.26E-14 | 2.12E-14 | 1.98E-14 | 1.86E-14 | 1.74E-14 | 1.63E-14 |
| 7.8  | 1.52E-14 | 1.42E-14 | 1.33E-14 | 1.25E-14 | 1.17E-14 | 1.09E-14 | 1.02E-14 | 9.58E-15 | 8.97E-15 | 8.39E-15 |
| 7.9  | 7.85E-15 | 7.35E-15 | 6.88E-15 | 6.44E-15 | 6.02E-15 | 5.64E-15 | 5.28E-15 | 4.94E-15 | 4.62E-15 | 4.32E-15 |
| 8.0  | 4.05E-15 | 3.79E-15 | 3.54E-15 | 3.31E-15 | 3.10E-15 | 2.90E-15 | 2.72E-15 | 2.54E-15 | 2.38E-15 | 2.22E-15 |
| 8.1  | 2.08E-15 | 1.95E-15 | 1.82E-15 | 1.70E-15 | 1.59E-15 | 1.49E-15 | 1.40E-15 | 1.31E-15 | 1.22E-15 | 1.14E-15 |
| 8.2  | 1.07E-15 | 9.99E-16 | 9.35E-16 | 8.74E-16 | 8.18E-16 | 7.65E-16 | 7.16E-16 | 6.69E-16 | 6.26E-16 | 5.86E-16 |
| 8.3  | 5.48E-16 | 5.12E-16 | 4.79E-16 | 4.48E-16 | 4.19E-16 | 3.92E-16 | 3.67E-16 | 3.43E-16 | 3.21E-16 | 3.00E-16 |
| 8.4  | 2.81E-16 | 2.62E-16 | 2.45E-16 | 2.30E-16 | 2.15E-16 | 2.01E-16 | 1.88E-16 | 1.76E-16 | 1.64E-16 | 1.54E-16 |
| 8.5  | 1.44E-16 | 1.34E-16 | 1.26E-16 | 1.17E-16 | 1.10E-16 | 1.03E-16 | 9.60E-17 | 8.98E-17 | 8.40E-17 | 7.85E-17 |
| 8.6  | 7.34E-17 | 6.87E-17 | 6.42E-17 | 6.00E-17 | 5.61E-17 | 5.25E-17 | 4.91E-17 | 4.59E-17 | 4.29E-17 | 4.01E-17 |
| 8.7  | 3.75E-17 | 3.51E-17 | 3.28E-17 | 3.07E-17 | 2.87E-17 | 2.68E-17 | 2.51E-17 | 2.35E-17 | 2.19E-17 | 2.05E-17 |
| 8.8  | 1.92E-17 | 1.79E-17 | 1.68E-17 | 1.57E-17 | 1.47E-17 | 1.37E-17 | 1.28E-17 | 1.20E-17 | 1.12E-17 | 1.05E-17 |
| 8.9  | 9.79E-18 | 9.16E-18 | 8.56E-18 | 8.00E-18 | 7.48E-18 | 7.00E-18 | 6.54E-18 | 6.12E-18 | 5.72E-18 | 5.35E-18 |
| 9.0  | 5.00E-18 | 4.68E-18 | 4.37E-18 | 4.09E-18 | 3.82E-18 | 3.57E-18 | 3.34E-18 | 3.13E-18 | 2.92E-18 | 2.73E-18 |
| 9.1  | 2.56E-18 | 2.39E-18 | 2.23E-18 | 2.09E-18 | 1.95E-18 | 1.83E-18 | 1.71E-18 | 1.60E-18 | 1.49E-18 | 1.40E-18 |
| 9.2  | 1.31E-18 | 1.22E-18 | 1.14E-18 | 1.07E-18 | 9.98E-19 | 9.33E-19 | 8.73E-19 | 8.16E-19 | 7.63E-19 | 7.14E-19 |
| 9.3  | 6.67E-19 | 6.24E-19 | 5.83E-19 | 5.46E-19 | 5.10E-19 | 4.77E-19 | 4.46E-19 | 4.17E-19 | 3.90E-19 | 3.65E-19 |
| 9.4  | 3.41E-19 | 3.19E-19 | 2.98E-19 | 2.79E-19 | 2.61E-19 | 2.44E-19 | 2.28E-19 | 2.14E-19 | 2.00E-19 | 1.87E-19 |
| 9.5  | 1.75E-19 | 1.63E-19 | 1.53E-19 | 1.43E-19 | 1.34E-19 | 1.25E-19 | 1.17E-19 | 1.09E-19 | 1.02E-19 | 9.56E-20 |
| 9.6  | 8.94E-20 | 8.37E-20 | 7.82E-20 | 7.32E-20 | 6.85E-20 | 6.40E-20 | 5.99E-20 | 5.60E-20 | 5.24E-20 | 4.90E-20 |
| 9.7  | 4.58E-20 | 4.29E-20 | 4.01E-20 | 3.75E-20 | 3.51E-20 | 3.28E-20 | 3.07E-20 | 2.87E-20 | 2.69E-20 | 2.52E-20 |
| 9.8  | 2.35E-20 | 2.20E-20 | 2.06E-20 | 1.93E-20 | 1.80E-20 | 1.69E-20 | 1.58E-20 | 1.48E-20 | 1.38E-20 | 1.29E-20 |
| 9.9  | 1.21E-20 | 1.13E-20 | 1.06E-20 | 9.90E-21 | 9.26E-21 | 8.67E-21 | 8.11E-21 | 7.59E-21 | 7.10E-21 | 6.64E-21 |
| 10.0 | 6.22E-21 | 5.82E-21 | 5.44E-21 | 5.09E-21 | 4.77E-21 | 4.46E-21 | 4.17E-21 | 3.91E-21 | 3.66E-21 | 3.42E-21 |

# EK I

Tablo I.1T Dağılımı Tablosu

| sd  | .600  | .700  | .800  | .900  | .950  | .975   | .990   | .995   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1   | 0.325 | 0.727 | 1.376 | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.657 |
| 2   | 0.289 | 0.617 | 1.061 | 1.886 | 2.920 | 4.303  | 6.965  | 9.925  |
| 3   | 0.277 | 0.584 | 0.978 | 1.638 | 2.353 | 3.182  | 4.541  | 5.841  |
| 4   | 0.271 | 0.569 | 0.941 | 1.533 | 2.132 | 2.776  | 3.747  | 4.604  |
| 5   | 0.267 | 0.559 | 0.920 | 1.476 | 2.015 | 2.571  | 3.365  | 4.032  |
| 6   | 0.265 | 0.553 | 0.906 | 1.440 | 1.943 | 2.447  | 3.143  | 3.707  |
| 7   | 0.263 | 0.549 | 0.896 | 1.415 | 1.895 | 2.365  | 2.998  | 3.499  |
| 8   | 0.262 | 0.546 | 0.889 | 1.397 | 1.860 | 2.306  | 2.896  | 3.355  |
| 9   | 0.261 | 0.543 | 0.883 | 1.383 | 1.833 | 2.262  | 2.821  | 3.250  |
| 10  | 0.260 | 0.542 | 0.879 | 1.372 | 1.812 | 2.228  | 2.764  | 3.169  |
| 11  | 0.260 | 0.540 | 0.876 | 1.363 | 1.796 | 2.201  | 2.718  | 3.106  |
| 12  | 0.259 | 0.539 | 0.873 | 1.356 | 1.782 | 2.179  | 2.681  | 3.055  |
| 13  | 0.259 | 0.538 | 0.870 | 1.350 | 1.771 | 2.160  | 2.650  | 3.012  |
| 14  | 0.258 | 0.537 | 0.868 | 1.345 | 1.761 | 2.145  | 2.624  | 2.977  |
| 15  | 0.258 | 0.536 | 0.866 | 1.341 | 1.753 | 2.131  | 2.602  | 2.947  |
| 16  | 0.258 | 0.535 | 0.865 | 1.337 | 1.746 | 2.120  | 2.583  | 2.921  |
| 17  | 0.257 | 0.534 | 0.863 | 1.333 | 1.740 | 2.110  | 2.567  | 2.898  |
| 18  | 0.257 | 0.534 | 0.862 | 1.330 | 1.734 | 2.101  | 2.552  | 2.878  |
| 19  | 0.257 | 0.533 | 0.861 | 1.328 | 1.729 | 2.093  | 2.539  | 2.861  |
| 20  | 0.257 | 0.533 | 0.860 | 1.325 | 1.725 | 2.086  | 2.528  | 2.845  |
| 21  | 0.257 | 0.532 | 0.859 | 1.323 | 1.721 | 2.080  | 2.518  | 2.831  |
| 22  | 0.256 | 0.532 | 0.858 | 1.321 | 1.717 | 2.074  | 2.508  | 2.819  |
| 23  | 0.256 | 0.532 | 0.858 | 1.319 | 1.714 | 2.069  | 2.500  | 2.807  |
| 24  | 0.256 | 0.531 | 0.857 | 1.318 | 1.711 | 2.064  | 2.492  | 2.797  |
| 25  | 0.256 | 0.531 | 0.856 | 1.316 | 1.708 | 2.060  | 2.485  | 2.787  |
| 26  | 0.256 | 0.531 | 0.856 | 1.315 | 1.706 | 2.056  | 2.479  | 2.779  |
| 27  | 0.256 | 0.531 | 0.855 | 1.314 | 1.703 | 2.052  | 2.473  | 2.771  |
| 28  | 0.256 | 0.530 | 0.855 | 1.313 | 1.701 | 2.048  | 2.467  | 2.763  |
| 29  | 0.256 | 0.530 | 0.854 | 1.311 | 1.699 | 2.045  | 2.462  | 2.756  |
| 30  | 0.256 | 0.530 | 0.854 | 1.310 | 1.697 | 2.042  | 2.457  | 2.750  |
| 40  | 0.255 | 0.529 | 0.851 | 1.303 | 1.684 | 2.021  | 2.423  | 2.704  |
| 60  | 0.254 | 0.527 | 0.848 | 1.296 | 1.671 | 2.000  | 2.390  | 2.660  |
| 120 | 0.254 | 0.526 | 0.845 | 1.289 | 1.658 | 1.980  | 2.358  | 2.617  |
| ∞   | 0.253 | 0.524 | 0.842 | 1.282 | 1.645 | 1.960  | 2.326  | 2.576  |

## EK J

Tablo J.1 Ki Kare Dağılımı Tablosu (1)

| sd  | .995    | .990    | .975    | .950    | .900    | .750    | .500    |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1   | .000039 | .000160 | .000980 | .003930 | .015800 | .101500 | .455000 |
| 2   | 0.010   | 0.020   | 0.051   | 0.103   | 0.211   | 0.575   | 1.386   |
| 3   | 0.072   | 0.115   | 0.216   | 0.352   | 0.584   | 1.213   | 2.366   |
| 4   | 0.207   | 0.297   | 0.484   | 0.711   | 1.064   | 1.923   | 3.357   |
| 5   | 0.412   | 0.554   | 0.831   | 1.145   | 1.610   | 2.675   | 4.351   |
| 6   | 0.676   | 0.872   | 1.237   | 1.635   | 2.204   | 3.455   | 5.348   |
| 7   | 0.989   | 1.239   | 1.690   | 2.167   | 2.833   | 4.255   | 6.346   |
| 8   | 1.344   | 1.646   | 2.180   | 2.733   | 3.490   | 5.071   | 7.344   |
| 9   | 1.735   | 2.088   | 2.700   | 3.325   | 4.168   | 5.899   | 8.343   |
| 10  | 2.156   | 2.558   | 3.247   | 3.940   | 4.865   | 6.737   | 9.342   |
| 11  | 2.603   | 3.053   | 3.816   | 4.575   | 5.578   | 7.584   | 10.341  |
| 12  | 3.074   | 3.571   | 4.404   | 5.226   | 6.304   | 8.438   | 11.340  |
| 13  | 3.565   | 4.107   | 5.009   | 5.892   | 7.042   | 9.299   | 12.340  |
| 14  | 4.075   | 4.660   | 5.629   | 6.571   | 7.790   | 10.165  | 13.339  |
| 15  | 4.601   | 5.229   | 6.262   | 7.261   | 8.547   | 11.036  | 14.339  |
| 16  | 5.142   | 5.812   | 6.908   | 7.962   | 9.312   | 11.912  | 15.338  |
| 17  | 5.697   | 6.408   | 7.564   | 8.672   | 10.085  | 12.792  | 16.338  |
| 18  | 6.265   | 7.015   | 8.231   | 9.390   | 10.865  | 13.675  | 17.338  |
| 19  | 6.844   | 7.633   | 8.907   | 10.117  | 11.651  | 14.562  | 18.338  |
| 20  | 7.434   | 8.260   | 9.591   | 10.851  | 12.443  | 15.452  | 19.337  |
| 21  | 8.034   | 8.897   | 10.283  | 11.591  | 13.240  | 16.344  | 20.337  |
| 22  | 8.643   | 9.542   | 10.982  | 12.338  | 14.041  | 17.240  | 21.337  |
| 23  | 9.260   | 10.196  | 11.688  | 13.091  | 14.848  | 18.137  | 22.337  |
| 24  | 9.886   | 10.856  | 12.401  | 13.848  | 15.659  | 19.037  | 23.337  |
| 25  | 10.520  | 11.524  | 13.120  | 14.611  | 16.473  | 19.939  | 24.337  |
| 26  | 11.160  | 12.198  | 13.844  | 15.379  | 17.292  | 20.843  | 25.336  |
| 27  | 11.808  | 12.879  | 14.573  | 16.151  | 18.114  | 21.749  | 26.336  |
| 28  | 12.461  | 13.565  | 15.308  | 16.928  | 18.939  | 22.657  | 27.336  |
| 29  | 13.121  | 14.256  | 16.047  | 17.708  | 19.768  | 23.567  | 28.336  |
| 30  | 13.787  | 14.953  | 16.791  | 18.493  | 20.599  | 24.478  | 29.336  |
| 40  | 20.707  | 22.164  | 24.433  | 26.509  | 29.051  | 33.660  | 39.335  |
| 50  | 27.991  | 29.707  | 32.357  | 34.764  | 37.689  | 42.942  | 49.335  |
| 60  | 35.535  | 37.485  | 40.482  | 43.188  | 46.459  | 52.294  | 59.335  |
| 70  | 43.275  | 45.442  | 48.758  | 51.739  | 55.329  | 61.698  | 69.334  |
| 80  | 51.172  | 53.540  | 57.153  | 60.391  | 64.278  | 71.145  | 79.334  |
| 90  | 59.196  | 61.754  | 65.647  | 69.126  | 73.291  | 80.625  | 89.334  |
| 100 | 67.328  | 70.065  | 74.222  | 77.929  | 82.358  | 90.133  | 99.334  |

Tablo J.2 Ki Kare Dağılımı Tablosu (2)

| sd  | .250    | .100    | .050    | .025    | .010    | .005    | .001    |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1   | 1.323   | 2.706   | 3.841   | 5.024   | 6.635   | 7.879   | 10.828  |
| 2   | 2.773   | 4.605   | 5.991   | 7.378   | 9.210   | 10.597  | 13.816  |
| 3   | 4.108   | 6.251   | 7.815   | 9.348   | 11.345  | 12.838  | 16.266  |
| 4   | 5.385   | 7.779   | 9.488   | 11.143  | 13.277  | 14.860  | 18.467  |
| 5   | 6.626   | 9.236   | 11.070  | 12.832  | 15.086  | 16.750  | 20.515  |
| 6   | 7.841   | 10.645  | 12.592  | 14.449  | 16.812  | 18.548  | 22.458  |
| 7   | 9.037   | 12.017  | 14.067  | 16.013  | 18.475  | 20.278  | 24.322  |
| 8   | 10.219  | 13.362  | 15.507  | 17.535  | 20.090  | 21.955  | 26.125  |
| 9   | 11.389  | 14.684  | 16.919  | 19.023  | 21.666  | 23.589  | 27.877  |
| 10  | 12.549  | 15.987  | 18.307  | 20.483  | 23.209  | 25.188  | 29.588  |
| 11  | 13.701  | 17.275  | 19.675  | 21.920  | 24.725  | 26.757  | 31.264  |
| 12  | 14.845  | 18.549  | 21.026  | 23.337  | 26.217  | 28.300  | 32.909  |
| 13  | 15.984  | 19.812  | 22.362  | 24.736  | 27.688  | 29.819  | 34.528  |
| 14  | 17.117  | 21.064  | 23.685  | 26.119  | 29.141  | 31.319  | 36.123  |
| 15  | 18.245  | 22.307  | 24.996  | 27.488  | 30.578  | 32.801  | 37.697  |
| 16  | 19.369  | 23.542  | 26.296  | 28.845  | 32.000  | 34.267  | 39.252  |
| 17  | 20.489  | 24.769  | 27.587  | 30.191  | 33.409  | 35.718  | 40.790  |
| 18  | 21.605  | 25.989  | 28.869  | 31.526  | 34.805  | 37.156  | 43.312  |
| 19  | 22.718  | 27.204  | 30.144  | 32.852  | 36.191  | 38.582  | 43.820  |
| 20  | 23.828  | 28.412  | 31.410  | 34.170  | 37.566  | 39.997  | 45.315  |
| 21  | 24.935  | 29.615  | 32.671  | 35.479  | 38.932  | 41.401  | 46.797  |
| 22  | 26.039  | 30.813  | 33.924  | 36.781  | 40.289  | 42.796  | 48.268  |
| 23  | 27.141  | 32.007  | 35.172  | 38.076  | 41.638  | 44.181  | 49.728  |
| 24  | 28.241  | 33.196  | 36.415  | 39.364  | 42.980  | 45.558  | 51.179  |
| 25  | 29.339  | 34.382  | 37.652  | 40.646  | 44.314  | 46.928  | 52.620  |
| 26  | 30.434  | 35.563  | 38.885  | 41.923  | 45.642  | 48.290  | 54.052  |
| 27  | 31.528  | 36.741  | 40.113  | 43.194  | 46.963  | 49.645  | 55.476  |
| 28  | 32.620  | 37.916  | 41.337  | 44.461  | 48.278  | 50.993  | 56.892  |
| 29  | 33.711  | 39.087  | 42.557  | 45.722  | 49.588  | 52.336  | 58.302  |
| 30  | 34.800  | 40.256  | 43.773  | 46.979  | 50.892  | 53.672  | 59.703  |
| 40  | 45.616  | 51.805  | 55.758  | 59.342  | 63.691  | 66.766  | 73.402  |
| 50  | 56.334  | 63.167  | 67.505  | 71.420  | 76.154  | 79.490  | 86.661  |
| 60  | 66.981  | 74.397  | 79.082  | 83.298  | 88.379  | 91.952  | 99.607  |
| 70  | 77.577  | 85.527  | 90.531  | 95.023  | 100.425 | 104.215 | 112.317 |
| 80  | 88.130  | 96.578  | 101.879 | 106.629 | 112.329 | 116.321 | 124.839 |
| 90  | 98.650  | 107.565 | 113.145 | 118.136 | 124.116 | 128.299 | 137.208 |
| 100 | 109.141 | 118.498 | 124.342 | 129.561 | 135.807 | 140.169 | 149.449 |

## **ÖZGEÇMİŞ**

15 Ocak 1977 'de İstanbul'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Kadıköy Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliğinden mezun oldu. 1999 yılında İTÜ Fen Bilimleri makine mühendisliğinde yüksek lisansa başladı. Arge Net A.Ş. tasarım mühendisi olarak 1999-2001 yıllarında çalıştı. 2001-2003 yılları arasında İTÜ makine mühendisliğinde asistan olarak görev yaptı. 2003 yılında Arçelik-Lg Klima A.Ş. de ürün geliştirme mühendisi olarak çalıştı. Halen aynı şirkette altı sigma takımında çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.