

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba ÇOLAK

İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ VE UYGULAMALAR

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ VE UYGULAMALARI

Tuğba ÇOLAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK ANABİLİMDALI

Bu tez/...../2007 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza.....
Prof.Dr. Fikri AKDENİZ
DANIŞMAN

İmza.....
Prof.Dr. Selahattin KAÇIRANLAR
ÜYE

İmza.....
Yrd.Doç.Dr. Ebru GÜLER
ÜYE

Bu tez Enstitümüz İstatistik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof.Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ VE UYGULAMALARI

Tuğba ÇOLAK

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İSTATİSTİK ANABİLİMDALI**

Danışman: Prof. Dr. Fikri Akdeniz

Yıl: 2007, Sayfa:102

Jüri: Prof.Dr. Selahattin KAÇIRANLAR

Yrd.Doç.Dr. Ebru GÜLER

İstatistiksel süreç kontrolünün temel amacı değişimin özel nedenlerini ortadan kaldırarak sürecin kontrol altında tutulmasını sağlamaktır. Kritik süreç değişkenlerinin kontrol altında tutulması ve kontrol dışı durumları oluşturan nedenlerin ortadan kaldırılmasıyla sürecin daha da iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, istatistiksel süreç kontrolü teknikleri uygulamalarıyla birlikte incelenmiştir. Bu teknikler farklı sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Böylece kaliteyi kontrol altına almak, yüksek kalite sağlamak, verimliliği arttırmak, müşteri memnuniyetini arttırmak ve maliyeti minimize ederek işletmelerin karlılığını sürekli hale getirmek mümkün olabilmektedir.

Anahtar kelimeler: İstatistiksel süreç kontrolü, istatistiksel teknikler, istatistiksel uygulamalar

ABSTRACT

M.S. THESIS

STATİSTİCAL PROCESS CONTROL AND İTS APLLİCATIONS

Tuğba ÇOLAK

**UNİVERSTY OF ÇUKUROVA
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF STATİSTİCS**

Supervisor: Prof. Dr. Fikri Akdeniz

Year: 2007, Pages:102

Jury: Prof.Dr. Selahattin KAÇIRANLAR

Asist.Prof.Dr.Ebru GÜLER

Primary aim of statistical process control is to eliminate the special reasons of change and to maintain the process under control. To maintain the critical process variables under control and improve the process through eliminating assignable causes are aimed.

In this study, statistical process control techniques with applications particularly are investigated. This techniques are frequently used in different areas and projects. Therefore to keep the quality under control, to obtain high quality, to raise productivity and customer satisfaction, minimum cost and overall increased profitability are possible.

Keywords: Statistical process control, statistical techniques, statistical applications

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda bana yardımını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fikri AKDENİZ'e ve istatistik bölümündeki tüm akademik ve idari personele gösterdikleri hoşgörü ve yardımlarından dolayı teşekkür bir borç bilirim.

Tez çalışmamın uygulama kısmının tamamlanmasında, ADVANSA fabrika müdürü Sayın Celal ÇELEBİ'ye, hiçbir sorumu cevapsız bırakmayan ADVANSA personelleri Çağdaş Çetin, Dilek Çanakçı ve Murat Kolbaşı'na gösterdikleri hoşgörü ve yakınlıktan dolayı çok teşekkür ederim.

Son olarak, Garanti Bankası Mersin/Pozcu Şubesi Müdürü Sayın Mutlu ESEN'e ve çalışma arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
3. YÖNTEM VE TEKNİKLER.....	11
3.1. Tanımlar.....	11
3.2 Temel Dağılımlar.....	14
3.2.1. Bernoulli Dağılımı.....	14
3.2.2. Binom Dağılımı.....	14
3.2.3. Geometrik Dağılım.....	15
3.2.4. Poisson Dağılımı.....	15
3.2.5. Hipergeometrik Dağılım.....	16
3.2.6. Normal Dağılım.....	16
3.2.7. Pareto Dağılımı.....	17
3.2.8. Binom Dağılımına Normal Yaklaşım.....	17
3.2.9. Poisson Dağılımına Normal Yaklaşım.....	18
3.3. Temel İstatistiksel Teknikler.....	18
3.3.1. Frekans Eğrisi.....	18
3.3.2. Histogram.....	18
3.3.3. Sürecin Merkezi Ölçüleri.....	24
4. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ.....	28
4.1. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Gelişimi.....	28
4.2. İstatistiksel Süreç Kontrolü Nedir?.....	29
4.3. On-Line İSK Metotları.....	32
4.4. Off-Line İSK Metotları.....	34
4.5. İstatistiksel Süreç Kontrolünde İzlenen Yöntemler.....	35
4.6. İSK'nın Başarısını Etkileyen Faktörler.....	36

5. SÜREÇ YETENEK ANALİZİ.....	39
5.1. Süreç Yetenek Analizi.....	39
5.2. Süreç Yetenek İndeksleri.....	41
6. SÜREÇ KONTROLÜNDE KULLANILAN İSTATİSTİKSEL	
YÖNTEMLER.....	47
6.1. Pareto Analizi.....	47
6.2. Sebep-Sonuç Diyagramı.....	50
6.3. Saçılım Grafiği.....	54
7. KONTROL ÇİZELGELERİ.....	58
7.1. Kontrol Çizelgelerine Giriş.....	58
7.2. Ölçülebilen Özellikler İçin Kontrol Çizelgeleri.....	63
7.2.1. $\bar{x} - R$ Çizelgeleri.....	64
7.2.2. $\bar{x} - s$ Çizelgeleri.....	69
7.3. Ölçülemeyen Özellikler İçin Kontrol Çizelgeleri.....	71
7.3.1. p- Çizelgeleri.....	71
7.3.2. np- Çizelgeleri.....	73
7.3.3. C- Çizelgeleri.....	74
7.3.4. U- Çizelgeleri.....	74
8. KÜMÜLATİF TOPLAM (CUSUM) ÇİZELGELERİ.....	75
8.1. CuSUM Kontrol Çizelgeleri.....	76
8.2. V Maskesi Yöntemi	82
8.3. EWMA (Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama) Kontrol Çizelgeleri.....	84
9. UYGULAMALAR.....	86
9.1. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Elyaf İşletmelerinde Kullanımı.....	87
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	102

1.GİRİŞ

Uluslararası rekabet ortamında kalite gün geçtikçe artan bir önem kazanmaya başlamıştır. Bu ortamın yaratmış olduğu baskı sonucunda üreticiler, süreç değişimini azaltmayı ve kaliteli üretimi sürdürmeyi sağlamalıdır. Üreticiler, ürettikleri mal ya da hizmeti müşterilerin gereksinimlerini karşılayacak şekilde üretmeye çalışmanın yanı sıra işletme kaynaklarının da en iyi düzeyde kullanılmasını istemektedirler. Böyle bir durumda rekabet ve verimlilik dikkate alındığında kalite ve kaliteye yönelik çalışmaların önemi giderek artmaktadır. Kalite kontrolünün teknik boyutunda yer alan istatistiksel süreç kontrolü çalışmanın özünü oluşturacaktır.

İstatistiksel süreç kontrol, bir ürünün en ekonomik ve gereksinimleri karşılayacak şekilde üretilmesini sağlamak amacıyla veri toplamak, analizini yapmak, yorumlamak ve çözüm yolları önermek üzere istatistik prensip ve tekniklerinin, üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır. Amaç hem işletme içinde kusurları yakalamak hem de kusurlu ürün henüz üretilmeden müdahalede bulunarak önlem almaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarih boyunca pek çok bilim adamı bu konu üzerinde çalışmış, değişik yaklaşımlar ortaya atmışlardır. Bu bilim adamlarından bazıları aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır.

Dr. Walter Shewhart

Walter Shewhart, 1891- 1967 yılları arasında yaşadı. Shewhart, toplam kalite yönetimi alanında liderlik görevini üstlenen W.Edwards Deming ve Joseph M. Juran’ın istatistiksel düşünme yönünden etkilendiği kişidir. Shewhart 1920’li yıllarda çalıştığı Bell Atlantic firmasında kalite geliştirme ve problem çözme alanında istatistiksel araçlardan geniş ölçüde yararlanmışır. Deming o yıllarda bir süre Shewhart’ın çalıştığı Bell Laboratuar firmasında Shewhart ile birlikte çalışma imkânına sahip olmuştur.

Shewhart’ın istatistiksel süreç kontrol ve istatistiksel kalite kontrol alanında yazdığı iki önemli kitabı bulunmaktadır;

- Economic Control of Quality of Manufactured Product, 1931.
- Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control.

Shewhart, kaliteyi “objektif kalite” ve “subjektif kalite” olmak üzere ikiye ayırır. Shewhart’a göre kalite esasen subjektiftir ve kişiden kişiye değişir. Bu bakımdan, kaliteyi müşteri isteklerine uygunluk olarak tanımlamak daha doğrudur.

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

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

W.Edwards Deming

W.Edwards Deming 1900 yılında ABD'nin Iowa eyaletinde Sioux adlı küçük bir kasabada doğdu. Üniversite eğitimini Wyoming ve Colorado üniversitelerinde tamamladı. 1928 yılında Yale Üniversitesi'nde Matematiksel Fizik alanında doktorasını yaptı. Bir süre Tarım Bakanlığı ve ABD Nüfus Bürosu'nda çalıştı.

Deming uzun yıllarını Toplam Kalite alanında çalışmalar yaparak geçirdi. 1930'lı yıllarda Western Electric adlı şirkette Walter A. Shewhart'ın bölümünde çalıştı. İstatistiğin kalite yönetiminde kullanılması konusunda ilk bilgileri Shewhart'dan aldı. 1950 yılında Japon Bilim Adamları ve Mühendisleri (The Union of Japanese Scientists and Engineers) tarafından Japonya'ya davet edildi. Deming, Japonlara toplam kalite yönetimini öğreten kişi olarak anılır. Bu ülkede her yıl "Deming Ödülleri" adı altında kalite ödülleri verilmektedir. 1960 yılında Japon imparatoru tarafından "Kutsal Hazine Düzeni" (Order of the Sacred Treasure) ile ödüllendirildi. 1987'de ABD Başkanı Ronald Reagan'dan Ulusal Teknoloji Ödülü'nü aldı. 1988 yılında ise Ulusal Bilimler Akademisi'nden Üstün Bilim Adamı ödülünü aldı.

Deming ilk kitabını (Sample Design in Business Research) 1960 yılında yazdı. Yazdığı kitap sayısı az olmasına karşın, görüşleri başta ABD ve Japonya olmak üzere birçok ülkede büyük taraftar topladı. Yani, "kantite" değil, "kalite" önemlidir bakış açısından değerlendirildiğinde Deming, oldukça başarılı bir yönetim düşünürü olarak adını toplam kalite tarihine daha ölmeden önce de yazdırmıştır. Deming'in diğer iki kitabı ise şunlardır:

- Out of Crises: Quality, Productivity and Competitive Position, 1982.
- New Economics for Industry, Government and Education, 1993.

Deming görüşleri ile bugün Toplam Kalite Yönetimi'nin başta gelen kurucularından ve öncülerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Deming, özellikle organizasyonel kabuk değiştirmenin önemi üzerinde durmuş ve bu konuda 14 ilke tespit etmiştir.

Deming: Organizasyonlarda değişimin başarılı olabilmesi için;

1. Organizasyonun amaçlarını belirle. Ürün ve hizmet kalitesini geliştirmek için organizasyonun amaçlarını tespit et.

2. Yeni yönetim felsefesini benimse. Yeni çağa ayak uydurabilecek bir liderlik üstlenerek ve sorumlulukları öğrenerek yeni yönetim felsefesini benimse ve uygula. Organizasyon faaliyetlerinde alışılmış gecikme ve hatalara, kalifiye olmayan işgücüne, kalitesiz mal ve hizmet üretimine eskiden olduğu gibi artık tolerans gösterme.

3. Organizasyonun muayenelere olan bağımlılığını azalt. Organizasyondaki kütle muayenesine son ver. Bunun yerine istatistiksel araçlara önem vererek kalitenin ölçülmesini sağla.

4. Organizasyonu fiyat etiketleri ile değerlendirmeyi bırak. Sadece fiyat etiketlerine bakarak organizasyonun başarısını değerlendirme. Düşük kalitenin söz konusu olduğu bir organizasyonda düşük fiyatı başarı olarak kabul etme. Mal ve hizmet sunulmasında müşteri ile uzun-vadeli bir ilişkinin kurulmasına çalış.

5. Sürekli gelişmeyi sağla. Organizasyondaki problemleri tespit etmeye çalış. Maliyetleri azaltmak, kalite ve verimliliği arttırmak için üretim ve hizmet sistemini ve süreçleri sürekli geliştir.

6. İş başında eğitimi sağla. Çalışanların organizasyon içerisinde eğitimini sağlayacak modern yöntemleri kurumsallaştır.

7. Liderliğin kurumsallaşmasını sağla. Çalışanların performanslarını değerlendirilmesinde modern yöntemlerin uygulanmasını sağla. Çalışanlara işlerini daha iyi yapabilmeleri için yardımcı ol.

8. Organizasyonda çalışanlar üzerindeki korkuya son ver. Organizasyon içerisinde çalışanlar üzerindeki korkuyu ortadan kaldır. Tüm işlerin daha kaliteli yapılması için çalışanların güven içinde işlerini yapmalarını sağla.

9. Departmanlar arasındaki sınırları kaldır. Organizasyonda araştırma, tasarım, üretim ve satış departmanlarının birlikte hareket ederek sorunları daha etkin bir şekilde çözümleyebilmelerine imkân sağla.

10. Sloganlara son ver. Organizasyon içerisindeki sloganları, posterleri ve sayısal hedefleri ortadan kaldır. Çalışanların kendi sloganlarını kendilerinin formüle etmelerine izin ver.

11. Organizasyonda sayısal hedefleri ve kotaları ortadan kaldır. Tespit edilen hedefe ulaşmaya çalışmak kalitesizliği beraberinde getirebilir. Çalışanlar ve yöneticiler üst yönetimin istediği hedefe ulaşmak için uzun vadede organizasyonun çıkarlarını zedeleyecek uygulamalar yapabilirler.

12. Çalışanların iş yapmalarını engelleyecek uygulamaları ortadan kaldır. Organizasyon içerisinde çalışanların yaptıkları işten gurur duyma haklarını ellerinden alacak ve sınırlayacak uygulamalara ve denetlemelere son ver.

13. Eğitim uygula. Organizasyonda çalışanlar için etkin bir eğitim programı oluştur ve çalışanların kendi kendilerini geliştirmelerini teşvik et.

14. Kabuk değiştirmeyi herkesin katılımı ile gerçekleştir. Organizasyon içerisinde herkesin bu dönüşüme katkıda bulunmasını sağla. Bu amaca ve misyona yönelik üst düzeyde özel bir yönetim birimi oluştur.

Joseph M. Juran

Joseph M. Juran, 1904 yılında Romanya’da doğdu. 1912 yılında ABD’ye göç etti. Minnesota Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Daha sonra Chicago’da Loyola Üniversitesi’nden Hukuk doktorası aldı. Deming gibi o da gerek ABD’de gerek Japonya’da toplam kalite yönetiminin yaygınlaşmasında çok önemli rol oynadı. 1981 yılında Japon İmparatoru, Hirohito tarafından Order of Sacred Treasure ile ödüllendirildi.

Juran toplam kalite yönetimi alanında çok önemli eserler yayınladı. Juran’ın Kalite Kontrol El Kitabı (Juran’s Quality Control Handbook) adlı çalışması toplam kalite yönetimi alanında klasik ve en önemli eserlerden birisi olarak kabul edilmektedir. Bunun dışında birçok kitap ve çok sayıda makale yayınladı.

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

Juran, organizasyonda kalite devrimini başarmak için şu ilkelerin önemli olduğunu vurgulamaktadır;

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

Juran: Organizasyonel değişim ve atılım için yedi aşamanın gerekli olduğunu vurgulamaktadır;

1. Yönetimin “breakthrough” (atılım) için kararlı olması ve ön hazırlık çalışmalarına başlaması. Organizasyonda atılım için ilk önce yönetimin bu sürecin önemini anlaması ve bu konuda kararlı olması gerekir. Yönetimin organizasyondaki problemler ile ilgili olarak verileri toplaması atılım için ilk adımı oluşturur.

2. Hayati önem taşıyan projelerin tespit edilmesi. Verilerin toplanması aşamasından sonra ikinci aşamada öncelikle çözümlenmesi gereken problemlerin bir analizinin yapılması gerekir. Bu aşamada Pareto analizi kullanılarak hayati önem taşıyan problemlerin tespit edilmesi ve öncelikle bu problemlerin çözümü için önlemler alınması önem taşımaktadır.

3. Atılım sürecine başlamadan önce bu süreci uygulamak için çalışma grupları oluşturulması. Atılım için iki ayrı çalışma grubu oluşturulmalıdır: Yürütme Grubu ve Diagnostik Çalışma Grubu. Yürütme Grubu, atılım ile ilgili kararları almak ve uygulamaktan sorumlu olmalı; Diagnostik çalışma grubu ise kalite yönetimi ile ilgili uzman kişilerden oluşmalı ve problemlerin analizi ve çözümler geliştirilmesinden sorumlu olmalıdır.

4. Diagnostik ve çözüme yönelik analizlerin yapılması. Diagnostik Çalışma Grubu organizasyondaki problemleri teşhis etmeli (diagnoz), organizasyonda çeşitli

süreçlerdeki hataları ve eksiklikleri tespit etmeye çalışmalı ve çözümler geliştirmelidir.

5. Organizasyonda değişim ve transformasyona karşı eğilimlerle mücadele edilmesi. Tüm çalışanların değişim ve reformun mantığını kavrayabilmeleri için organizasyonda bir araya gelmeleri ve konuyu birlikte tartışabilmeleri önem taşımaktadır.

6. Kontrolün yapılması. Organizasyonda atılım programının başarısı için yapılan uygulamaların kontrol edilmesi ve ortaya çıkan problemlere çözümler bulunması önem taşımaktadır. (Özkale R. 2004 yüksek lisans tezi)

Kaoru Ishikawa

Kaoru Ishikawa, Japonya’da toplam kalite yönetimine katkıda bulunan liderlerin başında gelmektedir. 1939 yılında Tokyo Üniversitesi, Uygulamalı Kimya Bölümü’nden mezun olan Ishikawa, kömür sıvılaştırma sektöründe çalışmaya başladı. Kısa bir süre sonra askerlik görevini yapmak üzere Deniz Kuvvetleri’ne subay olarak katıldı. Ordu’da fabrika inşaatından sorumlu olarak görev yaptı. Daha sonra 1947 yılında askerlik görevini tamamladıktan sonra Tokyo Üniversitesi’nde görev yapmaya başladı. Bir süre üniversitede bulunduktan sonra Japon Bilim adamları ve Mühendisler Birliği’nde kalite kontrol konusunda çalışmalara başladı. Bu kuruluşta “kalite çemberleri” konusunda önemli çalışmalar yaptı. İkinci dünya savaşı sonrasında ABD’ye gitti ve bu ülkede kalite konusunda araştırmalar yapan ünlü yönetim düşünürleri W.Edwards Deming ve Joseph M. Juran ile tanıştı.

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

“Kalite her bir tasarım ve prosesin içinde yer almalıdır. Muayene yoluyla kalite yaratılamaz.” (Kaoru Ishikawa)

Ishikawa: Toplam kalite kontrolde başarıya ulaşmak için;

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

Genichi Taguchi

Japonya’da kalite devrimine fikirleri ile önemli katkıda bulunan yönetim düşünürlerinden birisi olan Genichi Taguchi Japonya’da doğdu. Mühendislik eğitimi gördü.

Taguchi, “kalite mühendisliği” kavramının fikir babası olarak kabul edilir. Taguchi’nin bu alandaki fikirlerini ve katkılarını şu şekilde özetlemek mümkündür:

Kalite mühendisliği ürün ve süreç kalitesini iyileştirmek için “istatistiksel deney tasarımı”nın önemi üzerinde durur. İstatistiksel deney tasarımı, organizasyonda kalite geliştirme çalışmalarında kullanılan, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlerin hedef kalite parametresi veya parametreler üzerindeki etkilerini belirler. Özetle, Taguchi, ürün ve süreç tasarımında deneysel tasarımın önemini vurgulamıştır.

Taguchi üç tür tasarım üzerinde durmuştur:

1. Sistem tasarımı. Teknoloji ve mimarlık şeklindeki fonksiyonel tasarım.
2. Parametre tasarımı. Ürün ve süreç parametrelerinin saptamalara duyarlılığını azaltacak şekilde ayarlanması.

3. Tolerans tasarımı. Hedef etrafındaki kabul edilebilir toleransların belirlenmesi.

Genichi Taguchi'nin Kalite Mühendisliği alanında geliştirdiği iki kavram daha bulunmaktadır:

1. Tasarımda Kalite (Quality Function Deployment). Bu teknik, müşteri ihtiyaçlarını ürün tasarımı ya da hizmet sürecine dönüştürmeyi sağlar. Amaç, müşteri tatminidir. Bazen “kalite evi” olarak da adlandırılır.

2. Güçlü Tasarımı (Robust Design) Ürün ve süreç geliştirme sırasında kontrol edilebilen süreç parametreleri (hat hızı, basınç, sıcaklık vs.) için uygun düzey ve ayarların belirlenerek süreç varyasyonunun en aza indirilmesine yönelik yaklaşımdır.

Taguchi'nin kalite felsefesi;

1. Rekabetin giderek arttığı ve pazar koşullarının sürekli değiştiği ortamda sürekli kalite geliştirme ve maliyetleri azaltma önem taşır.

2. Ürün kalitesi iyileştirilirken ortaya çıkan “sosyal maliyet” göz ardı edilmemeli ve bu dışsal maliyet minimize edilmelidir.

3. Bir ürünün nihai kalite ve maliyeti, ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımıyla belirlenir.

P.B. Crosby;

Crosby; diğer kalite önderleri gibi(Deming ve Juran) sistemde ortaya çıkan hataların %80'inden fazlasının yönetimden, %20'ye yakın bir kısmının da çalışanlardan kaynaklandığını savunmaktadır. Bu nedenle Crosby'e göre organizasyonda ilk eğitilecek grup üst yönetim ve müdürlerdir. Crosby'nin felsefesi dörtkenar taşı içermektedir. Bunlar;

- Kalite mükemmellik değildir, kalite ihtiyaçlara uygunluktur.
- Kalite sistemi hataları önlemedir.
- Çalışma standardı, sıfır hata olmalıdır.
- Kalitenin ölçümü, uygunsuzlukların maliyetidir.

Crosby, kaliteyi geliştirip uygunsuzlukların maliyetini azaltmak için 14 basamaklı bir yaklaşım öne sürmektedir. Buna göre yönetimin kalite ile ilgili kararları açık olmalı, kaliteyi geliştirmek için bir kalite geliştirme grubu kurulmalı, bu grup bir program çerçevesinde çalışanları yönlendirmelidir.

Uygunlukların potansiyel sebepleri bulunmalı, değerlendirilmeli ve düzeltici çalışmalar başlatılmalıdır. Sıfır hata planlaması yapılmalı, çalışanlara sıfır hata planını başarıya ulaştırmak için eğitim verilmelidir.

Sonuç olarak Crosby'e göre kalite sonu olmayan bir gelişmeyi içerir ve bundan dolayı her zaman tüm çalışmalar yeniden yapılmalıdır. (Aktan, 2000)

3. YÖNTEM VE TEKNİKLER

3.1. TANIMLAR

İstatistik: Gözlemlerle elde edilen verilerin, bilimsel yöntemlerle kümelenmesi, analizi, incelenmesi ve bunlara dayanarak doğru sonuca ulaşmak için kullanılan tekniklerin tamamıdır.

Kitle: Üzerinde araştırma yapılan tüm gruba, çalıştığımız verilerin oluşturduğu kümeye “kitle” denir.

Örneklem (örnek): Kitlenin belirli bir özelliğini incelemek üzere, kitleden belirli kurallara göre seçilen veri topluluğuna “örneklem” ya da “örnek” denir. Örneklem kitlenin bir parçası ya da alt kümesidir. Kitlenin tamamına ulaşamadığı durumlarda, kitle ile ilgili istenen bilgilere ulaşmak için, kitleden örneklem seçilir. Bu örneklemdeki verileri kullanarak kitleye ilişkin bilgilerin tahmini yapılır.

Parametre: Kitleyi tanımlamak için kullanılan değerdir.

Değişken: Birimlerin farklı değerler alabildikleri nitelik ve niceliklere “değişken” denir.

Örnekleme: Kitleden örneklem seçme işlemine “örnekleme” denilir.

Karakteristik: Bir kitlenin karakteristiği kitlenin her bir elemanı için ölçülebilir olan değerdir.

Veri: Bir araştırmacı tarafından gözlemlerden elde edilen sayısal olan ya da olmayan sonuçlara “veri” denir.

Verilerin düzenlenmesi, kümelenmesi ve istatistiksel analizi göz önüne alındığında;

1. Ağırlık, uzunluk, zaman gibi nümerik ölçümlerle ifade edilen sayısal veriler,
2. Nitelik belirleme amacına yönelik gözlemler sonunda elde edilen kategorik veriler.

İki tip veri elde edilir.

Gözlemler yapıldıktan sonra elde edilen sayı grubuna “ ham veriler ” adı verilir. Bu ham verilerin küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucu elde edilen seriye “ basit seri ” denir. Basit seriler incelendiğinde, bazı gözlemlerin birden fazla tekrar edildiği görülür. Gözlemlerin tekrar sayılarına “ frekans” denir. Elemanları birden fazla tekrarlanan serilere “ frekans serisi” denir. Seride yer alan verilerin sınıflandırılması ve frekanslarında sınıflara dağıtılmasıyla elde edilen seriler “

sınıflandırılmış seri “ denir. Elde edilen serilerin simetrik olup olmadığına aşağıdaki yöntemlerle karar verilir. (Akın B.1996)

1- Karakteristikler Yöntemi: Bu yöntemde mod, medyan ve aritmetik ortalama değerleri karşılaştırılarak simetri ve asimetri durumu incelenir.

Mod = Medyan = $\bar{x}$ ise simetrik seri

Mod < Medyan < $\bar{x}$ ise sağa asimetrik seri

$\bar{x}$ < Medyan < Mod ise sola asimetrik seri

2- Pearson katsayılar Yöntemi: a_1 ve a_2 katsayıları aşağıdaki formüllerle hesaplanarak 0 ile karşılaştırılır.

$$a_1 = \frac{\bar{x} - \text{mod}}{\sigma}, \quad a_2 = 3 \frac{(\bar{x} - \text{medyan})}{\sigma}$$

a_1 ve $a_2 = 0$ ise simetrik seri

a_1 ve $a_2 > 0$ sağa asimetrik seri

a_1 ve $a_2 < 0$ sola asimetrik seri olduğuna karar verilir.

3- Standart Aralıklar Yöntemi: Seriyi oluşturan verilerin simetrik olarak dağılmış olmaları istenmektedir. Bu yöntemde serinin simetrik olarak dağılıp dağılmadığı aritmetik ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (σ) değerlerinde oluşan standart aralıklarla belirlenmektedir. Verilerin belirtilen aralıklardaki orana göre yer alması durumunda seri simetrik olarak dağılmıştır denilmektedir.

Seriyi oluşturan verilerin;

$\bar{x} \pm \sigma$ Aralığında 0,6828 ‘ i

$\bar{x} \pm 2\sigma$ Aralığında 0,9544 ‘ ü

$\bar{x} \pm 3\sigma$ Aralığında 0,9973 ‘ ü

$\bar{x} \pm 4\sigma$ Aralığında 0,99994 ‘ ü

$\bar{x} \pm 5\sigma$ Aralığında 0,9999994 ‘ ü yer alıyorsa seri simetriktir.

4- Momentler yardımıyla elde edilen katsayılar yöntemi: Eğiklik ölçüsü olarak α_3 hesaplanır ve sıfırla karşılaştırılır.

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

$\alpha_3 = 0$ ise seri simetrik

$\alpha_3 > 0$ ise seri sağa asimetrik

$\alpha_3 < 0$ ise seri sola asimetriktir.

Basıklık ölçüsü olarak α_4 hesaplanır ve 3 ile karşılaştırılır.

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

$\alpha_4 = 3$ ise seri simetrik

$\alpha_4 > 3$ ise seri sivridir

$\alpha_4 < 3$ ise seri basıktır.

Örnek Uzay: Bir deneyin mümkün olan tüm sonuçlarının kümesine örnek uzay denir. S ile gösterilir.

Olay: Örnek uzayın her alt kümesine olay denir.

Rasgele Değişken: Değeri bir deney sonucuyla belirtilen bir değişkene “ rasgele değişken ” denir.

Dağılım Fonksiyonu: Bir X rasgele değişkeninin dağılım fonksiyonu F(X) ile gösterilir ve X in x e eşit ya da daha küçük olması olasılığıdır.

Kesikli Rasgele Değişken: X rasgele değişkenin değerleri kümesi sonlu veya sayılabilir sonsuz olduğunda X e kesikli rasgele değişken denir.

Kesikli rasgele değişkenin dağılımına kesikli dağılım ve dağılım fonksiyonuna ise kesikli dağılım fonksiyonu denir.

Olasılık Fonksiyonu: X , sonlu sayıdaki $x_1, x_2, \dots, x_N$ değerlerini $f(x_i) = P(X = x_i), i = 1, 2, \dots, N$ olasılıkları ile alabilen kesikli rasgele değişken olsun. Bu durumda aşağıdaki koşulları sağlayan $f(x)$ fonksiyonuna X in olasılık fonksiyonu denir.

1. $\forall x$ için $f(x) \geq 0$ olmalı

2. $\sum_{i=1}^N f(x_i) = 1$ olmalıdır.

Kesikli Rasgele Değişkenin Dağılım Fonksiyonu: Bir X rasgele değişkeninin dağılım fonksiyonu F(x) ile gösterilir. Kesikli rasgele değişkenin dağılım fonksiyonunu olasılık fonksiyonları yardımı ile yazabiliriz.

$$F(X) = P(X \leq x) = \sum_{x_i \leq x} f(x_i) \text{ dır.}$$

Sürekli Rasgele Değişken: X rasgele değişkeni, bir aralıkta ya da birden çok aralıkta her değeri alabiliyorsa X e sürekli rasgele değişken denir.

Sürekli rasgele değişkenin dağılımına sürekli dağılım ve dağılım fonksiyonuna ise sürekli dağılım fonksiyonu denir. (Akdeniz F. Olasılık ve istatistik, 2000)

Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu: $F(x)$ sürekli dağılım ise $\forall x \in \mathbb{R}$ için $F'(x) = f(x)$ dır.

Buradaki $f(x)$ fonksiyonuna X rasgele değişkeninin “olasılık yoğunluk fonksiyonu“ denir. Genellikle $f(x)$ sembolü ile gösterilir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

1. $\forall x \in \mathbb{R}$ için $f(x) \geq 0$ olmalıdır.

2. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ olmalıdır.

3.2. TEMEL DAĞILIMLAR

3.2.1. Bernoulli Dağılımı

Bir deney başarı ve başarısızlık gibi iki sonuca sahipse ve bunların olasılıkları sırasıyla p ve 1-p = q ise bu durumda başarıların sayısı Bernoulli dağılımına sahiptir denir. Başarı 1 başarısızlık 0 olarak kodlanır.

X Bernoulli rasgele değişkeni ise X in olasılık fonksiyonu;

$$f(x) = f(x;p) = p^x (1-p)^{1-x} = p^x q^{1-x}, \quad x = 0,1 \text{ olarak ifade edilir.}$$

$$E(x) = \sum x \cdot p^x \cdot q^{1-x} = p$$

$$E(x^2) = \sum x^2 \cdot p^x \cdot q^{1-x} = p$$

$$V(x) = p - p^2 = pq \text{ olarak elde edilir.}$$

3.2.2. Binom Dağılımı

Binom dağılımına sahip bir rasgele değişken, n kez tekrarlanan bağımsız Bernoulli denemelerindeki başarının toplam sayısıdır.

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad x = 0,1,\dots,n$$

$$E(x) = E(x_1) + \dots + E(x_n) = p + \dots + p = np$$

$$V(x) = V(x_1) + \dots + V(x_n) = pq + \dots + pq = npq \quad \text{olarak hesaplanabilir.}$$

3.2.3. Geometrik Dağılım

Bağımsız Bernoulli denemeleri dizisinde başarı olasılığı p olsun. İlk başarının elde edilmesi için gereken denemelerin sayısı X rasgele değişkeni ise X bir geometrik rasgele değişkendir.

X bir tek denemede başarı olasılığı p , başarısızlık olasılığı q olan bir geometrik rasgele değişken ise X in olasılık fonksiyonu;

$$f(x) = pq^{x-1}, \quad x=1,2,\dots \quad \text{dır.}$$

$$E(x) = \frac{1}{p}, \quad V(x) = \frac{q}{p^2} \quad \text{dır.}$$

3.2.4. Poisson Dağılımı

Pek çok deney, uzayın sürekli bir bölgesinde yada sürekli bir zaman aralığında sonsuz sayıdaki olanaklı $0,1,2,\dots$ Değerlerinin verilmesiyle oluşur.

Birim zaman: dakika, saat, gün, hafta

Birim uzay: uzunluk, alan, hacim gibi

Poisson dağılımı sürekli uzayda kesikli veriler veren deneylere uygulanır.

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, \quad x=0,1,\dots$$

$$E(x) = V(x) = \lambda \quad \text{dır.}$$

λ parametresi sisteme birim zamanda dahil olan verilerin ortalama sayısını gösterir. Örneğin bir fabrikada üretilen mallardaki kusurlu sayısı, bir hava alanında her saat inen uçak sayısı, bir markete bir saat içinde gelen müşteri sayısı gibi veriler Poisson dağılımı için uygundur.

3.2.5. Hipergeometrik Dağılım

Sonlu sayıda N elemandan oluşan bir kitle içinde belli bir A tipindeki elemanların sayısı a olsun. Tekrar yerine konmaksızın rasgele çekilen ve n birimden oluşan bir örneklemden A tipinden elemanların sayısı x olsun. Bu durumda x hipergeometrik dağılıma sahip bir rasgele değişkendir.

$$f(x) = P(X = x) = \frac{\binom{a}{x} \binom{N-a}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \quad x=0,1,2,3,\dots,n$$

$$E(x) = \frac{na}{N}, \quad V(x) = \frac{N-n}{N-1} n \frac{a}{N} \left(1 - \frac{a}{N}\right)$$

$$p = \frac{a}{N}, \quad q = 1 - \frac{a}{N} \quad \text{olarak tanımlanırsa}$$

$$E(x) = \mu = np, \quad V(x) = \sigma^2 = npq \frac{N-n}{N-1} \quad \text{olur.}$$

3.2.6. Normal Dağılım

Normal dağılımın olasılık ve istatistikte önemli bir yeri vardır. Tüm olasılık dağılımlarının en çok kullanılanıdır ve Gauss dağılımı olarak da bilinir.

Sürekli bir X rasgele değişkeni için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty, \quad -\infty < \mu < \infty, \quad \sigma^2 > 0$$

$$E(x) = \mu$$

$$V(x) = \sigma^2$$

ise X normal dağılıma sahiptir denir.

μ = Normal dağılımın ortalaması

σ = Normal dağılımın standart sapması

$e = 2,71828$

$\pi = 3,14159$ dur.

Yukarıdaki normal dağılımı, ortalaması μ ve varyansı σ^2 olan $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ ile gösteririz.

3.2.7. Pareto Dağılımı

Pareto dağılımı parametreler x_0 ve k olmak üzere iki parametrelili sürekli bir dağılımdır. Ekonomide gelir dağılımlarında kullanılır.

Eğer X rasgele değişkeni pareto dağılımına sahipse olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$P(X > x) = \left(\frac{x}{x_0} \right)^{-k}, \quad x \geq x_0, x > 0, k > 0$$

$$f(x; k; x_0) = k \frac{x_0^k}{x^{k+1}}, \quad x \geq x_0$$

$$E(x) = \frac{kx_0}{k-1}, \quad \text{eğer } k \leq 1 \text{ ise } E(x) \text{ sonsuzdur.}$$

$$V(x) = \left(\frac{x_0}{k-1} \right)^2 \frac{k}{k-2}, \quad \text{eğer } k \leq 2 \text{ ise } V(x) \text{ sonsuzdur.}$$

(http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_distribution)

3.2.8. Binom Dağılımına Normal Yaklaşım

Birçok istatistiksel süreç kontrolü uygulamalarında binom dağılımına normal yaklaşım kullanılır. X binom rasgele değişkeni ise;

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad \text{olduğunu biliyoruz.}$$

n büyük iken binom ile olasılıkları hesaplamak oldukça zordur. Bu durumda Normal yaklaşım kullanılabilir. n büyükse p ve $q = \frac{1}{2}$ 'ye yakınsa yaklaşım iyi sonuç verecektir.

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) \quad z = \frac{x - \mu}{\sigma} \sim N(0,1)$$

z rasgele değişkeni standart normal dağılıma sahiptir.

Teorem: X rasgele değişkeni, n bağımsız denemede toplam başarı sayısı olsun. Bir tek denemede başarı olasılığı p ve başarısızlık olasılığı q olsun. Bu durumda standartlaştırılmış binom rasgele değişkeni;

$$z = \frac{x - np}{\sqrt{npq}}$$

denemelerin sayısı yeterince büyükse 0 ortalaması ve 1 varyansı ile yaklaşık olarak normal dağılıma sahiptir.

3.2.9. Poisson Dağılımına Normal Yaklaşım

X , λ parametrelili Poisson dağılımına sahipse $X \sim P(\lambda)$

$$E(x) = V(x) = \lambda \text{ dır.}$$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \sim N(0,1),$$

$$z = \frac{x - \lambda}{\sqrt{\lambda}} \sim N(0,1) \text{ Standart normal dağılıma sahip olur.}$$

3.3. Temel İstatistiksel Teknikler

3.3.1. Frekans eğrisi: Süreç devam ederken çeşitli veri değerlerinin ne kadar sıklıkla meydana geldiğini temsil eden eğri olarak adlandırılır. Bu eğrinin şekli incelenen sürece bağlıdır.

Mekanik süreçlerden toplanan değişken veriler (çap gibi) için eğrinin şekli yaklaşık olarak normaldir. Kimyasal süreçlerden alınan değişken veriler için eğrinin şekli genelde normal değildir.

3.3.2. Histogram: Verilen limitler arasında veri noktalarının sayısını gösteren grafik “ frekans histogramı” ya da “histogram” olarak adlandırılır. Histogramlar, genellikle bir olayın oluş sıklığını göstermek ve belirlenen zaman aralığında tanımlanan problemin daha sık meydana gelip gelmediğini hesaplamak ve ortaya çıkan dağılımı, şekli bilinen bir dağılım ile karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Her histogram yalnızca bir özelliği ölçmektedir. Aynı özelliğe ait zaman içinde birden fazla histogram yapılmak suretiyle olay izlenebilir.

Histogramlar, dağılımın büyüklüğünü, simetri ve asimetri durumunu, şeklini, tek veya çift modlu oluşunu ve bu tip durumları yansıtır.

Başlıca üç tip histogram vardır. Bunlar normal dağılıma benzeyen, sağa veya sola çarpık histogramlardır. Çarpık histogramlarda veriler belirli bir tarafa yığılma olduğunu gösterir.

Histogram grafiğinin nasıl çizildiğini basit bir örnekle gösterelim.

ÖRNEK: Büyük bir şirketin 100 satış elemanı vardır. Her bir satış elemanı tarafından gerçekleştirilen aylık satışlar aşağıda verilmiştir. Bu veriler için frekans tablosu düzenleyip histogram grafiğini inceleyelim.

23	16	14	20	27
19	17	17	16	17
26	14	9	11	14
11	17	13	19	17
20	17	20	16	16
11	24	21	27	5
17	20	8	16	17
16	16	14	22	13
14	27	19	16	20
16	15	9	17	8
19	14	8	19	27
22	21	0	9	3
20	14	6	11	12
7	20	9	13	20
10	16	10	19	13
15	15	14	13	25
14	9	16	8	16
7	8	13	5	13
9	16	19	14	29
18	14	18	13	10

Tablo 3.1. firma satış değerleri (Akdeniz F. olasılık ve istatistik,2000)

1. adım: Gözlemlerin sayısı belirlenir. $n=100$ dür.

2. adım: En büyük değer (L) ile en küçük değer (S) bulunur. Değişim genişliği hesaplanır.

$$L=29, S=0 \text{ Değişim genişliği} = R = 29-0=29 \text{ dur.}$$

3. adım: Sınıf sayısı bulunur. $\sqrt{n} \leq k$ (tam sayı) , $k=10$ alınabilir.

4. adım: Ardışık iki sınıfın alt yada üst sınıf limitleri arasındaki farka dağılım için sınıf genişliği denir.

$$\text{Sınıf genişliği} = h \text{ olmak üzere } R / k = (L-S) / k \text{ alınır.}$$

$$\frac{R}{k} \leq h, 29 / 10 = 2,9 \leq h = 3 \text{ alınabilir.}$$

5. adım: Sınıf limitleri, frekans dağılımında sınıfları belirlemek için kullanılan sayılardır. En küçük gözlem değerine eşit ya da daha küçük olarak ilk sınıfın alt limiti seçilir ve bu değere ardışık olarak sınıf genişliği eklenerek diğer sınıfların alt limitleri bulunur.

6. adım: Sınıf sınırları belirlenir.

$$(i. \text{ sınıfın üst limiti} + (i+1). \text{ sınıfın alt limiti}) / 2 = i. \text{ Sınıfın üst sınırı}$$

$$(i. \text{ üst sınıf sınırı} = (i + 1). \text{ sınıfın alt sınıf sınırındır})$$

7. adım: Her sınıf için sınıf limitleri dâhil o sınıfa düşen gözlem sayısı (sınıf frekansı) bulunur.

8. adım: Sınıf limitlerinin ya da sınıf sınırlarının ortalaması alınarak her sınıf için **sınıf orta noktaları** bulunur.

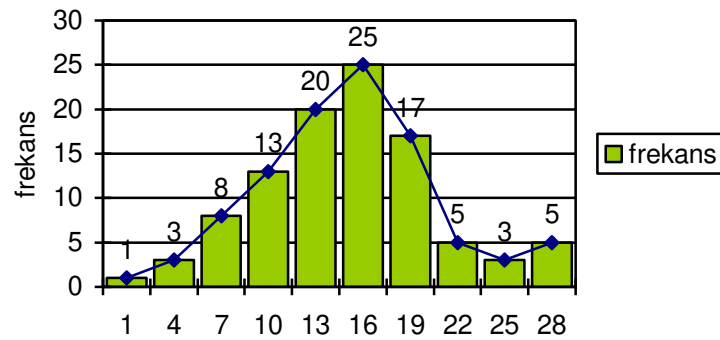
9. adım: Ardışık olarak frekanslar toplanarak eklemeli frekans sütunu oluşturulur.

Bu hesaplamalar sonucunda aşağıdaki frekans tablosu elde edilir. (Tablo 3.2.)

Sınıf No	Sınıf Limitleri	Sınıf Sınırları	Gözlem Sayısı	Sınıf Orta Noktası	Eklemeli Frekanslar	Oransal Frekans	Oransal Eklemeli Frekans
1	0-2	-0,5 $\approx$ 2,5	1	1	1	1/100	1/100
2	3-5	2,5 $\approx$ 5,5	3	4	4	3/100	4/100
3	6-8	5,5 $\approx$ 8,5	8	7	12	8/100	12/100
4	9-11	8,5 $\approx$ 11,5	13	10	25	13/100	25/100
5	12-14	11,5 $\approx$ 14,5	20	13	45	20/100	45/100
6	15-17	14,5 $\approx$ 17,5	25	16	70	25/100	70/100
7	18-20	17,5 $\approx$ 20,5	17	19	87	17/100	87/100
8	21-23	20,5 $\approx$ 23,5	5	22	92	5/100	92/100
9	24-26	23,5 $\approx$ 26,5	3	25	95	3/100	95/100
10	27-29	26,5 $\approx$ 29,5	5	28	100	5/100	100/100

Tablo 3.2. Frekans Tablosu

Verilerin Histogram grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiğe göre veriler yaklaşık olarak normal dağılıma sahiptir.(Şekil 3.1.)

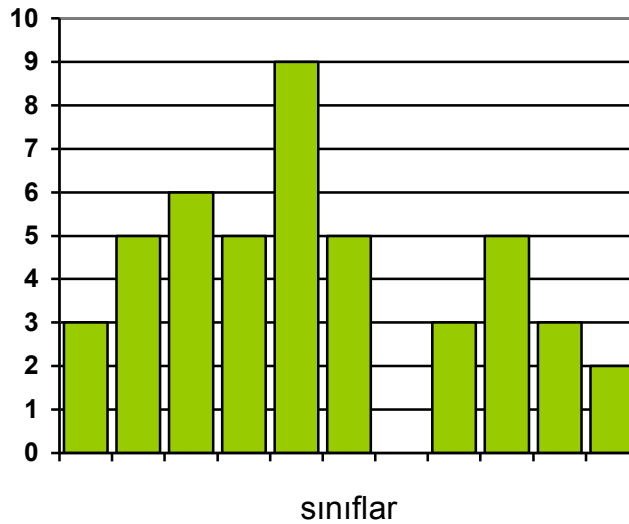
**Şekil 3.1.** Histogram grafiği

Histogramlar geliştirme çalışmalarında ve spesifikasyonlarla olan ilişkilerin gösterilmesi amacıyla kullanılırlar. Ayrıca hatalarla ilgili düzensizliklerin araştırılmasında histogramlardan yararlanabiliriz.

Aşağıda hatalı durumlarla ilgili gösterilen birkaç histogram grafiği ve bu durumların muhtemel hata nedenleri verilmiştir. (Akdeniz F. Olasılık ve istatistik 2000)

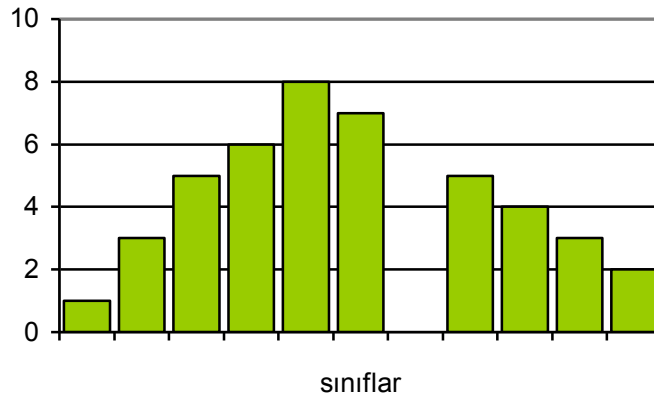
1-) İki ayrı parçaya bölünmüş histogram:

Bunun nedeni ürünlerin iki ayrı makineden gelmesi, değişik kalite kontrol elemanlarının tespit ettiği veriler olması veya iki farklı ölçü aletinin kullanılmasıdır. (Şekil 3.2.) (Akın B. 1996)



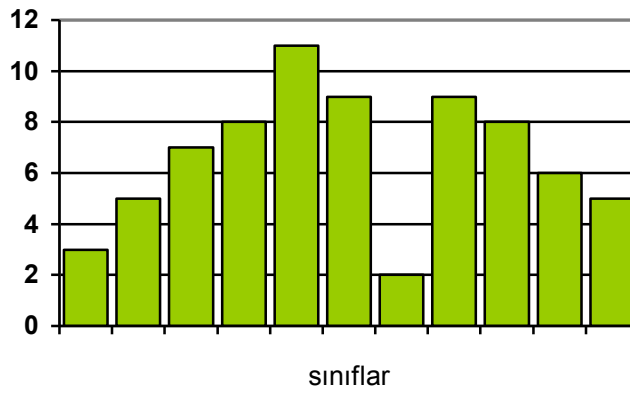
Şekil 3.2. İki ayrı parçaya bölünmüş histogram grafiği

2-) Kesikli histogram: Bunun sebebi, ölçümler yapılırken veya histogram hazırlanırken hataların yapılmasıdır. Yapılması gereken, sınıf adedinin değiştirilmesi, ölçme aletlerinin ve okuma metotlarının kontrol edilmesidir. (Şekil 3.3.)



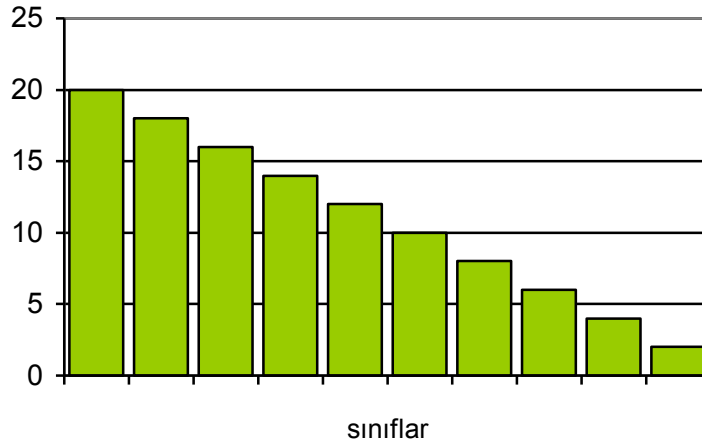
Şekil 3.3. Kesikli histogram grafiği

3-) İki modlu histogram: Bunun nedeni iki ayrı üretim sürecinin kullanılmasıdır. Grubun dağılımı incelenmeli ve her grup için ayrı histogram yapılmalıdır. (Şekil 3.4.)



Şekil 3.4. İki modlu histogram grafiği

3-) Soldan sağa doğru azalan bölünme: Bu durum söz konusu numunelerin muhtemelen rasgele seçilmesinden kaynaklanır. (Şekil 3.5.)



Şekil 3.5. Soldan sağa azalan bölünme gösteren histogram grafiği

3.3.3. SÜRECİN MERKEZİ ÖLÇÜLERİ

Süreç merkezinin ölçülerinden en çok kullanılanlar mod, medyan ve ortalamadır.

Ortalama: Gözlenen değerler X_i , ölçümler X , ortalama değer ise $\bar{X}$ ile ifade edilir.

$$\bar{X} = (\text{X değerlerinin toplamı}) / (\text{X'lerin sayısı}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Medyan: Simetrik olmayan frekans eğrisinin merkezini tanımlamak için kullanılan ölçümdür. Seriyi iki eşit parçaya bölen değere **medyan** denir.

Matematiksel olarak $x_1, x_2 \dots, x_n$ gözlem değerleri büyüklüklerine göre artan sırada düzenlenmişse M ile gösterilen medyan aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$M = x_{\frac{n+1}{2}}, \text{ n tek ise}$$

$$M = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{(\frac{n}{2})+1}}{2}, \text{ n çift ise}$$

Gruplandırılmış gözlemler için medyan:

n = gözlem sayısı

L_m = medyan sınıfın alt sınıf sınırı

h = Sınıf genişliği

f_m = Medyan sınıfın frekansı

n_m = Medyan sınıfından önceki sınıfların frekansları toplamı

olmak üzere

$$\text{Medyan} = L_m + \frac{\left(\frac{n}{2} - n_m\right)h}{f_m}$$

dır. $f_1 + f_2 + \dots + f_i \geq \left(\frac{n}{2}\right)$ olan ilk sınıfa **medyan sınıf** denir.

Mod: Bir veri grubunda en çok tekrarlanan değere “**mod**” denir. Her değer yalnız bir kez elde edilmişse mod yoktur. Eğride bulunan birkaç tepe noktası da mod olarak adlandırılır.

Sınıflara ayrılmış gözlemlerde mod un hesaplanabilmesi için mod sınıfını saptamak gerekir. Mod sınıfı ise en çok gözlem sayısına sahip olan sınıftır.

L_{td} = Mod sınıfın alt sınıf sınırı

Δ_1 = Mod sınıfın frekansı ile bir önceki sınıfın frekansı farkı

Δ_2 = Mod sınıfın frekansı ile bir sonraki sınıfın frekansı farkı

h = Sınıf genişliği (Mod sınıfının)

olmak üzere

$$\text{Mod} = L_{td} + \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} . h \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Genişlik (range): En büyük gözlem değeri ile en küçük gözlem değeri arasındaki farktır.

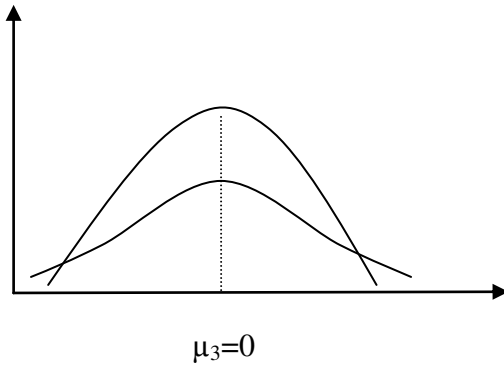
Standart sapma: Standart sapma süreç genişliği için genişlikten (range) daha güçlü bir ölçümdür. Standart sapma, verilerin dağılım durumunu en iyi şekilde ortaya koyar. Sapma veri kümesinde bulunan elemanların süreç merkezine olan ortalamadan uzaklıklarıdır. Standart sapma değeri(σ) küçük ise verilerin ortalama etrafında yoğunlaştığını, büyük ise verilerin ortalamadan uzaklaştığını ifade eder.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}, \quad \text{kitlenin standart sapması}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n-1}}, \quad \text{örneklemin standart sapması}$$

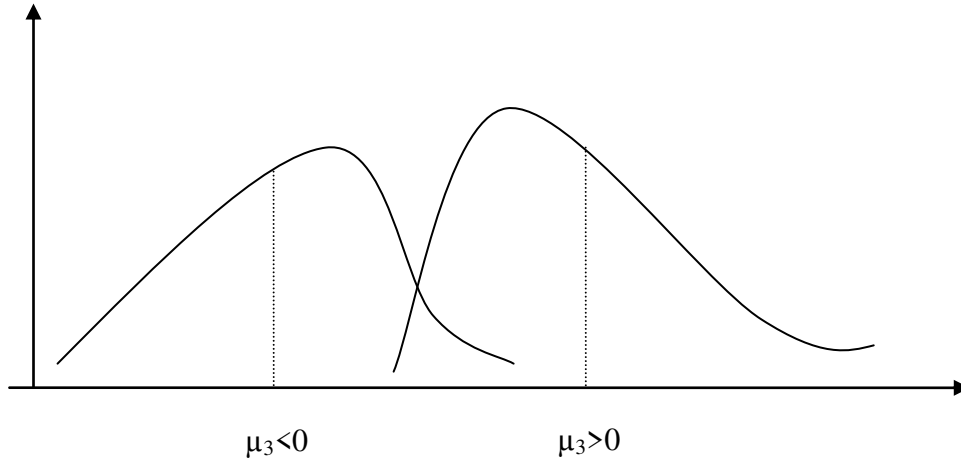
Çarpıklık (skewness): Ortalamaya göre 3. moment μ_3 , simetrik olmayışın ölçüsüdür. Çarpıklık bir dağılımda simetriden ayrılışın derecesidir.

Dağılımın frekans eğrisi merkezsiz maksimum sağında daha uzun uzantıya sahipse dağılım için “sağa çarpık” denir. Bunun tersi de “sola çarpık” denir. Simetrik dağılımların grafiği aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.6. Simetrik dağılım

Sağa ve sola çarpık dağılımların grafiği aşağıdaki gibidir.



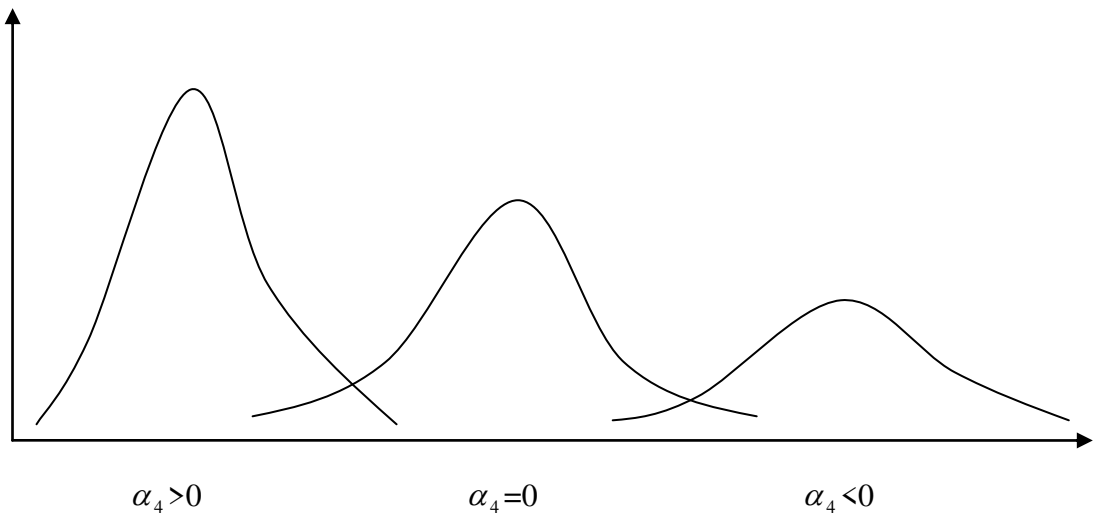
Şekil 3.7. Sağa ve sola çarpık dağılım

Çarpıklık katsayısı $\alpha_3 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$ dür.

Basıklık (Kurtosis): Basıklık katsayısı $\alpha_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3$ dür.

$\alpha_4 < 0$ iken merkeze yakın yerde eğri normal dağılım eğrisine göre fazla düzdür. $\alpha_4 > 0$ iken merkeze yakın yerde eğri normal dağılım eğrisinden daha dar ve yüksektir.

Normal dağılım için $\alpha_4 = 0$ dır. (Şekil 3.8.)



Şekil 3.8.

4. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

4.1. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Gelişimi

İstatistiksel süreç kontrolü, örnekleme ve kalite kontrol teknikleri 1920’lerde geliştirildi. Mayıs 1924’te Walter A.Shewhart modern kontrol grafiklerinin ilk tasarımını Bell telefon laboratuvarlarında geliştirdi. H.F.Dodge, H.G.Roming, W.J.Jennett bu çalışmanın hızlanmasında Shewhart’a büyük katkı sağlamışlardır. 1931’de dönüm noktası yaratan yeni teknikler hakkında yapılan çalışma Royal Statistical Society ‘ ye sunuldu ve bu çalışma İngiltere’de büyük ilgi çekti.

İstatistiksel süreç kontrolü II. Dünya savaşında hem Amerika’da hem de İngiltere’de yaygın olarak kullanıldı. Endüstrilerin barış zamanı üretimine dönüşü istatistiksel süreç kontrolünün (İSK) önemini kaybetmesine neden oldu. Fakat batıda ki insanların bunu Japonlara anlatmasıyla durum değişti. Özellikle W.E.Deming’in 1950’lerde ki çalışmaları Japonlar üzerinde büyük etki yarattı.

Japon endüstrisi, İSK’yı geniş ölçüde kullandı ve İSK’nın para kaybını önlediğini ve müşteriye büyük ölçüde çektiğini kanıtlamış oldu. Amerika ve İngiltere endüstrileri Japonlarla yarışabilmek için büyük ölçüde örgütlenip bilinçlendiriliyorlar.

1984 yazında, UK İnternational Quality Campaign’den bir grup İngiltere’nin endüstriyel ilgilerini temsilen Hon Kong, Japonya ve Amerika’ya gitti. Bu ziyaretin doğal bir sonucu olarak bütün grup üyeleri İngiltere endüstrisinin bir rekabet ortamında olduğunun farkına vardılar ve kaliteye yönelik hareketlerin yeniden değerlendirilmesi gerektiği sonucuna vardılar.

Bir Japon felsefesine göre “ İyi kalite; satışı arttırır, sürekli iyi kalite daha çok verimliliğe yönlendirir ve kalite ve fiyat arasında ters orantı yoktur. “

Bu çalışmayı yapan Japon grup adına konuşan biri” Bizim geldiğimiz yere gelebilmeniz on yılınızı alır ve biz bunu yapamayacağınızı biliyoruz “ demiştir.

Japonlar batıdan öğrendikleri istatistiksel teknikleri çok başarılı bir şekilde uygulamışlardır ve mesaj çok açıktır bu teknikler Batı’da yaygın olarak uygulanmalıdır. (Wetherill G. B. and Brown D. W. 1991)

4.2. İstatistiksel Süreç Kontrolü Nedir?

İstatistiksel süreç kontrolü, endüstriyel veya ticari girişimlerde var olan üretimin devamını veya sağlıklı geliştirilmesini sağlamak amacıyla kullanılır. İstatistiksel süreç kontrolünde, sıkça kullanılan Shewhart kontrol grafikleri yardımıyla oluşturulan sürecin, hesaplanan kontrol limitleri arasında kalması sağlanır. Kontrol grafikleri yardımıyla izlenen sürecin, kontrol dışına çıktığı noktalara çeşitli metotlar uygulanarak sürecin normal hale gelmesi sağlanır.

İstatistiksel süreç kontrolü üretim mükemmelliği kriterlerinden biri olarak iş yaşamının güncel konularından birisi haline gelmiştir.

İstatistiksel fikirlerin çoğunun İngiltere ve Amerika'da ortaya çıkmasına rağmen kullanılmamıştır. İSK'nın endüstriye katkılarının önemini Japonlar görmüşlerdir. Japonlar bu yöntemden kalite çalışmalarında önemli bir şekilde yararlanmışlardır.

Günümüz işletmelerinin amaçları;

- Ürettikleri malın sürekli talep edilmesini sağlamak,
- Diğer işletmelere karşı üstünlük sağlamak,
- Minimum kaynakla maksimum kar elde etmek,
- Ürettiği mal veya hizmetin, müşterilerin gereksinimlerini karşılayacak özelliklere sahip olmasını sağlamak gibidir.

Bu gibi durumlarda rekabet ve verimlilikle olan ilişkileri dikkate alındığında, kalite ve kaliteye yönelik faaliyetlerin önemi doğal bir sonuç olarak çıkacaktır.

Kalite Güvence Sistemi (KGS) :

Bir ürün veya hizmetin kalite konusunda belirtilmiş gerekleri yerine getirmesinde yeterli güveni sağlamak için uygulanan planlı ve sistematik etkinlikler bütünü olarak tanımlanmaktadır.

İstatistiksel süreç kontrolü kalite güvence sisteminin teknik boyutunda yer almaktadır.

İstatistiksel süreç kontrol, üretim bozukluklarına çare olacak olağanüstü bir formül değildir. Endüstri ve ticari kuruluşlarının üretimlerini sürdürmek, ilerletmek veya üretimin değerini arttırmak için uyguladığı kullanışlı bir yöntemdir.

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK) ne için kullanılır?**1- Kalite gelişimini arttırmak için**

Kullanılan yöntem sayesinde elde edilen bilgiler sonucunda uygun olmayan ürünün azaltılması ya da yok edilmesi sağlanır. Bu ise aşağıdaki durumların ortaya çıkmasına neden olur.

a-) Üretim maliyetini azaltmak

- Hurda, kırıntı, artık malların yeniden değerlendirilmesini sağlamak
- Kusurlu ürüne değer katmak
- Süreci yeniden programlamak
- Sürecin incelenmesi ve kontrolü

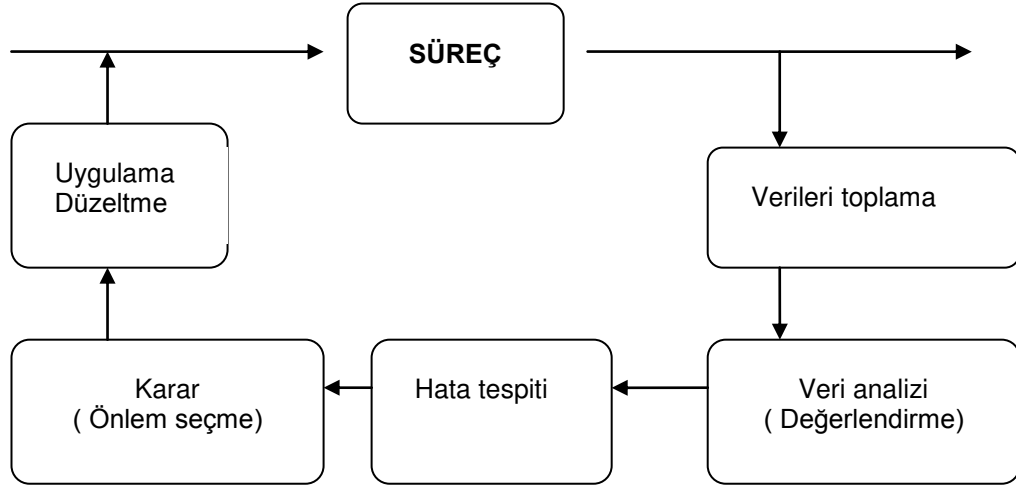
b-) Müşteri memnuniyetini arttırmak,**c-) Ürün taleplerini geliştirmek ve belirlenen limitleri arttırmak****2- Verimi arttırmak veya indirgenmiş maliyetle verimi korumak için.**

Endüstrilerde, ürünlerdeki küçük farklılıklar kazancı önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle pozitif etkiye sahip değişim nedenlerini sermayeye çevirmek, negatif etkiye sahip değişim nedenlerini de bulmak ve elemek önemlidir.

İSK'nın en önemli parçalarından biri de "ölçme" dir. Ürünlerin kalitesini ölçmek, sürecin performansını belirlemek, kalite maliyetinin hesabı... Vs. için verilere ihtiyaç vardır. Ortada verilerin olması istatistiğin kullanılmasını gerektirir. Temel istatistiksel yöntemler aşağıdaki durumlar için kullanılır.

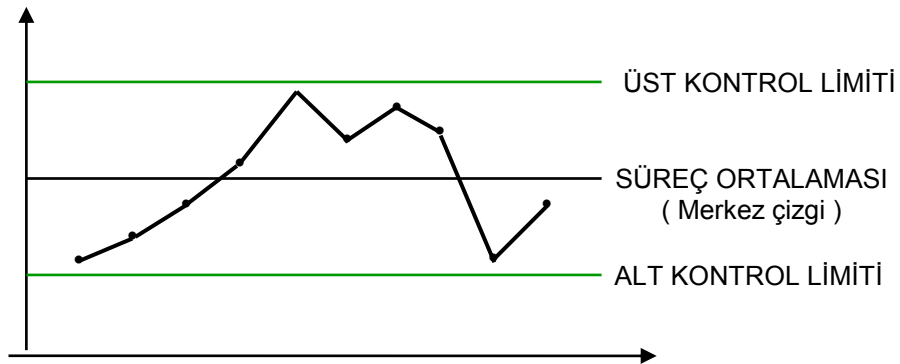
- 1- Sürecin öncesi ve sonrası hakkında bir kanıya sahip olmak amacıyla,
- 2- Sorunun ne zaman ve nerede ortaya çıkabileceğini anlamak amacıyla,
- 3- Sürecin işleyişinin anlaşılmasına ve böylece süreç ve ürünlerdeki gerilemeleri kaydedebilmek amacıyla, İSK kullanılır.

İSK uygulamasında kullanılan klasik kontrol sistemi Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. İSK uygulamasında kullanılan klasik kontrol sistemi (**DeVor, 1992**)

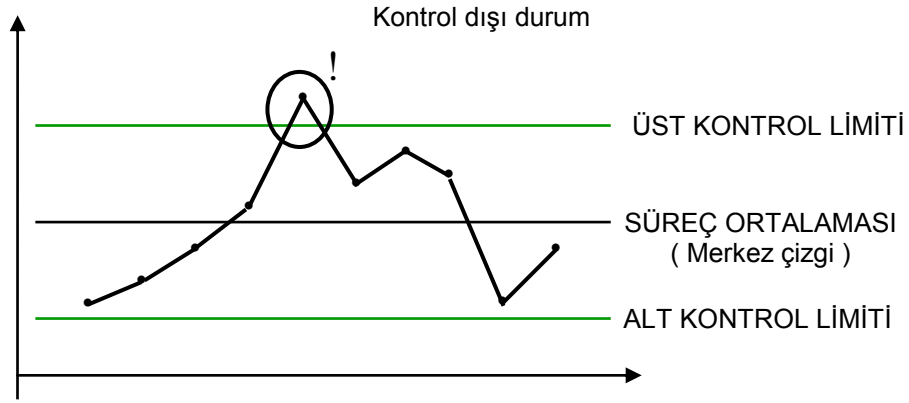
İSK’da kullanılan temel araç süreç kontrol grafikleridir. Bu grafikler genelde bir merkez çizgiden (MÇ), alt (AKL) ve üst (ÜKL) kontrol limitlerinden ve ardışık gözlem noktalarından oluşur.



Şekil 4.2. Örnek süreç kontrol grafiği

İSK grafiklerinin temel amaçları, kritik süreç değişkenlerinin kontrol altında tutulması ve kontrol dışı durumları üreten sebeplerin ortadan kaldırılmasıyla sürecin iyileştirilmesidir. Bir kontrol grafiğinde gözlemlerin rasgele hareket sergilediği ve

kontrol limitleri içinde kaldığı durumlara “ kontrollü durum ” , aksi durumlara ise “ kontrol dışı durum “ denir.

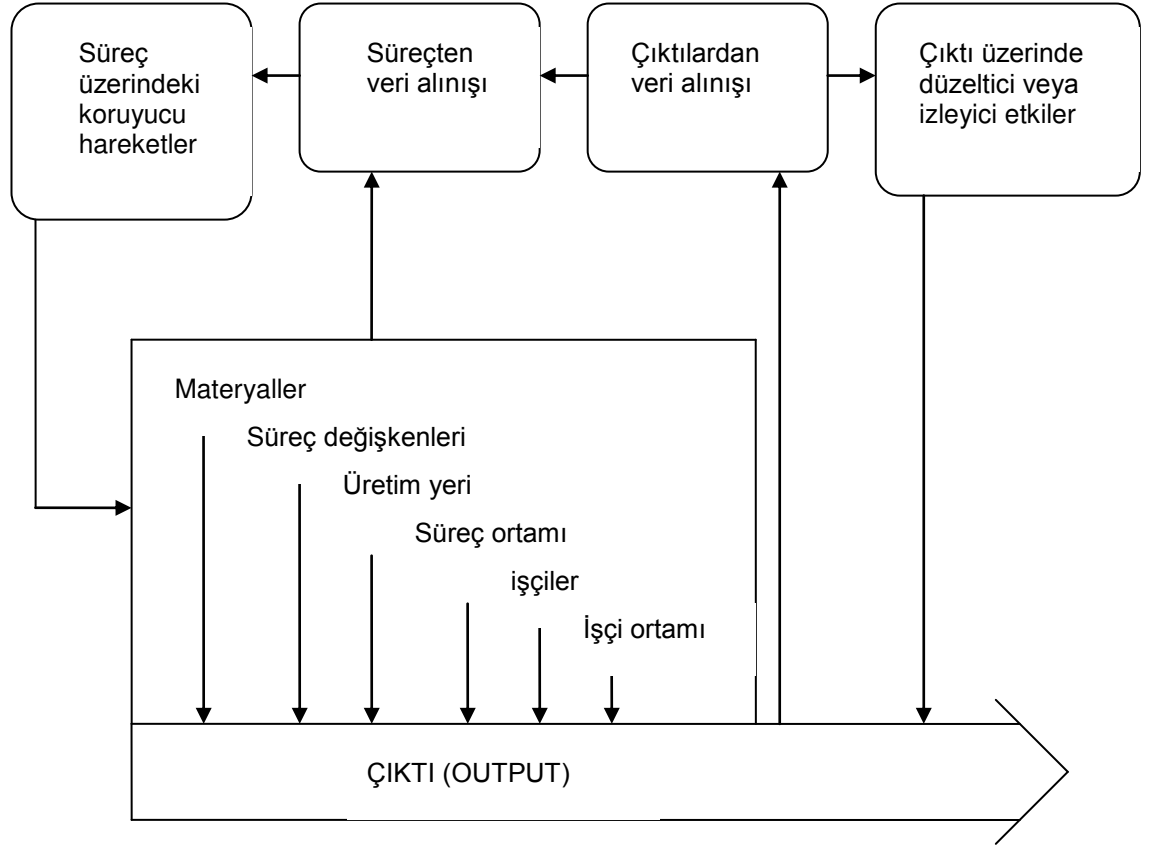


Şekil 4.3. Kontrol dışı durum

4.3. On-Line (Çevrim içi) İSK Metotları

İstatistiksel süreç kontrolü metotları on-line ve off-line olarak iki şekilde tanımlanır.

Aşağıda Şekil 4.4. de de görüldüğü gibi on-line İSK metotları izleme (screening) ve koruyucu amaçlı olarak yine iki ayrı şekilde sınıflandırılır.



Şekil 4.4 Bir sürecin kontrol şeması

İzleme amaçlı İSK metodunda, çıktı incelenir eğer kalite tatmin edici değilse standardın altındaki parçalar tekrar üretime sokulur veya daha ucuza satılır ya da hurda olarak ayrılır. Bu genellikle örneklem incelemesi ile yapılır. Kalitenin izlenmesinin genelde maliyeti pahalıdır ve bu nedenle pek önerilmez.

Koruyucu amaçlı İSK metodunda, süreç incelenir ve kusurlu ürünün üretilmesinden kaçınmak için süreç kontrolü uygulanır. Tipik koruyucu amaçlı İSK metodları;

- 1-) Süreç değişkenleri için Shewhart kontrol grafikleri
- 2-) Süreç değişkenleri için CuSum kontrol grafikleri,
- 3-) Girdi materyallerinin örneklem incelemesi
- 4-) Ürünün sürekli üretim incelemesi

Bazıları kontrol grafiklerini koruyucu amaçlı örnekleme incelemesinde süreci izleme metodu olarak ayırırlar. Bu ayırım doğru değildir. Kontrol grafikleri izleme mekanizmasında, örnekleme incelemesi de koruyucu yöntem olarak kullanılabilir.

İSK metotları süreç ortalama düzeyi ve süreç yayılımı kontrolü üzerine odaklanmıştır. Özellikle süreç yayılımı ve çeşitliliği kalitenin başlıca düşmanıdır ve kontrol altına alınmalıdır. Gerçekte üretici, tüketici ve kaynak sağlayanlar arasında kalite üzerinde yapılan tartışmaların çoğu ürünlerin ve stok beslemenin tutarlılığı ve de uyum içinde olması etrafında odaklanır. (Gözübatık K. Yüksek lisans tezi,1997)

4.4. Off-Line (Çevrim dışı) Süreç Kontrolü

İdeal olarak bir ürünün tasarımı ve düzenlenmesi üretim sürecinin başında yapılması gerekirken, genelde on-line İSK metodundan bir sonraki adım olarak kullanılmıştır. Bunun amacı süreci veya ürünü değiştirerek değişebilirliğin potansiyel nedenlerinin etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmaktır. Böylece süreç daha az duyarlı hale gelecektir.

Genellikle bu metot, içinde istatistikçi bulunan yaratıcı ve hünerli bir takım ruhuna ihtiyaç duyar. Böyle bir süreç kontrolü için basit rehber adımlar veya genel kurallar söylemek mümkün değildir. Deneylere dayanan bu tip tasarımlar Taguchi tarafından ortaya atılmıştır. Bu metodun daha iyi anlaşılması için aşağıdaki örnek verilmiştir.

Örnek: Büyük bir seramik insülatör içindeki değişebilirliğin nedenleri için farklı pek çok neden öne sürülmüştür. Bu nedenler içerisinden hangisinin en önemli etkiye sahip olduğunu belirlemek için bir deney yapılmıştır. Bu deneyde en önemli nedenin fırınlama sıcaklığı olduğu görülmüştür.

Hassas bir seramik karışım elde etmek için bir çalışma programı sunulmuştur. Bunun yanı sıra değişimin daha az etkili kaynaklarından birinin de insülatörün üretimi ile fırınlama arasında geçen zamanın uzunluğu olduğu bulunmuştur. Uygun bir ortamda küçük ayrı bir depo düzenlemesi ile bu problem büyük ölçüde giderilmiştir.

4.5. İSK' da İzlenen Yöntemler

İSK, süreç değişiminin ve değişimin nedenlerinin nesnel istatistiksel analizi olarak görülmelidir. Basit temel istatistiksel metotlar kullanılarak büyük karlar elde edilebilir.

Parça üretimi yapan bazı endüstrilerde grafikleme metodu uygulanabilir. Bazen grafik üzerinde neyin çizileceği (örneğin boyutlar) ve sürecin kontrol dışı olma durumu ortaya çıktığında ne yapılacağı oldukça açıktır.

Diğer endüstri tiplerinde özellikle süreç endüstrilerinde durum oldukça karışıktır, grafikte neyin çizileceği ve kontrol dışına çıkma durumu ortaya çıktığında ne yapılacağı tamamen açık değildir.

Süreç endüstrilerindeki süreçler, geri dönüştürme, otomatik kontrol düğmeleri ve pek çok karıştırma aşamalarını içerir.

Tipik olarak bir süreç endüstrisi;

- 1- Ürün kalitesini belirlemek için yaklaşık 10 değişkene sahiptir.
- 2- 200–500 arası süreç parametresi veya değişkenine sahiptir.
- 3- Girdi hammadde miktarı ve kaliteyi belirlemek için yaklaşık 30 değişkene sahiptir.

İSK da izlenen adımlar;

Adım 1- Süreç Akışı

1.1 Süreç akışının diyagramının çizilmesi ve süreçteki adımların veya aşamaların not alınması

1.2 Verinin süreçten alınma akışının kaydedilmesi ve verinin ne zaman nereden alındığının not edilmesi

Adım 2- Problemin Belirlenmesi

2.1 Müşteriler dahil olmak üzere problem hakkında insanların fikirlerinin alınması

2.2 Önemli ürün değişkenlerinin ölçülüp ölçülmediğinin belirlenmesi

2.3 Bu değişkenler üzerinde hareketli ortalamalar, birikimli toplamalar ve süreç yetenek çalışmalarını kullanarak veri analizinin yapılması

2.4 Uygun olmayan ürünlerin maliyetlerinin hesaplanması

2.5 Süreç kayıt defterleri kullanılarak süreç mühendisleri ve operatörleri ile müzakere yaparak verilerin yorumlanması

Adım 3- Sürecin Araştırılması

3.1 Süreç hakkında bilginin toplanması

- a-) Teknik kaynaklardan ve raporlardan bilinenler
- b-) Bazı şeyler arasında olduğuna inanılan kuvvetli ilişkiler
- c-) Varsayımlar ve kanılar

3.2 Eğer mümkünse sürecin durdurulması ve buna ulaşılması için gereken her ekstra veri üzerinde karar verilmesi

3.3 Kalite kontrol veya diğer rutin işlemlerden elde edilebilen verilerin toplanması ve ihtiyaç duyulan ekstra veriler üzerinde kararın verilmesi

3.4 Grafikleri, birikimli toplam (CuSum) grafikleri, çoklu regresyon veya çok değişkenli istatistiksel metotların kullanılarak verilerin analizinin yapılması ve yorumlanması

3.5 Deneysel veya teorik modellerin kurulması ve test etmek için üretim yeri üzerinde deneylerin sürdürülmesi ve tasarımın yapılması

3.6 İSK grafiklerinin seçilmesi ve nerede uygulanacağına karar verilmesi

3.7 İSK'nın tanımlanması

4.6 İSK'nın Başarısını Etkileyen Faktörler

Süreç hakkında bilginin toplanması, kontrol çizelgelerinin düzenlenmesi ve kalitenin yüksek tutulması, ürünün geliştirilmesi konularında İSK'nın teknik yönü önemlidir.

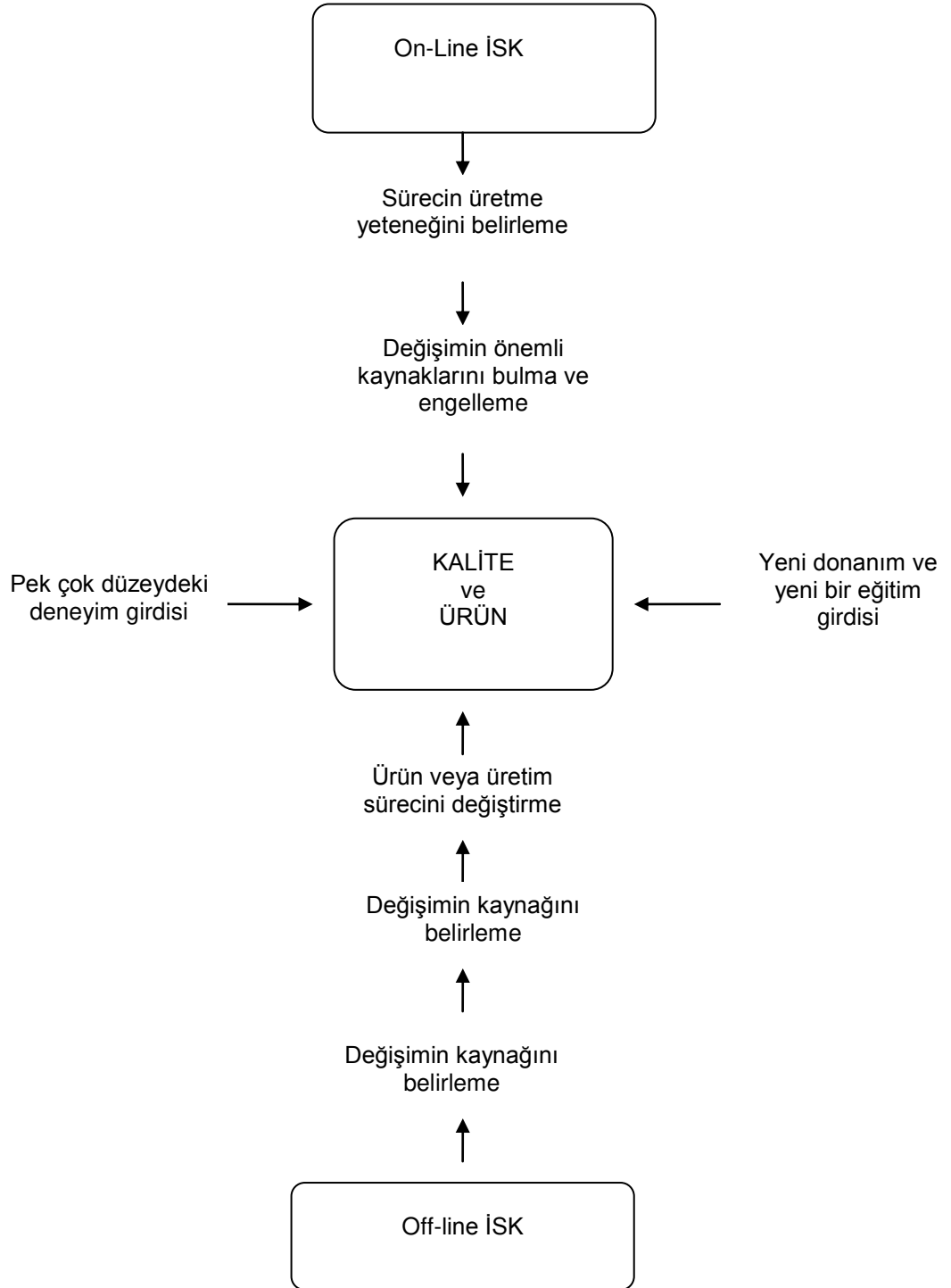
Firmalar, fayda sağlayabilecekleri her yerde donanım, maddiyat ve eğitim açısından esaslı bir şekilde hazırlanmak zorundadır. Yüksek kalitede bir üretim için bir yönetim felsefesine ve tüm düzeydeki çalışanların teşvik edici ve cesaretlendirici bir yapıya sahip olması gerekir.

Japonya'da İSK'nın ve diğer kalite girişimlerinin başarısı, İSK tekniklerinin ortaya çıktığı Amerika ve İngiltere için başarısızlık olarak değerlendirilebilir. Özellikle hem kalifiye hem de kalifiye olmayan işgücünün yönetimindeki başarı, o

firmayı iyi tanımaya ve insanların içinde verimli çalışabilecekleri ortamların hazırlanabilme temeline dayanır.

Pek çok insan, büyük bir şirketin sürekli olarak sağlıklı işleyişine ve karlılık durumuna bağlıdır. İyi bir şirkette şimdi ve gelecekte menfaatleri olan insanlar her düzeyde şirket için çalışan insanlardır. İnsanlar sarf ettikleri büyük çaba ve zaman karşılığında sadece para değil manevi yönden de tatmin edici motivasyonu sağlayan davranışlarla karşılaşmayı beklerler.

Daha fazla kazanç sağlamak için uzun süreli çalışan insanları da var olmasına rağmen pek çok insan için para işin yüksek standartta yapılması için motivasyon sağlamaz. Bu motivasyonu sağlamak için kişiye, başarılı olduğu ve değerli olduğu hissettirilmelidir. Eğer içinde bulunulan durum yapılan işin iyi yapıldığının görünmesine izin veriyorsa ve yapılan iş kişinin kendisini geliştirmesini sağlayan bir iş ise, kişi kendisini uzun süre motive edebilir. Fakat yine de kişinin yapabileceğinin en iyisini yapmasını sağlamak için bazı yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Kaliteyi geliştirme ödülleri de bu yaklaşımlardan bir tanesidir. İSK'nın başarısını etkileyen faktörler Şekil 4.5. de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. İSK'nın başarısını etkileyen faktörler

5. SÜREÇ YETENEK ANALİZİ

5.1. SÜREÇ YETENEK ANALİZİ

Süreç yeteneği belirli bir kalite özelliği için değişkenlik ölçüsüdür. Bu değişkenlik zaman boyutunda iki farklı şekilde ele alınabilir.

- Belirli bir anda var olan değişiklik
- Zaman içinde oluşan değişiklik

Süreç yetenek analizinde;

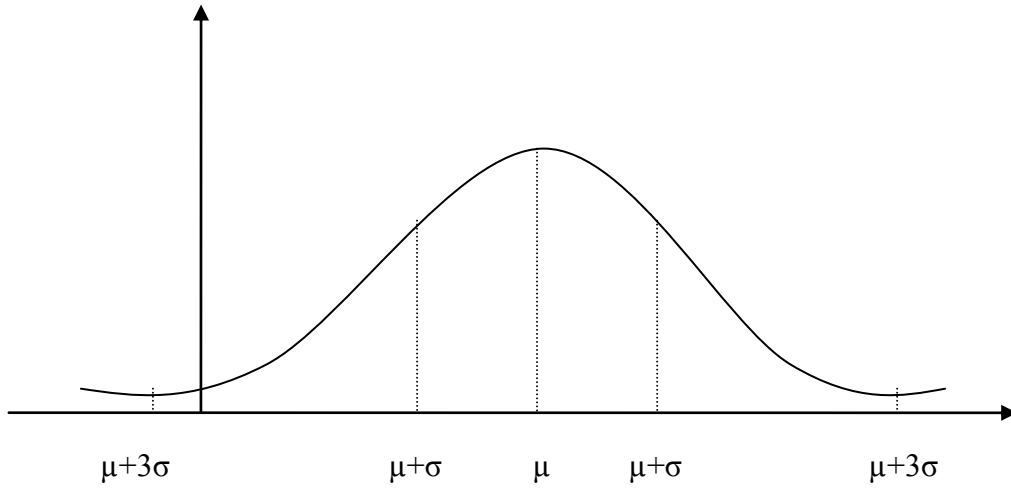
1. adım: Süreci tanımlamak

2. adım: Belirlenen alt ve üst limitlerin (alt ve üst spesifikasyon limitleri) tanımlanmasıdır. Bu spesifikasyonlar süreç çıktısını ölçmeye olanak sağlayacak şekilde tanımlanmalıdır.

3. adım: Veri grubu belirlenmelidir. Değişken verilerle yapılan süreç yetenek analizi niteliksel veriyle yapılandan daha hassas sonuç vermektedir.

4. adım: Önemli ürün değişkenleri için süreç yetenek analizi tamamlanır. Bu analizde zamana bağlı sonuçların histogramı ya da ilgili grafikleri çizilir ve süreç yetenek indis tahminleri hesaplanır.

Süreç yeteneğinin ölçüsü olarak genellikle 6σ açıklığı olarak tanımlanır ve bu doğal toleranslar olarak adlandırılır.



Şekil 5.1. $\mu \pm 3\sigma$ için normal dağılım eğrisi

Ortalaması μ , standart sapması σ olan normal dağılım eğrisi yukarıdaki gibidir. Böyle bir dağılıma sahip sürecin değişkenlik sınırları $\mu-3\sigma$ ve $\mu+3\sigma$ olarak belirlenebilir.(Akın B. 1996)

Süreç yetenek analizi kalite geliştirme programının en önemli kesimidir.

Süreç yetenek analizinin sağladıkları;

- Sürecin toleranslara uygunluğunun kestirimi
- Süreç seçimi veya yenilenmesinde tasarımcılara yol göstermesi
- Süreç kontrolü için örnek alınma sıklıklarının belirlenmesi
- Yeni tezgâh ve donanımlar için performans ölçülerini oluşturmak
- Rakip satıcılar arasında seçim yapmak

Süreç yetenek analizinde histogram, olasılık işaretlemesi, kontrol grafiği yaklaşımı teknikleri uygulanabilir. Histogram kararlılığını sağlamak için 50-100 arasında yada daha fazla gözlem seçilmelidir.

Süreç yeteneğinin artırılmasını sağlayan şartlar;

- Varyasyonu yaratan özel nedenlerin tümünü ortadan kaldırmak
- Süreç ortalamasını hedeflenen değere mümkün olduğunca yaklaştırmak
- Varyasyonu yaratan yaygın nedenleri azaltarak

süreç yeteneğini arttırabiliriz.

5.2. SÜREÇ YETENEK İNDEKSLERİ

Normal dağılımlar için süreç yeteneğinin belirlenmesinde C_p , C_{pk} ve C_{pm} olarak adlandırılan süreç yetenek indeksleri kullanılır. Süreç yeteneği sayısal olarak belirlenen sınırlarla ve dağılım arasındaki ilişkiyi ifade eder. (Holmes D, 1994)

C_p : Sürecin yayılımını ve sınırları belirlenmiş ürünü üretme yeteneğini gösterir.

C_{pk} : Sürecin hem yayılımını hem de ortalamasının hedef değerden sapmasını kontrol etmektedir. Süreç ortalamasının hedef değere göre konumunu ve belirlenen sınırlar arasındaki konumunu gösterir. Bu kontrolü yapabilmesi için çift yönlü olarak yapılması gerekmektedir. Ayrıca sürecin ne kadar kusurlu ürün üretme olasılığının olduğunu hesaplayan indekstir. Bu özelliği nedeniyle C_p den daha üstündür.

C_{pm} : Hesaplanan formül normal sigma ile değil de Taguchi'nin sigması ile bölünür.

Genichi Taguchi (1924) Japon istatistikçi ve aynı zamanda mühendistir. Üretilen malların kalitesini istatistiksel uygulamalarla geliştirmek için yöntemler geliştirmiş ve ayrıca deneysel tasarım tekniklerinin basitleştirilmesi ve standartlaştırılması üzerine büyük katkılar sağlamıştır.

Taguchi'nin sigması (standart sapması), hem sürecin genişliğini hem de ortalamadan değil de hedef değerden (nominal) sapmayı içeriyor. Bunun anlamı sürecin merkezi hedef değer değilse Taguchi'nin sigması normal sigmadan daha büyük bir değere sahip olacaktır.

Taguchi'nin sigma karesini T_{σ^2} ile hedef değeri ise T ile gösterelim.

$$T_{\sigma^2} = \sigma^2 + (T - \mu)^2 \text{ ile hesaplanır.}$$

Sürecin;

Belirlenen üst sınır (BÜS) : Ürünün en büyük değerini

Belirlenen alt sınır (BAS) : Ürünün en küçük değerini gösterir.

Tolerans ise belirlenen üst sınır ile belirlenen alt sınır arasındaki farktır

$$\text{Tolerans} = \text{BÜS} - \text{BAS}$$

Süreç yetenek indeksleri aşağıdaki formüllerle elde edilir;

$$C_p = \frac{BÜS - BAS}{6\sigma} = \frac{Tolerans}{6\sigma}$$

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

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

Kitleden seçilen örneklem yardımıyla süreç hakkında genel bilgi edinebiliriz. Seçilen örneklem için süreç yetenek indisleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Örneklem tahmin edicileri için süreç yetenek indeksleri;

$$\hat{C}_p = \frac{BÜS - BAS}{6s} = \frac{Tolerans}{6s}$$

$$\hat{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{BÜS - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - BAS}{3s} \right\}$$

$$\hat{C}_{pm} = \frac{BÜS - BAS}{6\sqrt{s^2 + (T - \bar{x})^2}}$$

C_{pk} tahmin edicisi aynı zamanda **C_{pk} = C_p(1-k)** şeklinde de hesaplanabilir.

k: Spesifikasyon genişliğinin orta noktası m ile süreç ortalaması μ arasında bulunun bir uzaklık ölçüsüdür.

Spesifikasyon genişliğinin orta noktası $m = (BÜS + BAS)/2$ dir.

$$m \leq \mu \leq BAS$$

$$k = \frac{|m - \mu|}{(BÜS - BAS)/2}, \quad 0 \leq k \leq 1$$

k'nın örneklem tahmini için μ yerine $\bar{x}$ hesaba katılır.

$$\hat{k} = \frac{|m - \bar{x}|}{(BÜS - BAS)/2}$$

$$\hat{C}_{pk} = \hat{C}_p (1 - \hat{k})$$

$0 \leq k \leq 1$ iken $\hat{C}_{pk} \leq \hat{C}_p$ dir.

Süreç yetenek indisleri kitle ya da örneklem için yukarıdaki formüller doğrultusunda hesaplanır. Belirlenen üst sınır ile belirlenen alt sınır arasındaki farkın yani toleransın 8σ ve daha büyük olması halinde süreç yeterli olacaktır.

$$C_p = \frac{Tolerans}{6\sigma} = \frac{8\sigma}{6\sigma} = 1,33$$

$$C_p = \frac{Tolerans}{6\sigma} = \frac{6\sigma}{6\sigma} = 1$$

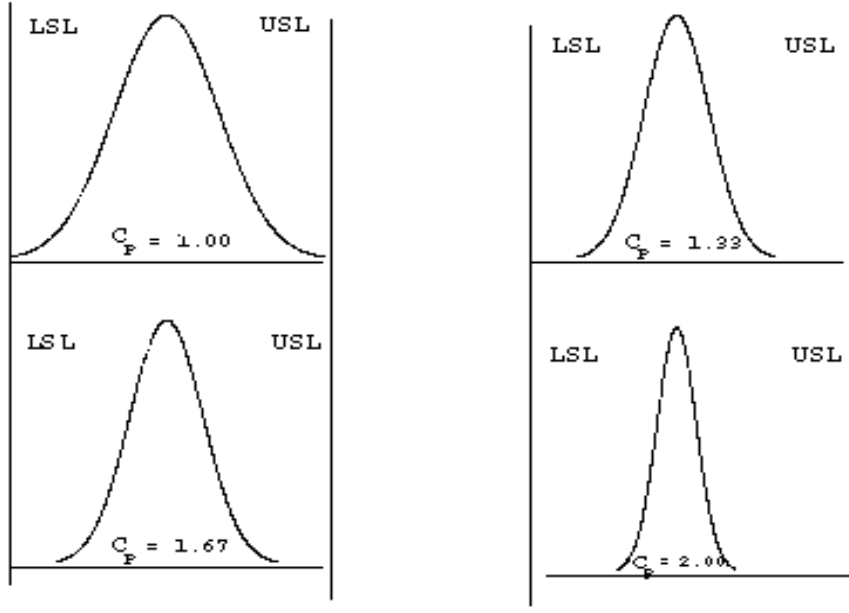
Hesaplanan bu indekslere göre süreç hakkında;

C_p ve $C_{pk} > 1,33$ ise süreç yeterlidir yani süreç tamamen belirlenen sınırları karşılayabilecek niteliktedir.

$C_p \leq 1,33$ ve $C_{pk} > 1$ ise süreç kabul edilir fakat süreç spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir. Süreç ortalaması hedeften uzaklaştıkça sürecin hata yüzdesi artabilir ve bu nedenle süreç kontrolü devam etmelidir.

C_p ve $C_{pk} \leq 1$ ise süreç yetersizdir. Süreç ortalaması hedef değerden uzaktır. Süreci geliştirmek için çaba gösterilmelidir.

Sürecin normal dağılıma benzeyen bir sonuç verdiği ve kontrol altında olduğu varsayıldığında, üretilen parçaların %99,7 si süreç yeteneğine karşılık gelen alan içinde olacaktır.



Şekil 5.2. C_p değerleri için normal dağılım grafikleri

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section1/pmc16.htm>

(USL – LSL) = (BÜS-BAS)	6σ	8σ	10σ	12σ
C_p	1.00	1.33	1.66	2.00
Kullanılan spec yüzdesi	100	75	60	50

Tablo 5.1. Tolerans değerleri ile C_p değerleri arasındaki ilişki

Tek yönlü belirlenmiş limitler için süreç yetenek oranı;

$$C_{pkü} = \left\{ \frac{BÜS - \mu}{3\sigma} \right\}$$

$$C_{pka} = \left\{ \frac{\mu - BAS}{3\sigma} \right\}$$

Süreç yetenek performansı olarak da adlandırılan C_{pk} ;

$$C_{pk} = \min \{ C_{pkü}, C_{pka} \} = \min \left\{ \frac{BÜS - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - BAS}{3\sigma} \right\}$$

Süreç yetenek indeksi olan C_p ;

$$C_p = (C_{pkü} + C_{pka})/2$$

şeklinde de hesaplanabilir.

Örnek: Bir süreç için BÜS=20 ve BAS=8, gözlenen ortalama $\bar{x}=16$ ve $s=2$ olmak üzere süreci değerlendirelim.

$$C_p = \frac{BÜS - BAS}{6s} = \frac{20 - 8}{6 * 2} = 1$$

Bunun anlamı süreç merkezi orta noktada $\{ (BÜS+BAS)/2=14 \}$ olduğu sürece yeterlidir. Fakat $\bar{x}=16$ olduğu sürece yeterli değildir.

$$\hat{k} = \frac{|m - \bar{x}|}{(BÜS - BAS)/2} = \frac{2}{6} = 0,333$$

$$\hat{C}_{pk} = \hat{C}_p (1 - \hat{k}) = 0,667$$

Sürecin yeterli olabilmesi için $\hat{C}_{pk}$ en az 1 olmalıydı.

$C_{pkü}$ ve C_{pka} yı da hesaplayalım.

$$C_{pkü} = \frac{20 - 16}{6} = 0,667$$

$$C_{pka} = \frac{16 - 8}{6} = 1,333$$

$$C_{pk} = \min \{ C_{pkü}, C_{pka} \} = 0,667 \text{ olduğunu da görmüş olduk.}$$

$C_p = 1$ ve $C_{pk} = 0,667 < 1$ olduğu için süreç yetersizdir. Süreç ortalaması hedef değerden uzaktadır. Süreci geliştirmek için çaba gösterilmelidir. (Holmes D. 1994)

Yeterli bir üretim sürecinde meydana gelebilecek hatalar;

1-) Ortalama bozukluğu hataları: Süreç ortalamasının toleransların orta noktasından sapmalar göstermesidir.

2-) Karışık parti hataları: Aynı şartlar altında üretilmemiş birimlerin oluşturduğu partidir.

3-) Üretim sürecinde görülen eğilimler hataları: Süreçte meydana gelen ani değişiklikler, malzeme, teknisyen gibi herhangi bir değişmeye bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Yeterli bir sürecin sağladığı avantajlar;

1-) Ürünün her bir parçası kalite yönünden daha uygun olacak ve yeni üretilen parçalar arasındaki farklılıklar azalacaktır.

2-) Kalite standartlarına, ürün spesifikasyonlarına ve müşteri isteklerine uygun üretimden dolayı, kaliteyi kontrol etmek için örnek hacmi dar olacak ve bunun sonucunda kontrol maliyeti düşmüş olacaktır.

6. SÜREÇ KONTROLÜNDE KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

6.1. PARETO ANALİZİ

Pareto analizi, değişik sayıdaki önemli nedenleri daha az önemde olan nedenlerden ayırmak için kullanılan bir yöntemdir.

Willfredo Pareto isimli İtalyan ekonomist Pareto Prensibi de denilen 80 / 20 kuralını ortaya çıkarmış ve bu kural Pareto analizi yönteminin temelini oluşturmuştur. Willfredo Pareto ilk olarak İtalya topraklarının % 80 ' ine nüfusun % 20 ' sinin sahip olduğunu fark ederek bu prensibi kurmuştur. Daha sonra da hayatının diğer kısımlarında bu kuralın geçerli olduğunu keşfetmiştir. 80 / 20 kuralının uygulamalarına bazı örnekler:

- Müşteri şikâyetlerinin % 80 ' i ürün veya hizmetin % 20 ' sinden doğmaktadır.
- Herhangi bir programdaki gecikmelerin % 80 ' i çeşitli gecikme sebeplerinin sadece % 20 ' sinden kaynaklanır.
- Satış gücünün % 20 ' si şirket gelirinin % 80 ' ini etkiler.

Pareto prensibi göstermiştir ki yaşanan problemlerin büyük çoğunluğu az sayıdaki önemli faktörden kaynaklanmaktadır. Eğer bu ana sebeplerin yol açtığı sorunlar düzeltilebilirse başarı şansı artacaktır.

Pareto analizi, yöntemi uygulayacak takımların sorunlara yol açan ana sebepler üzerinde hızlı bir biçimde odaklanıp problemi tespit edebilmeleri için kullanılır.

Pareto analizinden, belirli bir durum için neyin en önemli olduğuna karar vermede faydalanılabilir.

- Asıl sonucun ne olduğunun kararlaştırılması,
- Beyin fırtınası oturumunda toplanan verilerin analizi,
- Problemin ana sebebinin saptanması,
- Veri toplama işleminin incelenmesi,

aşamalarında da Pareto analizi yönteminden yararlanılabilir.

Pareto analizinin faydaları şöyle sıralanabilir:

- Problem üstünde en önemli etkiye sahip olan faktörü belirlemek
- Problemleri listelemek ya da sebepleri tablolaştırmak ve her biri için oluşan hata sayısını saptamak
- Önem sırasına göre tablo oluşturmak
- Listedeki toplam hata sayısını belirlemek
- Her bir problemin gösterdiği % oranlarını hesaplamak

Herhangi bir takım çalışmasında ortak bir karar almak ya da bir yolda birleşmek.

Pareto analizinde bir tablodaki birçok rakamın karşılaştırılıp bir tabloda gösterilmesi mümkündür. Buna Pareto diyagramı adı da verilir. Pareto diyagramı, bir problemin önemli sebeplerini daha az öneme sahip olan sebeplerden ayırt etmekte kullanılan bir çubuk diyagramıdır. Bu diyagram giderek azalan bir düzende bilgi verir.

Pareto diyagramının oluşturulmasında izlenmesi gereken adımları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Yoğun işlemlere ilişkin sorun ve süreçlerden başlanmalıdır. Bu nedenle, Pareto diyagramının sebep-sonuç analizinden sonra yapılması faydalı olacaktır. Sorunlarla ilgili veriler kategorize edilmelidir.
- Toplanan verilerle elde edilen kategoriler azalan sırada diyagrama yerleştirilmeli ve verilerin toplam içindeki yüzdesi hesaplanmalıdır.
- Diyagramın dikey eksenine ölçülen olayın, ölçüm birimi veya adı yazılmalıdır. Eksen sıfırdan başlayarak tüm oluşumların toplamının kaydedilebileceği eşit aralıklara bölünmelidir.
- Diyagramın yatay eksenini eşit aralıklarla bölünerek her aralık değişik kategorileri ifade edecek şekilde tanımlanmalıdır.
- En sık tekrarlanan kategori en solda yer alacak şekilde ve azalan seyir ile sağa doğru daha düşük frekanslı kategorilerle devam edilmelidir.
- Her sebebin yüzdesine göre çubuk grafiği çizilir.
- Kümülatif yüzdeye göre çizgi grafiği çizilir.

▪ y eksenindeki % 80 hizasında çizgi grafiğine çizgi çizilir, bu hizada x eksenine inilir. Bu çizgi, önemli olanları diğerlerinden ayırır.

▪ Diyagramın anlamlı bir başlıkla sunumu faydalı olacaktır.

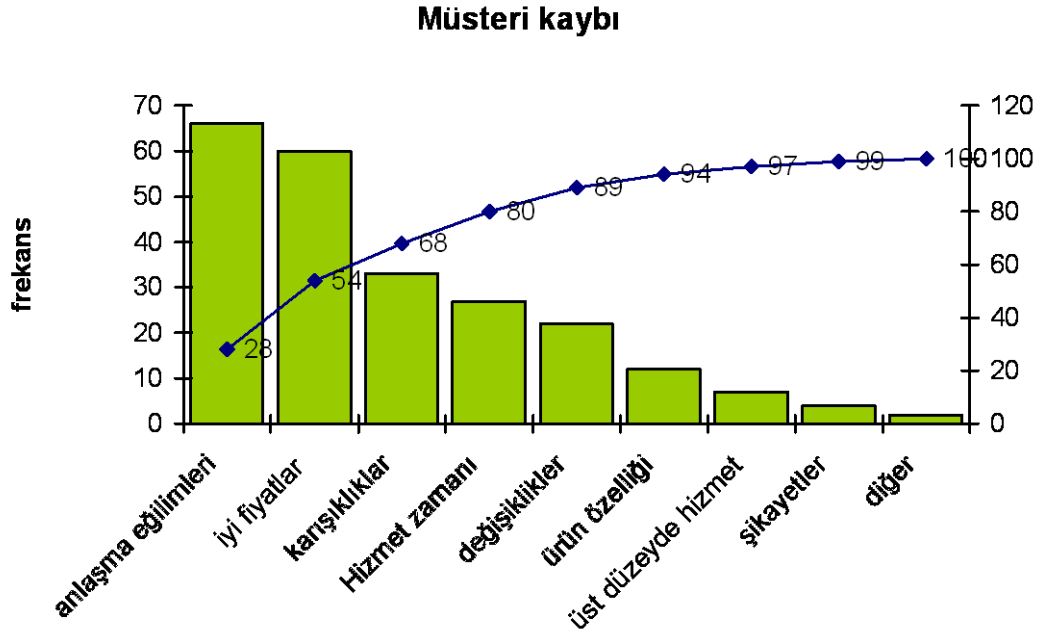
ÖRNEK: Bir işletme müşteri kaybı probleminde pareto analizi yöntemini uyguluyor. Bunun sebepleri konusunda çeşitli araştırmalar yapılıyor, veriler kategorilere ayrılıyor. Üzerinde çalışıldığında en etkili olacak sebepleri tespit etmeye çalışıyorlar.

Veriler şu şekilde :

Rakiplerin anlaşma eğilimleri	66
Rakiplerden daha iyi fiyatlar	60
Faturalamadaki karışıklıklar	33
Hizmet zamanı	27
Satıştaki değişiklikler	22
Daha çok ürün özelliği	12
Üst düzeyde hizmet	7
Telefon sistemindeki şikâyetler	4
Diğer	2
Toplam	223

Tablo 6.1.

Ve pareto diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilir.



Şekil 6.1. Pareto analizi ile elde edilen grafik

Sonuçta görüldüğü gibi müşteri kaybının %80 i ilk 4 sebepten kaynaklanmaktadır.

6.2. Sebep-Sonuç Diyagramı

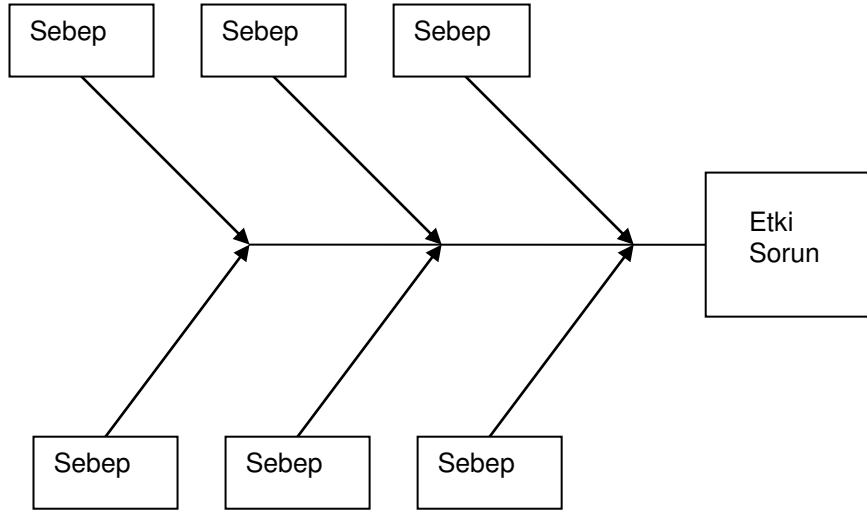
Bu diyagram ilk defa 1943 yılında Tokyo üniversitesinden Prof. Dr. Kaoru Ishikawa tarafından kullanılmıştır. Japon endüstrisinde kalite kontrol faaliyetleri içerisinde vazgeçilmez bir araç durumuna gelmiştir.

Sebep-sonuç diyagramıyla problem hakkında tüm bilinenler ortaya konulur ve buradan bilinmeyenlere doğru sistematik bir yaklaşımla problemin çözümü sağlanmaya çalışılır. Hatalı ürünü ortaya çıkaran nedenler ile hataların önem dereceleri de farklılık gösterdiğinden bunları bir süreç içerisinde sistematik olarak izlemek mümkündür.

“Kalite karakteristikleriyle etmenler arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram”dır. Balık kılçığı diyagramı olarak da adlandırılır. Omurgasını ilgili

kalite özelliğinin oluşturduğu, sebepleri ise önemine göre (ana sebep/tali sebep) kılçıkları oluşturduğu bir gösterim metodudur.

Bu diyagramın hazırlanmasında öncelikle araştırılacak özellik çizilen omurganın sağına yazılır. Daha sonra birinci derecede etki eden faktörler büyük kılçıklarla, onlara bağlı ikincil etkenlerde küçük kılçıklarla gösterilir. Tüm olası sonuçları ortaya dökkebilmek için genellikle geniş katılımlı “beyin fırtınası” toplantıları düzenlenir. Balık kılçığı diyagramının temel formu şekildeki gibidir.



Şekil 6.2. Balık kılçığı diyagramı

Beyin fırtınası çalışması aşağıdaki şekilde uygulanabilir.

- Toplantıya katılan herkese bir demet kart ve kalem verilir.
- Kartların üzerine katılanların ikişer veya üçer öneri yazmasına izin verilir. Kartlarda birden fazla öneri olması ve her önerinin üç satırı geçmemesi istenir.
- Bu işlem çok kısa zamanda tamamlanarak, öneriler tahtaya asılır ve üzerinde tartışılmasına izin verilmez. Eğer gerek görülürse konularla ilgili 20 saniyeyi geçmeyecek açıklamalara izin verilebilir. Önerilerden benzer olanlar bir araya toplanır.

- Belirlenen öneriler birinci tur oylamada tek tek oylanır
- Aldıkları oy adedine göre öneriler sıralanır.
- En çok oy alan öneriler işaretlenir ve hiç oy alamayanlar elenir.
- En az kaç oy alan önerilerin ikinci tur oylamada tartışmaya açılacağına grup üyeleri karar verirler.

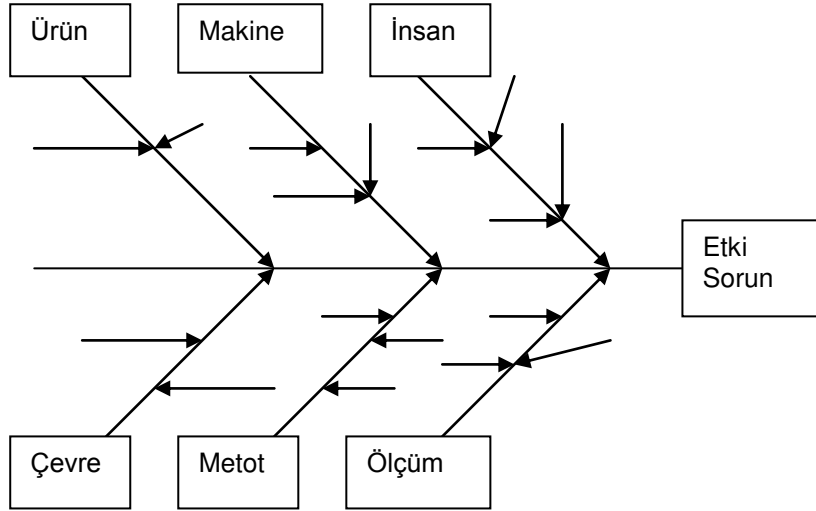
▪ İkinci tur oylamada her üyenin sadece bir tek oy hakkı vardır. Etrafı çizilen önerilerden en çok oy alanlar sıralanır. Bunlar yönetime sunulurken geçerli bir kaynak olabilmesi için; diyagramın adı, geliştirme konusu, grup adı, tarih, liderin ismi gibi bilgileri içermesi gereklidir.

Diyagramın oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Tüm sebeplerin aktarılabilmesi için herkesin görüşü (beyin fırtınası) alınmalıdır.
- Özellik somut olarak tanımlanmalı ve ölçülebilir olmalıdır.
- Her özellik için ayrı bir diyagram hazırlanmalıdır.
- Etkenler çözülebilir nitelikte olmalıdır.
- Sebeplerin önemini tayin ederken objektif olunmalıdır.
- Zaman içinde diyagramın güncelleştirilmesi gerekir.

Pareto analizi ve balık kılçığı diyagramının birlikte kullanılması pratikte tercih edilen bir metottur. Önce önemli özellikler pareto analizi kullanılarak keşfedilir daha sonra ise sebep-sonuç diyagramı ile bu özelliğe etki eden faktörler açığa çıkarılır. Bu faktörlerin düzeltilmesi problemi %95 olasılıkla çözecektir.

Aşağıdaki şekilde bir diyagram taslağı gösterilmektedir.

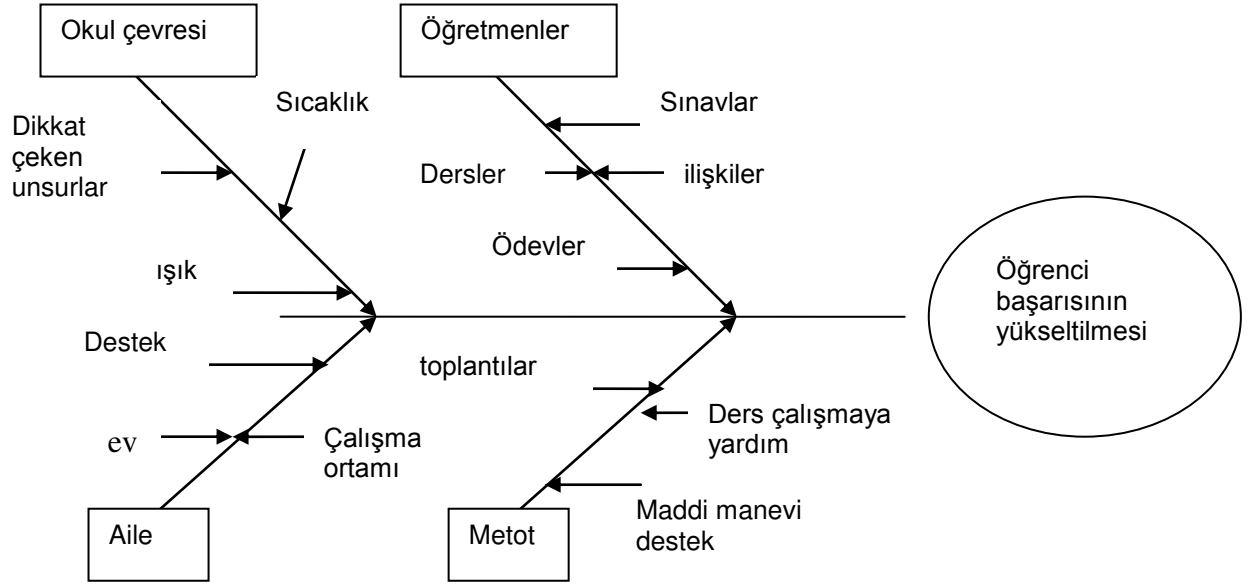


Şekil 6.3. Sebepler sonuç diyagramı taslağı

Yukarıdaki diyagramda sorunun sebepleri genel olarak 1-makine, 2-ürün, 3-metot, 4-insan, 5-çevre, 6-ölçüm gibi arttırılabilen nedenlerdir.

Örneğın ürünler sağlandığı kaynağı ve zamana göre farklılık gösterebilirler. Makineler hep aynıymış gibi görünse de aşınmalar, çevre şartları, enerji gibi nedenlerden dolayı değışkenlik gösterebilir. Hep aynı yöntem kullanılsa da zaman ve kişiye bağılı değışkenlik görülebilir. Bu nedenle meydana gelen küçük değışkenlikle ürün kalitesinde önemli değışikliklere (sapmalara) neden olabilir. (Akın B. 1996)

Öğrenci başarısını arttırmaya yönelik bir sebepler-sonuç diyagramı şekilde verilmiştir. (Şekil 6.4)



Şekil 6.4. Sebep sonuç diyagramına bir örnek

6.3. Saçılım Grafiği

Üretilen ürünün kalitesini etkileyen herhangi iki özellik arasında ilişki olup olmadığını belirlemek üzere kullanılan yöntemdir. Saçılım grafikleri genellikle iki cins veri arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

X ve Y gibi iki değişkenin artış ve azalışları birbirine bağlı olarak değişiyorsa aralarında korelasyon vardır demektir. X ve Y rasgele değişkenleri arasındaki ilişkinin ölçüsü için Pearson korelasyon katsayısı denir ρ parametresi kullanılır.

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{V(X)V(Y)}}$$

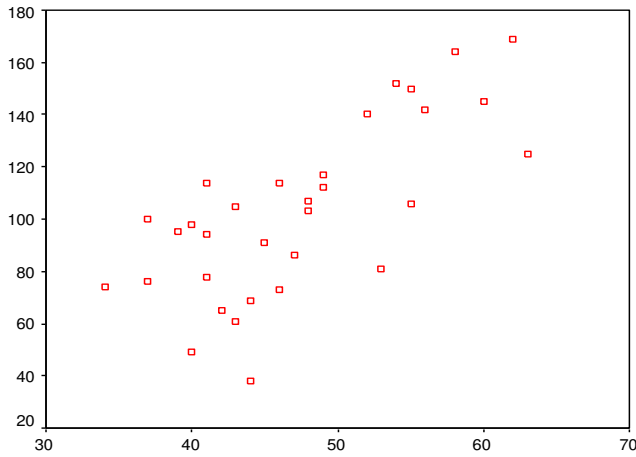
Örneklem korelasyon katsayısı r;

$$r = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left[\left(\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2 \right) \left(\sum y_i^2 - n(\bar{y})^2 \right) \right]}}$$

şeklinde hesaplanır.

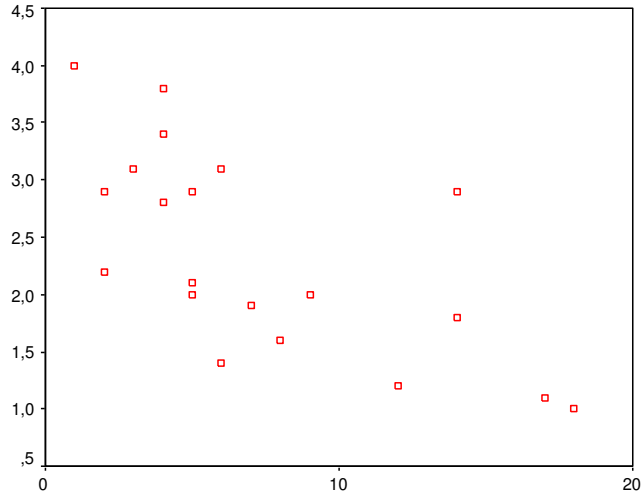
Uygulamalarda genellikle bir ürünün özelliğinin üretim sürecinin özelliği ile ilgili olup olmadığı araştırılır. Kalite ile ilgili sorunlar genellikle bu ilişkinin bozulması sonucu ortaya çıkar. Bu özellikler birbirine bağımlı olduğundan biri kontrol altına alınırsa diğeri de kontrol altına alınarak problem çözülebilir.

Saçılım grafikleri, X bağımsız değişken Y bağımlı değişken olmak üzere aralarında sebep-sonuç ilişkisinin olup olmadığını da göstermektedir. Bağımsız değişken, yatay eksene (x eksenine) bağımlı değişken, dikey eksene (y eksenine) yerleştirilmelidir. X değerlerine bağlı olarak değişen Y değerlerinin kesiştiği yerlere nokta konulur. Bu noktalar demeti incelenerek aralarında ilişki olup olmadığı yorumlanabilecektir. Aşağıdaki saçılım grafiklerini yorumlayalım.



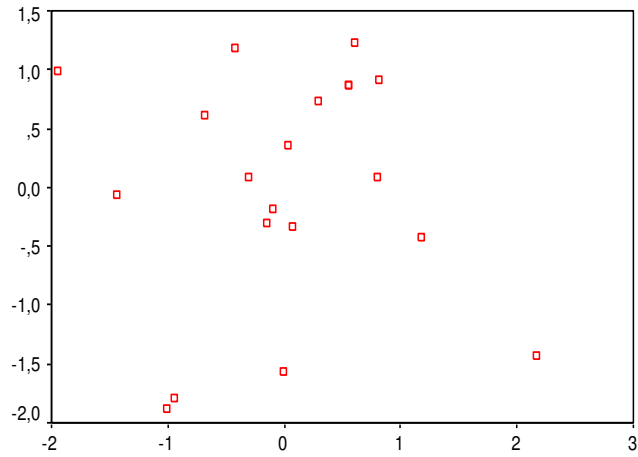
Şekil 6.5. Saçılım grafiği pozitif yönde doğrusal ilişki

Bu saçılım grafiğinde iki değişken arasında pozitif yönlü doğrusal ilişki vardır. Örneğin öğrencilerde not ortalamasının artışıyla, günlük çalışma saatinin artışı birbirine bağlı ve doğru orantılıdır. Öğrencilerin günlük çalışma saatleri arttıkça not ortalamalarının da arttığı görülmektedir. (**Şekil 6.5.**)



Şekil 6.6. Saçılım grafiği (negatif yönde doğrusal ilişki)

Bu saçılım grafiğinde iki değişken arasında negatif yönde doğrusal ilişki vardır. Örneğin öğrencilerde not ortalamasının artışıyla, devamsızlık saatlerinin artışı birbirine bağlı ve ters orantılıdır. Öğrencilerin devamsızlık saatleri arttıkça not ortalamalarının düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.7. Saçılım grafiği (ilişki yoktur)

Bu grafikte ise iki değişken arasında ilişki yoktur. Örneğin öğrencilerin not ortalaması ile boy uzunlukları birbirine bağımlı değildir. Dolayısıyla aralarında bir ilişki söz konusu değildir.

Kalite iyileştirmesinde kullanılan saçılım grafikleri;

- Bir kalite özelliği ile ona etki eden faktör arasındaki
- Birbirine bağımlı iki kalite özelliği arasındaki
- Bir kalite özelliğini etkileyen birbiriyle ilişkili iki faktör arasındaki bağıntıyı bulmaya yarar.

7. KONTROL ÇİZELGELERİ

7.1. Kontrol Çizelgelerine Giriş

Kontrol çizelgesi kavramı ilk defa 1924'te W.A.Shewhart tarafından geliştirilmiştir. Kontrol çizelgesinin amacı, genel değişkenlik faktörlerini özel değişkenlik faktörlerinden ayırarak süreçteki anormal değişimin önüne geçmektir.

Kontrol çizelgeleri süreç değişikliklerinin analizinde kullanılır. Süreç yeterliliğinin tespit edilmesi ve bu değişkenlerin müşteri gereksinimleri ile süreç performansı arasındaki farkın izlenmesi kullanılan istatistiksel araçlardır. Oluşmuş hataları ayıklamaktan ziyade, hataların oluşmasını önlemeyi ve süreci kontrol altına almayı hedefler. (Montgomery,1997)

Kontrol çizelgelerinin kullanım amaçları;

1. Mevcut bir sürecin kontrol edilebilirliğinin (yeterliliği) hangi sınırlar içinde olduğunu belirlemek
2. Süreç değişikliklerinin analizini yapmak
3. Bir sürecin istatistiksel olarak kontrol altına alınıp alınamayacağına kontrolü
4. Süreç yeterliliğinin tespit edilmesi ve bu değişkenlerin müşteri gereksinimleri ile süreç performansı arasındaki farkın izlenmesi
5. Kararlı olmayan süreci gözlemek ya da süreçte bir değişiklik olduğunda, erken uyarı sağlamak amacıyla kullanılır.

Kontrol çizelgelerinin faydaları;

1. Operatörün operasyonun gidişatını izlemesini sağlar.
2. Operasyonun kalite ve maliyet açısından sabit ve hatası önceden tespit edilebilir olmasını sağlar.
3. Operasyonun performansı üzerinde aynı dilin konuşulmasını sağlar.
4. Üretim sürecinin geliştirilmesinde etkindir.
5. Kontrol grafikleri verimliliğin artırılması için kanıtlanmış bir tekniktir.
6. Hatanın önlenmesinde etkindir.
7. Gereksiz süreç düzeltmelerini engeller.
8. Anlaşılabilir bilgi sağlar.
9. Süreç yeterliliğine ilişkin bilgi verir.

Bir süreç kontrol çizelgesi genel olarak merkez çizgi ile bunun altına ve üstüne simetrik olarak çizilen kontrol limitlerinden oluşur. Merkez çizgisi kontrolün hedef değerini limitlerle sınırlanmış alan ise kontrol alanını gösterir. Süreç devam ettikçe elde edilen değerler çizelgeye işlenir. Kontrol limitlerinin dışında kalan noktalar, süreçte normal olmayan bir şeylerin var olduğunun göstergesidir. Önlem alınmazsa kusurlu ürün üretilebileceğinin habercisidir. Böyle durumlar kontrol dışı durumlar olarak adlandırılır. Bu çizelgeler yardımıyla sürecin istatistiksel özellikleri görsel olarak sunulmuş olur.

Kontrol alanı genişliği olarak 3σ genişliği seçilir. Bu tür çizelgelere de “ 3σ kontrol çizelgesi” adı verilir. 3σ kontrol çizelgelerinde genel değişkenliğe bağlı olarak kontrol dışına çıkma olasılığı %0,3 tür. (0,997 olasılıkla normal) Süreç kontrolünde gözlemlenecek özelliğin (kontrol karakteristiğinin) seçiminde;

- Sürecin durumu doğru olarak yansıtmasına
- Süreç dışından etkileşimin en az düzeyde olmasına
- Ölçümlerin anında alınmasına
- Örneklemeye
- Ölçümün ekonomik olmasına
- Belirli bir özelliğin bu şartları yerine getirmemesi durumunda, bu şartları sağlayan ve önceki özellik ile sıkı ilişkisi olan alternatif bir özelliğin kullanılmasının sağlanmasına dikkat edilmelidir. (Murdoch, 1979)

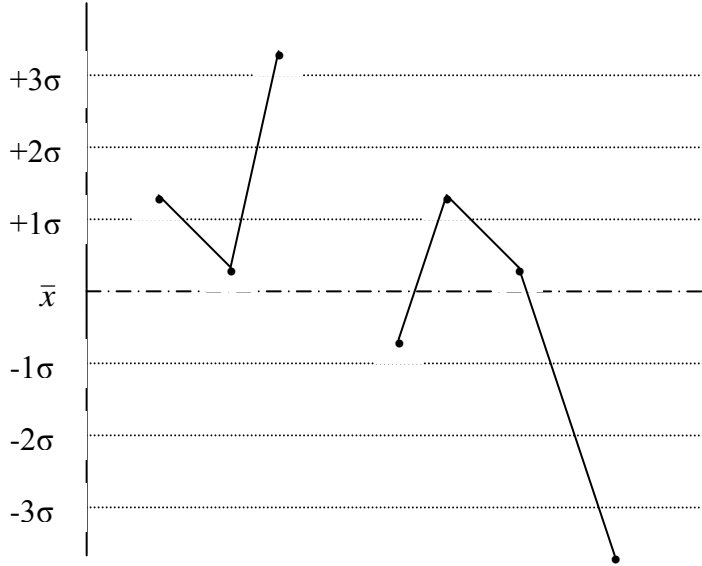
Kontrol çizelgelerinin çizimi için;

- İncelenecek olan kalite özelliği belirlenir.
- Örnekleme yöntemlerinden uygun olan bir tanesinden yararlanarak yeterli sayıda birimden oluşan örnekler alınarak ölçüm değeri kaydedilir.
- Kontrol çizelgesi tipi belirlenir.
- Belirlenen çizelge tipine göre kontrol alt ve üst limitleri hesaplanır.
- Üst ve alt kontrol limitlerinin doğruluğu ve yeterliliği belirlendikten sonra zamana göre, üretimle ilgili noktalar işaretlenerek kontrol grafikleri çizilir.
- Kontrol çizelgelerinde limitlerin dışında kalan noktalar belirlenip sebepleri araştırılır ve bu duruma uygun önlemler alınır.

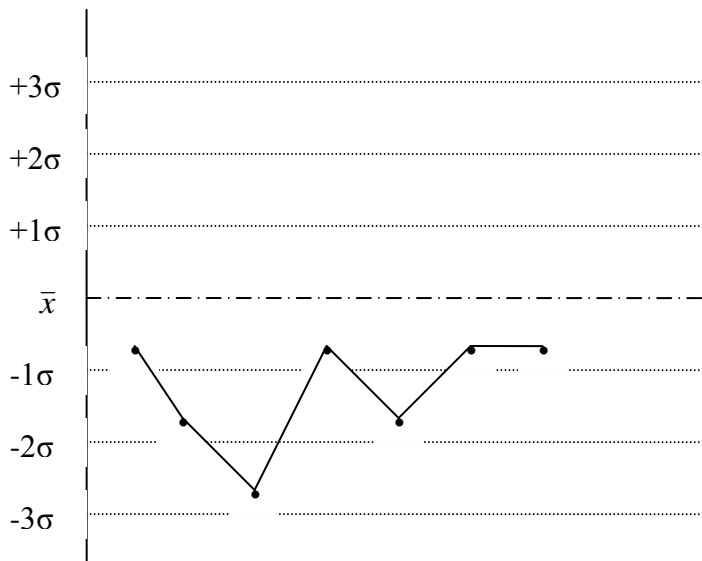
Sürecin kontrol dışına çıktığı durumlar;

1. Bir veya daha fazla noktanın kontrol limitleri dışına çıkması

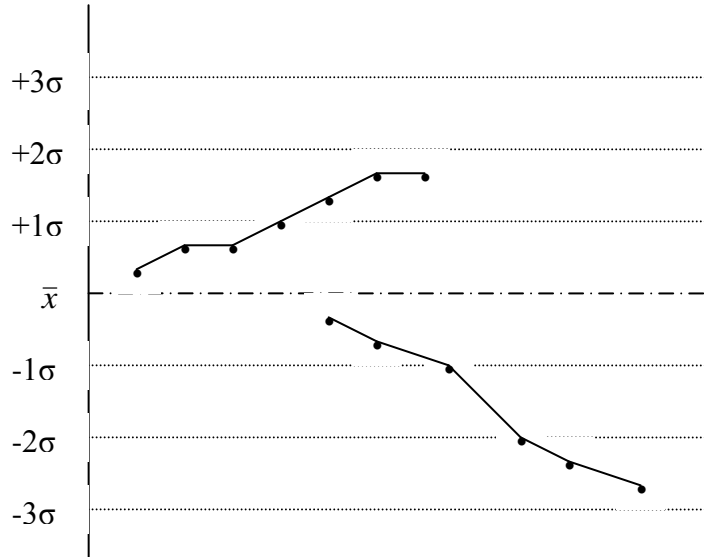
(Şekil7.1.)

**Şekil 7.1.**

2. Ard arda 7 noktanın hepsinin merkez çizginin altında ya da üstünde kalması (Şekil7.2.)

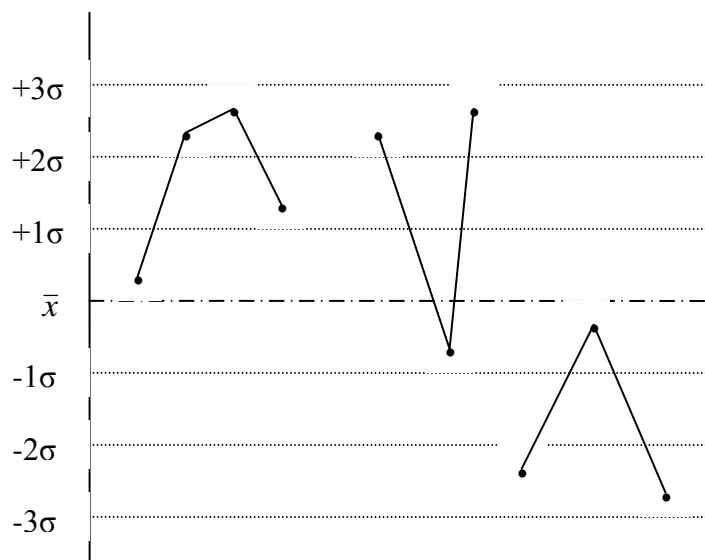
**Şekil 7.2.**

3. Ard arda 7 noktanın artan veya azalan eğilim göstermesi (Şekil 7.3.)



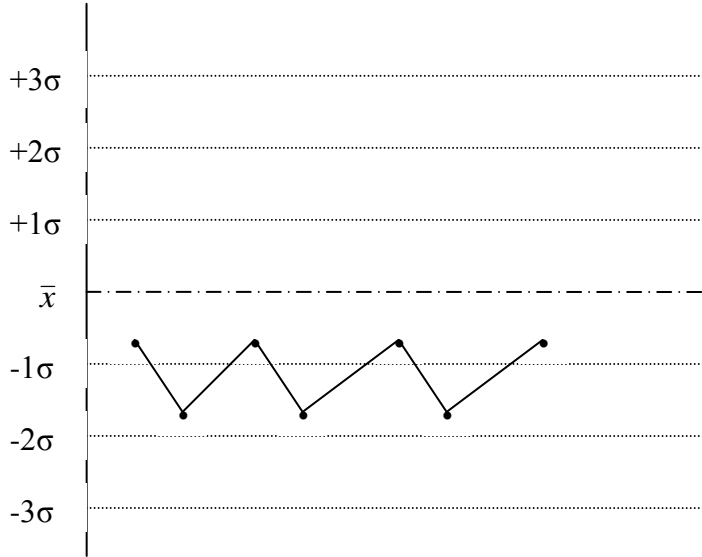
Şekil 5.3.

4. 3σ çizgisi yakınındaki her 3 noktadan 2 sinin 2σ çizgisi dışına taşması (Şekil 7.4.)



Şekil 7.4.

5. Noktaların periyodik olarak değişim göstermesi (Şekil 7.5.)



Şekil 7.5.

6. Noktaların büyük çoğunluğunun $1,5\sigma$ aralığı içinde kalması, Bu durum istenen bir durummuş gibi görünse de aslında dağılımın normal olmadığını belirtir, ya limitler yanlış seçilmiştir ya da örneklem yanlış elde edilmiştir.

Sürecin kontrol dışına çıkması ya ortalama değer in aşağı/yukarı kaymasından ya da dağılımın büyümesinden kaynaklanmaktadır. (OAKLAND, John S. 2003)

Kontrol çizelgeleri;

- Sürecin gidişatının izlenmesini,
- Sürecin kalite ve maliyet açısından sabit olmasını ve hatasının önceden tespit edilebilir olmasını
- Performansın devamını
- Özel ve ortak sebeplerin birbirinden ayrılmasını sağlar.

Kontrol çizelgelerinin kullanımı sayesinde ürünlerdeki değişimin azalması nedeniyle maliyet azalır ve etken kapasite yükselir.

Genel olarak ürünlerde incelenebilecek kalite özellikleri iki grupta incelenilir. (Akın B, 1996)

1-) Ölçülebilen kalite özellikleri

Bunlar uzunluk, ağırlık, hacim v.s gibi alet ve cihaz yardımıyla ölçülebilen ve rakamsal olarak ifade edilebilen özelliklerdir.

2-) Ölçülemeyen (niteliksel) kalite özellikleri

Bunlar ise kırık, çatlak, bozuk, lekeli, pürüzlü, v.s gibi duyu organlarıyla değerlendirilebilen özelliklerdir.

7.2. ÖLÇÜLEBİLEN ÖZELLİKLER İÇİN KONTROL ÇİZELGELERİ

Bu tip özellikler için ortalama ($\bar{x}$) , standart sapma (σ) ve değişim genişliği (R) çizelgeleri kullanılmaktadır. (Scordaki A. ve Psarakis S. 2005)

7.2.1. $\bar{x}$ - R Çizelgeleri

Örneklem genişliği küçükse ($n \leq 10$) ortalama ile birlikte değişim genişliği çifti şeklinde uygulanır. Bu uygulama ile hem ortalama hem de değişkenlik bakımından sürecin kontrol altında olup olmadığı araştırılabilir.

$\bar{x}$ Çizelgesi ortalamadan sapmaları gösterir. Normal dağılıma sahip verilerin genişlik ortalaması ile standart sapması arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki örneklem genişliği n'e bağlıdır.

σ 'nın tahmin edicisi $\frac{R}{d_2}$ dır. (d_2 n' e bağlı bir fonksiyondur.)

$$\bar{R} = \frac{R_1 + \dots + R_k}{k}$$

σ 'nın tahmini $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ şeklinde hesaplanabilir.

$\bar{x}$ - Çizelgeleri

$\bar{\bar{x}}$ 'yi ya da verilen hedef değeri, μ 'nün tahmin edicisi, $\frac{\bar{R}}{d_2}$ 'yi de σ

'nın tahmin edicisi olarak kullanırsak

$\bar{x}$ çizelgesinin parametreleri;

$$\text{Ü.K.L} = \bar{\bar{x}} + 3\bar{R}/d_2\sqrt{n}$$

$$\text{Merkez hat} = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{A.K.L} = \bar{\bar{x}} - 3\bar{R}/d_2\sqrt{n}$$

Bu limitleri aşağıdaki şekilde basitleştirebiliriz.

$A_2 = 3/d_2\sqrt{n}$ olsun.

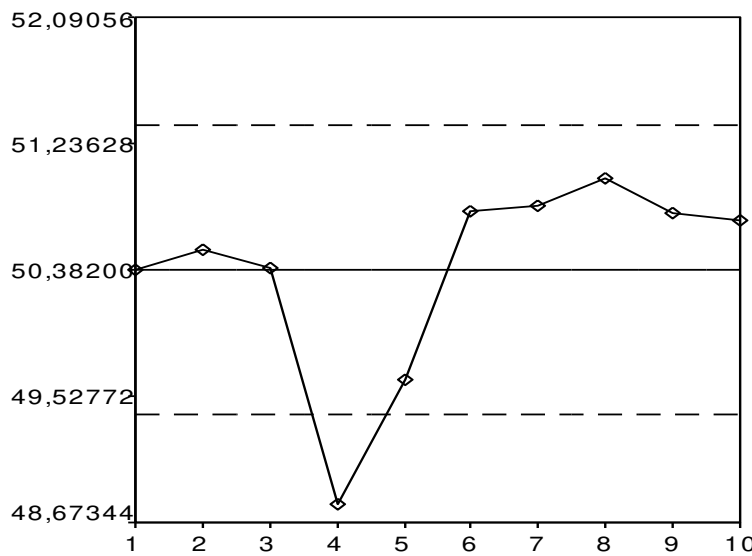
$$\text{Ü.K.L} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

$$\text{Merkez çizgi} = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{A.K.L} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

A_2 faktörü sadece n 'e bağlıdır. Tablo 5.1. den bakılabilir.

Aşağıdaki kontrol çizelgesi $\bar{x}$ - çizelgesine örnek olarak SPSS ortamında hazırlanmıştır. Bu çizelgeye göre 4 numaralı gözlem kontrol dışına çıkmıştır.



Şekil 7.6. $\bar{x}$ - kontrol çizelgesi

R-Çizelgeleri

Bu kontrol çizelgeleri, örneklem genişliği ile standart sapma arasında ilişki varsa çizilir. R çizelgesi homojenlikten sapmaları gösterir. Merkez hat, genişlik ortalamasıdır. Kontrol limitlerini hesaplamak için;

Bilinmeyen standart sapma $W = \frac{R}{\sigma}$ ve W 'nın standart sapması d_3 örnek genişliği n'e bağlı bir fonksiyondur.

$$R = W\sigma$$

R' nin standart sapması $\sigma_R = d_3\sigma$ olur.

Gerçek σ değeri bilinmiyor bu yüzden σ' nin tahmin edicisi;

$$\hat{\sigma} = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ olur.}$$

Böylece kontrol limitleri;

$$\text{Ü.K.L} = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Merkez hat} = \bar{R}$$

$$\text{A.K.L} = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Hesaplamayı basitleştirmek için;

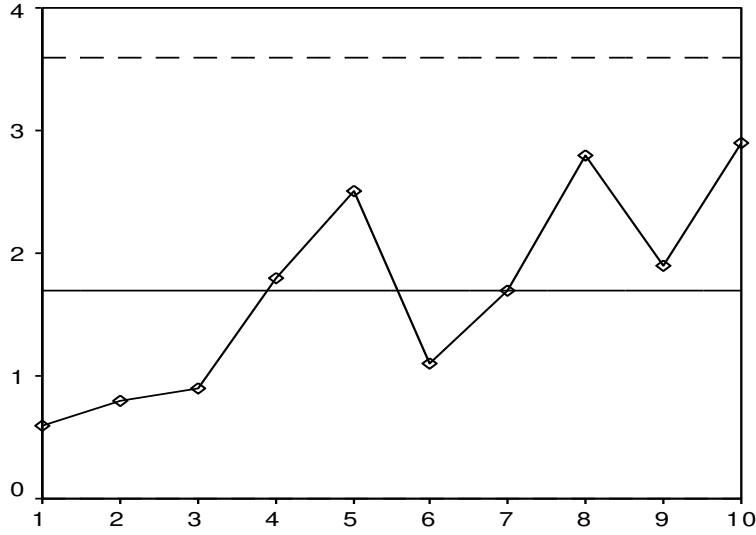
$D_3 = 1 - 3d_3/d_2$, $D_4 = 1 + 3d_3/d_2$ olarak hesaplanan ve Tablo-1 den bakılabilen faktörlerdir.

$$\text{Ü.K.L} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Merkez çizgi} = \bar{R}$$

$$\text{A.K.L} = D_3 \bar{R} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Aşağıda SPSS ortamında çizilmiş R çizelgesi görülmektedir. Bu çizelgeye göre verilerin değişim aralığıyla ilgili bir problem görülmemektedir. Verilerin değişim aralığı hesaplanan kontrol limitleri içerisinde.



Şekil 7.7. $\bar{x}$ - R kontrol çizelgesi

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda $\bar{x}$ -R çizelgeleri için bir örnek verilmiştir.

Örnek: Bir rulman imalat sürecinden 20 saat süresince her saat 4 adet örnek alınıyor ve çap ölçümleri yapılıyor. Tablo 5.1 de verilen değerleri kullanarak X-R çizelgesini hazırlayalım ve süreci analiz edelim. (Saraçoğlu, ipk eğitim notları,2000).

saat	1	2	3	4	$\bar{x}$	R
1	1.32	1.41	1.63	1.55	1.478	0.31
2	1.25	1.38	1.54	1.62	1.448	0.37
3	1.65	1.55	1.34	1.38	1.480	0.31
4	1.60	1.50	1.40	1.35	1.463	0.25
5	1.55	1.62	1.48	1.39	1.510	0.23
6	1.36	1.61	1.38	1.45	1.450	0.25
7	1.37	1.61	1.43	1.62	1.508	0.25
8	1.63	1.57	1.40	1.55	1.538	0.23
9	1.38	1.43	1.50	1.40	1.478	0.22
10	1.49	1.53	1.45	1.43	1.475	0.10
11	1.38	1.49	1.53	1.45	1.463	0.15
12	1.42	1.45	1.49	1.48	1.460	0.07
13	1.38	1.43	1.45	1.39	1.413	0.07
14	1.60	1.53	1.48	1.35	1.490	0.25
15	1.55	1.50	1.45	1.43	1.483	0.12
16	1.35	1.60	1.43	1.52	1.475	0.25
17	1.28	1.58	1.43	1.60	1.473	0.32
18	1.35	1.38	1.43	1.53	1.435	0.23
19	1.63	1.45	1.40	1.45	1.483	0.23
20	1.52	1.38	1.45	1.63	1.495	0.25

Tablo 7.1.

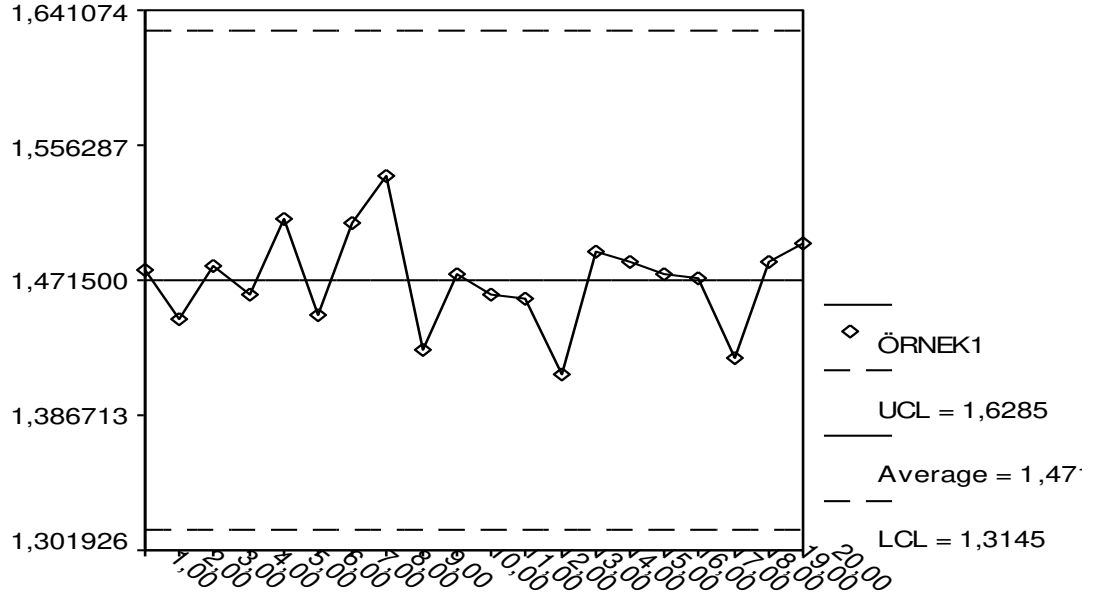
$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{n} = \frac{29.498}{20} = 1.475 \quad \bar{R} = \frac{\sum R}{n} = \frac{4.46}{20} = 0.223$$

$\bar{X}$ Çizelgesi için alt ve üst kontrol limitleri;

$$\bar{U}KL = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = 1.475 + (0.729) \cdot (0.223) = 1.638$$

$$M.\bar{C} = \bar{\bar{X}} = 1.475$$

$$AKL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 1.475 - (0.729) \cdot (0.223) = 1.312$$



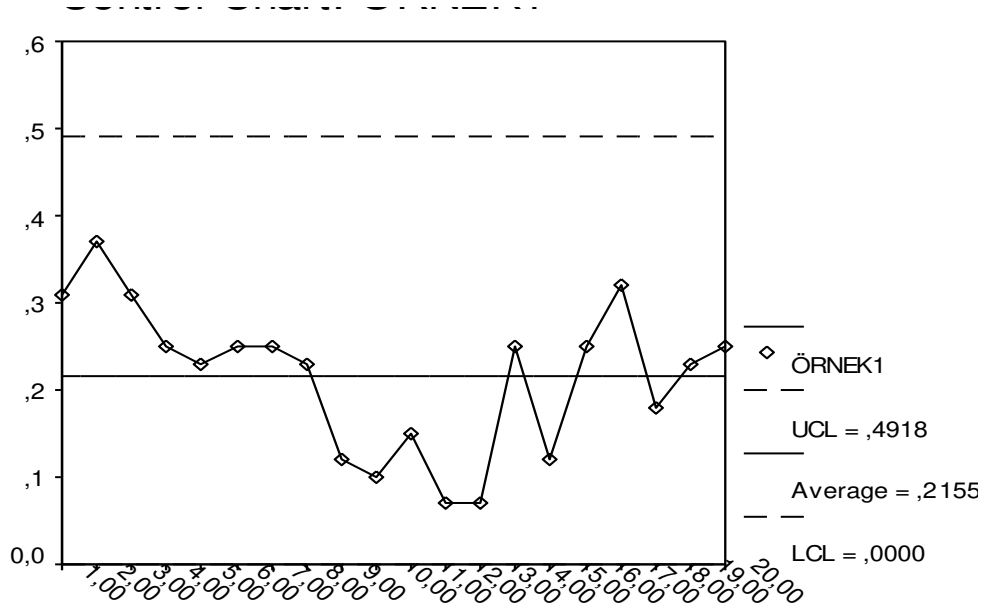
Şekil 7.8. $\bar{x}$ kontrol çizelgesi

R Çizelgesi için alt ve üst kontrol limitleri;

$$\bar{ÜKL} = D_4 \cdot \bar{R} = 2.282 \cdot 0.223 = 0.509$$

$$M.Ç = \bar{R} = 0.223$$

$$AKL = D_3 \cdot \bar{R} = 0 \cdot 0.223 = 0$$



Şekil 7.9. R kontrol çizelgesi

Grafikler incelendiğinde kontrol dışı bir durum olmadığı görülmektedir. Süreç kontrol altındadır.

7.2.2. $\bar{x}$ - S Çizelgeleri

Örneklem genişliğinin büyük olduğu durumlarda tercih edilir.

m tane, n genişliğinde örneklerden oluşan örneklemimizin her birinin standart sapmasını s_i ile göstereyim.

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i$$

σ 'nın yansız tahmin edicisi için c_4 faktörünü kullanacağız. Bu faktör, örneklem genişliği n 'e bağlı bir sabittir. Bu c_4 sabiti birçok istatistiksel kalite kontrol dokümanında aşağıdaki şekliyle hesaplanır.

$$c_4 = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{(\frac{n}{2}-1)!}{(\frac{n-1}{2}-1)!}$$

Kesirli sayıların faktöriyel hesabı;

$(\frac{n}{2})! = (\frac{n}{2})(\frac{n}{2}-1)(\frac{n}{2}-2).....(\frac{1}{2})\sqrt{\pi}$ şeklindedir.

Böylece örneklemin standart sapmasının ortalaması $c_4\sigma$, örneklemin standart sapmasının standart sapması $\sigma_s = \sigma\sqrt{1-c_4}$ olur.

$\frac{\bar{s}}{c_4}$, istatistiği σ 'nın yansız tahmin edicisidir.

$$U.K.L = \bar{s} + 3\sigma_s = \bar{s} + 3\frac{\bar{s}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2}$$

$$\text{Merkez hat} = \bar{s}$$

$$A.K.L = \bar{s} - 3\sigma_s = \bar{s} - 3\frac{\bar{s}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2}$$

Bu gösterimi küçük örneklem için ($n \leq 10$) ;

$$U.K.L = B_3\bar{\sigma}$$

$$\text{Merkez hat} = \bar{\sigma}$$

$$A.K.L = B_4\bar{\sigma}$$

Şeklinde kullanılabilir. B_3 ve B_4 faktörlerine Tablo 5.2 den bakılabilir.

n	A ₂	D ₃	D ₄	B ₃	d ₂	B ₄
2	1.880	0	3.267	0	1,128	3.267
3	1.023	0	2.575	0	1,693	2.568
4	0.729	0	2.282	0	2,059	2.266
5	0.577	0	2.115	0	2,326	2.089
6	0.483	0	2.004	0.030	2,534	1.970
7	0.419	0.076	1.924	0.118	2,704	1.882
8	0.373	0.136	1.864	0.185	2,847	1.815
9	0.337	0.184	1.816	0.239	2,970	1.761
10	0.308	0.223	1.777	0.284	3,078	1.716

Tablo 7.2. Kontrol çizelgeleri için çarpan katsayıları

(<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc321.htm>)

7.3.ÖLÇÜLEMİYEN ÖZELLİKLER İÇİN KONTROL GRAFİKLERİ

Değişimleri sayısal olarak ölçülemeyen kalite seviyelerine geçemez, mat-parlak gibi yorumlar getirebilen yerlerde kullanılmaktadır. Buralarda ya kusurlu parça sayısı ya da bir parçadaki kusur sayılarının analizi yapılır.

Örneğin sağlam-defolu ayrımı, boyada toz durumu gibi teslim edilen parçaların kaçının kusurlu olduğunun analizinde bu tip çizelgeler kullanılır. Burada herhangi bir ölçüm aletiyle kusurları ölçemeyiz, duyu organlarımızla ayırt edebileceğimiz niteliksel kusurlar vardır.

7.3.1. p – Çizelgeleri

Bu çizelgenin amacı süreçteki kusurlu ürün yüzdesini kontrol etmektir.

n tane gözleme sahip bir örneklem seçilsin,

Binom dağılımından

$$P(X=x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x=0,1,2,\dots,n$$

$$E(D)=np, \quad V(D) = np(1-p)$$

Örneklemin kusurlu ürün tahmini;

$$\hat{p} = \frac{D}{n}$$

Ortalama ve varyans tahminleri;

$$\mu = \bar{p}$$

$$\sigma_{\hat{p}}^2 = \frac{p(1-p)}{n}$$

$$\bar{U}.K.L = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\text{Merkez Çizgi} = \bar{p}$$

$$A.K.L = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

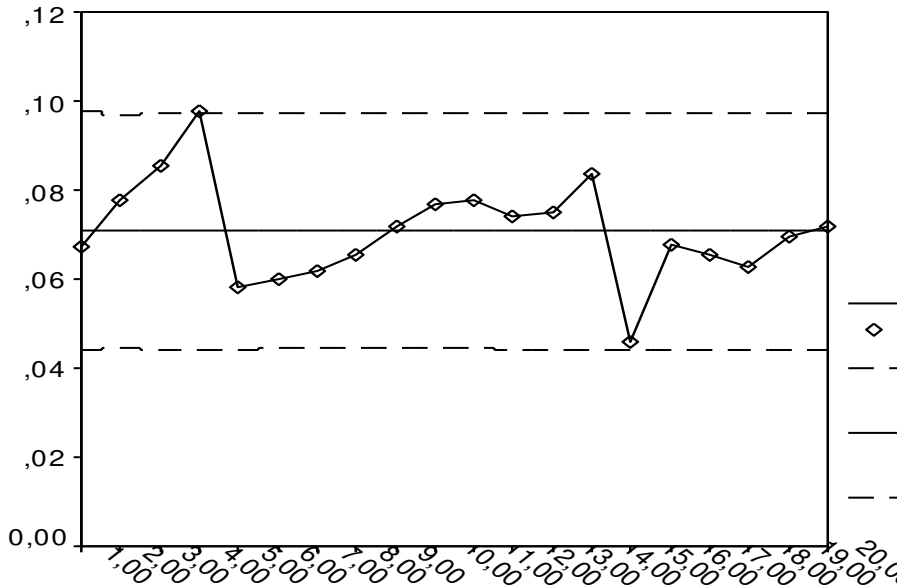
Eğer p bilinmiyorsa tahmini;

$$\hat{p}_i = \frac{D_i}{n} \quad i=1,2,\dots,m$$

D_i = i. örneklemin kusurlu ürün sayısı

$$\bar{p} = \frac{\sum_i^m D_i}{mn} = \frac{\sum_i^m \hat{p}_i}{m} \quad \text{olarak tahmin edilir.}$$

Aşağıda p çizelgesi için bir örnek grafik gösterilmektedir. Kontrol dışına çıkmış bir gözlem bulunmamaktadır.



Şekil 7.10. p - kontrol çizelgesi

(<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc332.htm>)

7.3.2. np - Çizelgeleri

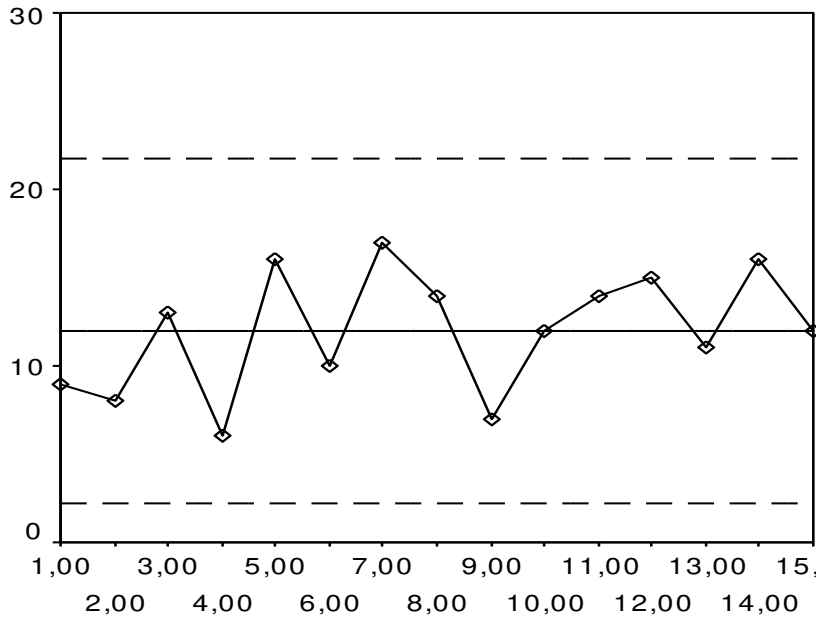
p çizelgesine benzer, bu çizelgelerin amacı kusurlu ürün sayısını kontrol etmektir. Örnekleme ait alt gruptaki eleman sayılarının eşit olması durumunda kullanılır.

$$\bar{U}.K.L = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$\text{Merkez çizgi} = n\bar{p}$$

$$A.K.L = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

Aşağıdaki çizelge, np çizelgesi için bir örnektir. Görüldüğü gibi kontrol dışında bir gözlem bulunmamaktadır.



Şekil 7.11. np - kontrol çizelgesi

İstatistiksel olarak veriler poisson dağılımına sahipse C ve U çizelgeleri kullanılır.

7.3.3. C - Çizelgeleri

Bu çizelgelerin amacı süreçteki toplam kusur sayısını kontrol etmektir.

Örneklem genişliği sabitlendiğinde kullanılır.

$$\bar{c} = \frac{c}{n} = \frac{\sum c_i}{k}$$

c: toplam kusur sayısı

n: Örnekteki toplam eleman sayısı

c_i : i. ünitedeki kusur sayısı,

k: ünite sayısı

$$\bar{U}.K.L = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Merkez Çizgi} = \bar{c}$$

$$A.K.L = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

(<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc33.htm>)

7.3.4. U- Çizelgeleri

Örnek genişliğinin sabit olmadığı durumlarda bu çizelgenin amacı birim başına düşen kusur sayısını kontrol etmektir.

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad x_i = \text{i.örneklem deki kusur sayısı}$$

$$\bar{U}.K.L = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$\text{Merkez Çizgi} = \bar{u}$$

$$A.K.L = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

8. KÜMÜLÂTİF TOPLAM (CUSUM) KONTROL ÇİZELGELERİ

Cusum kontrol çizelgeleri 1960'lı yıllarda Shewhart kontrol çizelgelerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu çizelgeler Shewhart kontrol çizelgelerine göre, ortalamalar üzerindeki küçük değişimlerin fark edilmesinde daha etkilidir. Temelde sürecin kontrolde olup olmadığını inceleyebilmek için alternatif bir yol olarak ortaya konmuştur. Cusum kontrol çizelgeleri E.S Page tarafından 1954 yılında geliştirilmiş olup, örneklem ortalaması ile hedef değer olarak tanımladığı bir değer arasındaki farkların birikimli toplamına dayalı bir yöntemdir.

Cusum kontrol çizelgeleri esas olarak kronolojik sırada düzenlenmiş verilerin analizi ile ilgilidir. Böylece bir sürecin sürekli kontrolünün sağlanması amaçlanır. Klasik çizelgelere göre başlıca üstünlükleri, özellikle değişimin fazla büyük olmadığı durumlarda, küçük maliyetle aynı etkinliği sağlamasıdır. Cusum kontrol çizelgesinde, süreç ortalamasındaki ani ve ısrarlı değişiklikler derhal fark edilmekte, değişimin zamanı daha belirgin olarak saptanmakta ve görüntülenebilmektedir. Cusum kontrol çizelgesinde herhangi bir karara varılırken elde edilen bilgilerin tümünün kullanılması gerekmemektedir (Gözübatık, 1997).

Ortalamaların değişimi Cusum kontrol çizelgelerinde eğilimin değişimi olarak gösterilir ve bu gösterimde kümülatif toplam çizelgelerine daha görsel bir etki kazandırır. Süreç kontrol çizelgeleri incelendiği takdirde çoğunda geçmiş gözlemlerin dikkate alınmadığı görülür. Cusum çizelgeleri geçmiş gözlemleri dikkate alarak mevcut durum hakkında fikir verir.

Bir dizi gözlemi $x_1, x_2, \dots$ ile ifade edecek olursak bunların kümülatif toplamı aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$S_1 = (x_1 - k)$$

$$S_2 = (x_1 - k) + (x_2 - k) = S_1 + (x_2 - k)$$

.....

$$S_t = \sum_{i=1}^t (x_i - k) = S_{t-1} + (x_t - k)$$

Burada k sabiti belirlenen süreç hedef değerini, S_t de hesaplanan Cusum (kümülatif toplam) değerini göstermektedir. Sürecin ortalama değeri arttıkça Cusum değeri pozitif, sürecin ortalama değeri azaldıkça cusum değeri negatif olacaktır.

Cusum fonksiyonu referans değeri (referans value) k iken ve t zamanında;

$$S_t = \sum_{i=1}^t (\bar{x}_i - k) \text{ olarak tanımlanır.}$$

Eğer örneklem ortalamaları durağan süreçten elde edilmişse süreç ortalaması μ olmak üzere Cusum ın beklenen değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E(S_t) = (\mu - k)t$$

Böylece Cusum ın ortalaması $(\mu - k)$ eğimine sahip ve t noktasından geçen lineer bir fonksiyondur.

$\mu = k$ ise eğim = 0

$\mu > k$ ise eğim pozitif,

$\mu < k$ ise eğim negatif yöndedir.

Bu gözlemler (t, S_t) noktalarının $t = 1, 2, \dots$ için grafikte yerleştirilmesinde yardımcı olmaktadır. Böylece eğer;

$\mu = k$ ise noktalar 0 etrafında dağılır.

$\mu > k$ ise noktalar pozitif (+) yönde yukarı doğru dağılım gösterir.

$\mu < k$ ise noktalar negatif (-) yönde aşağıya doğru dağılım gösterir.

8.1. CUSUM KONTROL ÇİZELGELERİ

Cusum çizelgeleri örneklem büyüklüğü bir alındığında da etkin olmaları sebebiyle Shewhart çizelgelerine göre daha geneldirler. Bu özelliklerinden dolayı Cusum çizelgeleri örneklem almanın pahalı olduğu veya üretim hızının düşük olduğu sürelerde etkin olarak kullanılmaktadır. Cusum çizelgeleri ortalamadan düşük ve ortalama büyüklüğündeki sapmaları

yakalamadaki performansı sebebiyle sık kullanılmaktadır. (Özkale R. Yüksek lisans tezi, 2004)

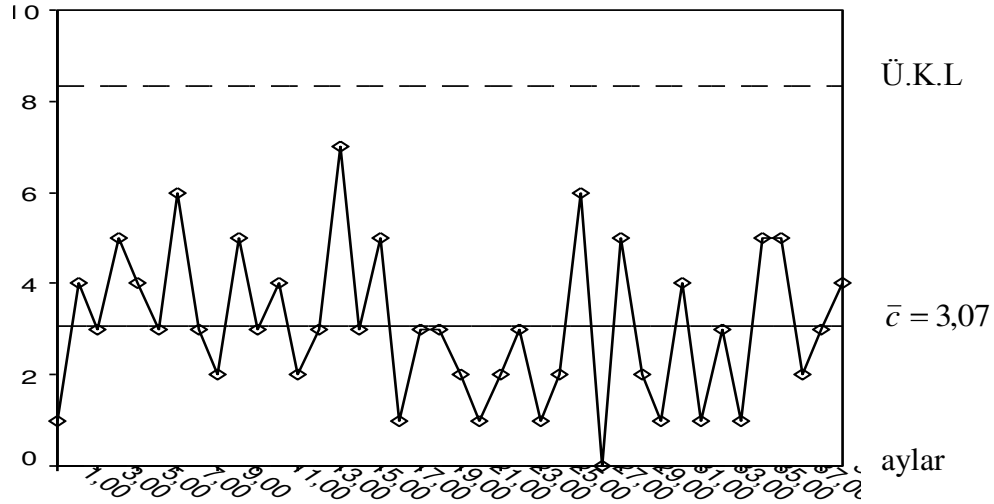
Cusum çizelgeleri için aşağıda bir örnek verilmiştir. Büyük bir şirkette 40 ay boyunca meydana gelen kazaların sayısı aşağıda Tablo 8.1 de verilmiştir. Bu veriler tek başlarına organizasyonun performansı hakkında açık ve güvenilir bir sonuç vermez. . (Oakland, John S. 2003).

Tablo 8.1 Büyük bir organizasyonda, her ay meydana gelen kazaların sayısı

Aylar	Kaza sayısı	Aylar	Kaza sayısı	Aylar	Kaza sayısı	Aylar	Kaza sayısı
1	1	11	3	21	2	31	1
2	4	12	4	22	1	32	4
3	3	13	2	23	2	33	1
4	5	14	3	24	3	34	3
5	4	15	7	25	1	35	1
6	3	16	3	26	2	36	5
7	6	17	5	27	6	37	5
8	3	18	1	28	0	38	2
9	2	19	3	29	5	39	3
10	5	20	3	30	2	40	4

Şekil 8.1 bu veriler için oluşturulan c- çizelgesidir. Kontrol limitleri daha önce belirttiğimiz yöntemlerle hesaplanmıştır.

Kaza sayısı



Şekil 8.1. Her ay meydana gelen kazaların sayısının c- çizelgesi

Kazaların ortalama sayısı her ay için yaklaşık olarak 3'tür. C- çizelgesine göre süreç kontrolde görünüyor 40 gözlemde sadece bir tanesi kontrol dışına çıkmıştır. Bu çizelgede detaylı farklılıkları görmek zordur. Fakat dikkatli bir inceleme gösterecek ki 2. ve 17. aylar arasındaki kaza sayısı, 18. ve 40. aylar arasındakinden daha yüksektir

Tablo 8.2'de verilen cusum değerleri verilen $(t=3)$, $S_t = \sum_{i=1}^t (x_i - t)$

formülünde yerine konularak hesaplanmıştır. Ortalama kaza sayısı $t=3$, her örneklem için elde edilen kaza sayılarından çıkarılır ve elde edilen sayılar kümülatif olarak toplanarak her örnek için cusum değerleri (S_t) elde edilir. S_t Değerleri çizelgede çizilmiştir.

Çizelgeye göre 17. aya kadar küçük kazaların ortalama sayısı 3'ten büyüktür yani 17. aya kadar pozitif yönde artan bir eğilim görülür. 18. ve 35. aylar arasında ortalama kaza seviyesi düştüğü için eğim negatif yöndedir. Bunu çizelgede açıkça görebiliyoruz. (Şekil 8.2)

Her ay için ortalama kaza sayılarının tekrar hesaplanmasıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Aylar	Toplam kaza sayısı	Aybaşına düşen ortalama kaza sayısı
1-17	63	3,7
18-35	41	2,3

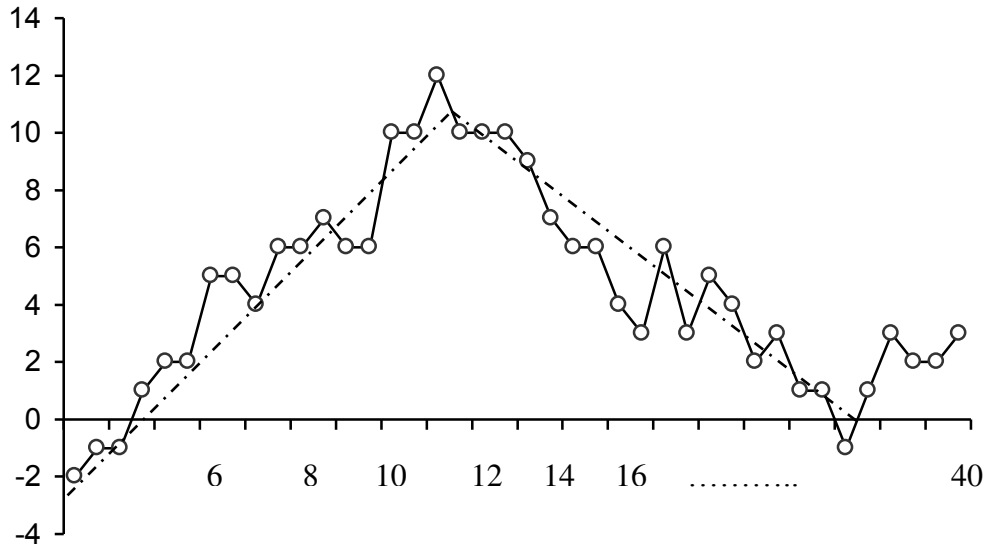
Bu hesaplamalar, cusum çizelgesinde görülen sinyallerin doğruluğunu ispatlıyor.

Tablo 8.2. Tablo 8.1 deki kaza verileri için cusum değerleri ($\bar{c}=3$)

Aylar	Kaza sayısı - $\bar{c}$	Cusum değeri, S_t	Aylar	Kaza sayısı - $\bar{c}$	Cusum değeri, S_t
1	-2	-2	21	-1	9
2	1	-1	22	-2	7
3	0	-1	23	-1	6
4	2	1	24	0	6
5	1	2	25	-2	4
6	0	2	26	-1	3
7	3	5	27	3	6
8	0	5	28	-3	3
9	-1	4	29	2	5
10	2	6	30	-1	4
11	0	6	31	-2	2
12	1	7	32	1	3
13	-1	6	33	-2	1
14	0	6	34	0	1
15	4	10	35	-2	-1
16	0	10	36	2	1
17	2	12	37	2	3
18	-2	10	38	-1	2
19	0	10	39	0	2
20	0	10	40	1	3

Örneğin kaza seviyelerindeki sürekli bir değişiklik, işletmenin sistemlerindeki değişiklik ile ilişkili olabilir. Materyallerdeki değişiklik gibi diğer faktörlerde sürecin değişimini etkiler. Sadece dikkatli bir araştırma bu önerileri kanıtlar ya da reddeder.

Asıl nokta şudur ki fark edilen bu değişim Cusum çizelgelerinin geçmişteki verileri kullanmasıyla teşhis ediliyor. Cusum çizelgeleri kısa veya uzun dönemli değişimlerin fark edilmesinde çok kullanışlıdır.



Şekil 8.2. Kaza verileri için Cusum çizelgesi

Cusum çizelgelerinin yorumu grafikteki eğimin değerlendirilmesi ile ilgilidir. Çizelgenin itinalı tasarımı ile süreçte başlangıçta görülmeyen değişiklikler fark edilebilir.

Cusum değeri S_t 'nin hesaplanması için oldukça basit bir formül kullanılır.

$$S_t = \sum_{i=1}^t (x_i - t)$$

S_t = t. örneğin Cusum değeri

x_i = i. örnek değeri (bazı durumlarda $\bar{x}_i$ örneklem ortalaması da kullanılabilir.)

t = hedef (ortalama) değer

t değerinin seçimi uygulanan tekniğe bağlıdır. Kaza örneğinde 40 ay için her aybaşına düşen ortalama kaza sayısına bağlı olarak yaklaşık bir t

değeri seçildi. Tahmine dayalı uygulamalarda t belirli periyotlar arasında tahmin edilebilir.

Üretimde t belki hedef ağırlık veya spesifikasyonlar için belirlenen toleransın ($B.Ü.S - B.A.S$) merkezi değeri olabilir. Açıkça görülüyor ki t noktasının seçimi Cusum çizelgesinin ortaya çıkardığı sonuçlar için dönüm noktasıdır.

Eğer grafik her zaman pozitif yönde eğim gösteriyorsa veriler çoğunlukla hedef veya referans değerinin üzerindedir. Yüksek hedef çizelgede sürekli bir negatif eğim olarak sonuçlanacaktır.

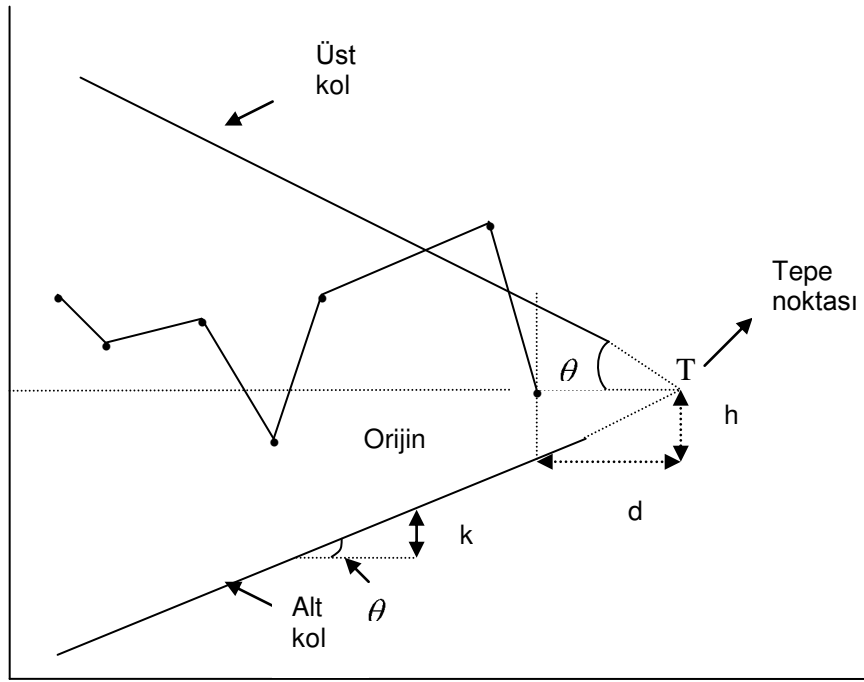
Cusum çizelgelerinin yorumu için aşağıda bazı kurallar verilmiştir.

1. Cusum eğimi; yukarı (+) yönde ise gözlemler hedef değerinin üzerindedir.
2. Cusum eğimi; aşağı (-) yönde ise gözlemler hedef değerinin altındadır.
3. Cusum eğimi yatay hizada sıralanmışsa gözlemler hedef değeridir.
4. Cusum eğimi değişken ise gözlemler değişik seviyelerdedir.

8.2. V MASKESİ YÖNTEMİ

Cusum kontrol çizelgelerinde kullanılan V maskesi, Shewhart kontrol çizelgelerindeki kontrol limitlerine karşılık gelmektedir. Bu yöntemin V maskesi olarak adlandırılmasının nedeni, kontrol limitlerinin yatay $V(>)$ şeklinde olmasıdır. V maskesinin kolları sürecin kontrol altında olmasıdır. V maskesinin kolları sürecin kontrol altında kabul edileceği alt ve üst kontrol sınırlarını oluşturmaktadır.

Genel haliyle bir V maskesi şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 8.3. V maskesi

(<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc323.htm>)

Cusum çizelgesinde V maskesini yerleştirmek için;

1. Son kümülatif toplam (CuSUM) değeri C_i , O noktasına yerleştirilir.
2. Yatay eksene paralel olacak şekilde O noktasından d uzaklıkta bir T noktası belirlenir. Bu nokta V maskesinin tepe noktasını oluşturmaktadır.
3. OT doğru parçasıyla θ açısı yapacak şekilde T noktasından başlayarak iki çizgi çizilir. Bunlara maskenin kolları denir.
4. Tüm $C_1, C_2, \dots, C_i$ kümülatif toplam değerleri V maskesinin iki arasında kalıyorsa süreç kontrol altındadır. Herhangi bir kümülatif toplam değeri V maskesinin kolları dışında kalırsa süreç kontrol dışıdır.

Genel kullanımda V maskesi grafiklendirilen her yeni noktaya uygulanır yani her yeni örneklem ilavesinde maske yeniden düzenlenir. V maskesinin performansı d uzaklığı ve θ açısı ile belirlenir.

h: V maskesinin üst (veya alt) kolu ile orijin (O noktası) arasındaki dik uzaklık

k: Yatay ekseninde bir örneklem biriminin bir aralığa uyan alt (veya üst) koldaki artışı veya azalışı

Bu parametrelerin hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$k = \frac{c\sigma}{\sqrt{n}} \tan \theta \quad , \quad A = \frac{c\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$h = \frac{c\sigma}{\sqrt{n}} . d . \tan \theta \quad , \quad h = dk$$

Burada kullanılan c sabiti bir ile iki arasında seçilir fakat çoğu araştırmacı tarafından seçilen değer ikidir. (Testik C. 1999)

A bir ölçeklendirme faktörü olup, kümülatif toplam kontrol grafiğinde dikey eksen birimi ile yatay eksen birimini ilişkilendirir. Ölçeklendirme faktöründe yatay eksenindeki bir birime karşılık dikey ekseninde 1σ - 2σ arasında bir birimin karşılık gelmesi önerilmekle beraber uygulamada daha çok 2σ birimin karşılık gelmesi önerilir. (Özkale R. Yüksek lisans tezi 2004)

8.3. EWMA (Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama) Kontrol Çizelgeleri

EWMA kontrol şemaları ilk olarak S.W. Roberts tarafından 1959 yılında geliştirilmiş ve geometrik hareketli ortalama şemaları olarak da adlandırılmıştır. Roberts'ın çalışmalarını 1986 yılında J.S.Hunter 1987 yılında S.V. Crowder ve 1990 yılında J.M. Lucas ve M.S. Saccucci'nin çalışmaları takip etmiştir. EWMA kontrol tekniği için karar, eski gözlemlere azalan bir şekilde ağırlık veren EWMA istatistiğine bağlıdır. (Testik,1999)

EWMA yöntemi ekonomide, stok kontrolünde ve tahmin yöntemlerinde sıkça kullanılmasına rağmen kalite kontrolde çok sık olarak kullanılmamaktadır. Bunun sebebi de CuSUM ve Shewhart kontrol çizelgelerinin arasında bir performansa sahip olmasıdır. Küçük değişimlerle ilgilendiğimiz zaman Shewhart kontrol çizelgelerine alternatif bir diğer yol

EWMA kontrol çizelgeleridir. Cusum çizelgelerinde olduğu gibi EWMA çizelgeleri de her bir gözlem değeri için kullanılır.

Araştırdığımız kalite karakteristiğine ait bağımsız gözlemler dizisini $\{x_t\}$ ile gösterelim. Burada $x_t \in Z$ olmak üzere t anındaki gözlemi simgelemektedir ve bu gözlemlerin μ ortalamalı σ^2 varyanslı normal dağılımdan alınan bağımsız gözlemler olduğunu varsayalım. μ_t gösterimindeki t indeksi gözlemlerin zaman içerisinde değiştiğini gösterir, t anındaki EWMA istatistiğini W_t ile gösterelim;

$$W_t = \lambda x_t + (1 - \lambda)W_{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, n$$

olarak tanımlanır. Burada önceki gözlemlere λ düzeltme sabiti oranında bir ağırlık verilerek kontrol limitleri hesaplanır. Burada 1'e yaklaştıkça son gözlem değerinin ağırlığı, 0' yaklaştıkça eski gözlem değerlerinin ağırlıkları artmaktadır. λ genellikle 0.2 ile 0.3 arasında seçilir.

$$\text{Ü.K.L} = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

$$\text{M.Ç} = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{A.K.L} = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

Üst ve alt kontrol limitleri yukarıdaki formüllerle hesaplanır. (Testik C.1999)

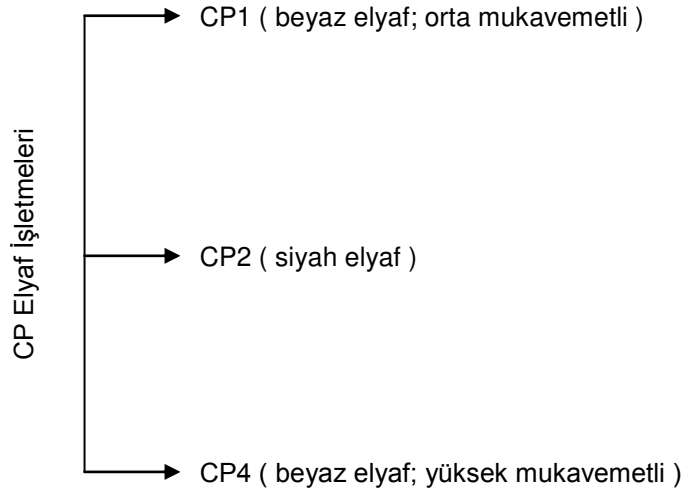
Süreç kontrollü durumda iken Shewhart, CuSUM ve EWMA kontrol çizelgeleri hemen hemen eşit performansa sahip olsa da EWMA kontrol çizelgelerinin bir sonraki gözlem zamanında sürecin ne durumda olacağını tahmin edebilme özelliği bu çizelgelerin bir avantajıdır. Bu sebepten dolayı EWMA çizelgeleri dinamik süreç kontrolü için bir mekanizma oluştururlar.

9. UYGULAMALAR

9.1. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Elyaf İşletmelerindeki Kullanımı

İstatistiksel süreç kontrolü, pek çok sayıda şirketin ve endüstriyel kuruluşun ürünlerindeki, hizmetlerindeki, fiyatlarındaki ve teslimatlarındaki rekabet çalışmalarında ve bunların iyileştirilmesi aşamalarında önemli bir rol oynamaktadır. İSK bir istatistikçi için, ürün ve hizmet kalitelerinde ve çalışma verimliliğinde sürekli iyileştirmeler sağlayabilmek üzere uygun istatistiksel araçların uygulanması anlamını taşımaktadır. Bu ifadelerin kesinlikle doğru olmasına karşılık, İSK pek çok işletmede, basit ve etkin bir şekilde problem çözümüne yaklaşım ve sürecin iyileştirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Sürekli üretim esasına dayalı bir fabrikada elyaf üretilmektedir. Bu fabrikada 3 tane elyaf işletmesi mevcuttur.



Şekil 9.1. Elyaf işletmeleri

Uygulama 9.1. CP4 İşletmesinde Viskozite Karakteristiğinin Kontrolü

Elyafın istenen kıvama gelip gelmediğine, viskozite (viscosity) değeri ölçülerek karar veriliyor. Viskozite değeri sürekli kontrol altında tutulması gereken bir karakteristiktir. Viskozite polimerin mukavemetini, başka bir deyişle reaksiyonun ne kadar tamamlandığını gösteren bir parametredir. Viskozite bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Bu nedenle CP4 işletmesinde 09/05/2007 tarihinden başlayarak 24/05/2007 tarihine kadar günde üç ölçüm yapılmıştır. CP4 işletmesi için yapılan viskozite ölçümleri Tablo 9.1. de verilmiştir.

Tarih	Saat	IV Miktarı	$\bar{X}$	R
09.05.07	00:00	0,627	0,627	0,002
	08:00	0,626		
	16:00	0,628		
10.05.07	00:00	0,628	0,626	0,004
	08:00	0,628		
	16:00	0,624		
11.05.07	00:00	0,629	0,630	0,004
	08:00	0,629		
	16:00	0,633		
12.05.07	00:00	0,626	0,627	0,007
	08:00	0,624		
	16:00	0,631		
13.05.07	00:00	0,629	0,628	0,003
	08:00	0,627		
	16:00	0,630		

14.05.07	00:00	0,625	0,627	0,004
	08:00	0,628		
	16:00	0,629		
15.05.07	00:00	0,627	0,629	0,003
	08:00	0,630		
	16:00	0,630		
16.05.07	00:00	0,622	0,627	0,008
	08:00	0,629		
	16:00	0,630		
17.05.07	00:00	0,622	0,624	0,005
	08:00	0,627		
	16:00	0,625		
18.05.07	00:00	0,623	0,629	0,010
	08:00	0,633		
	16:00	0,631		
19.05.07	00:00	0,628	0,628	0,008
	08:00	0,633		
	16:00	0,625		
20.05.07	00:00	0,632	0,628	0,007
	08:00	0,627		
	16:00	0,625		
21.05.07	00:00	0,632	0,625	0,012
	08:00	0,620		
	16:00	0,625		
22.05.07	00:00	0,624	0,625	0,001
	08:00	0,625		
	16:00	0,625		
23.05.07	00:00	0,622	0,625	0,008
	08:00	0,630		
	16:00	0,625		

24.05.07	00:00	0,630	0,626	0,010
	08:00	0,629		
	16:00	0,620		
TOPLAM			10,031	0,096

Tablo 9.1. CP4 elyaf işletmesinde ölçülen viskozite değerleri

Bu veriler yardımıyla kontrol limitleri hesabı aşağıdaki şekilde olacaktır.

$\bar{X}$ - Çizelgesi için;

$$n = 3 \quad \bar{\bar{X}} = 0,627 \quad \bar{R} = 0,006 \quad A_2 = 1,023 \quad D_4 = 2,575 \quad D_3 = 0$$

olmak üzere;

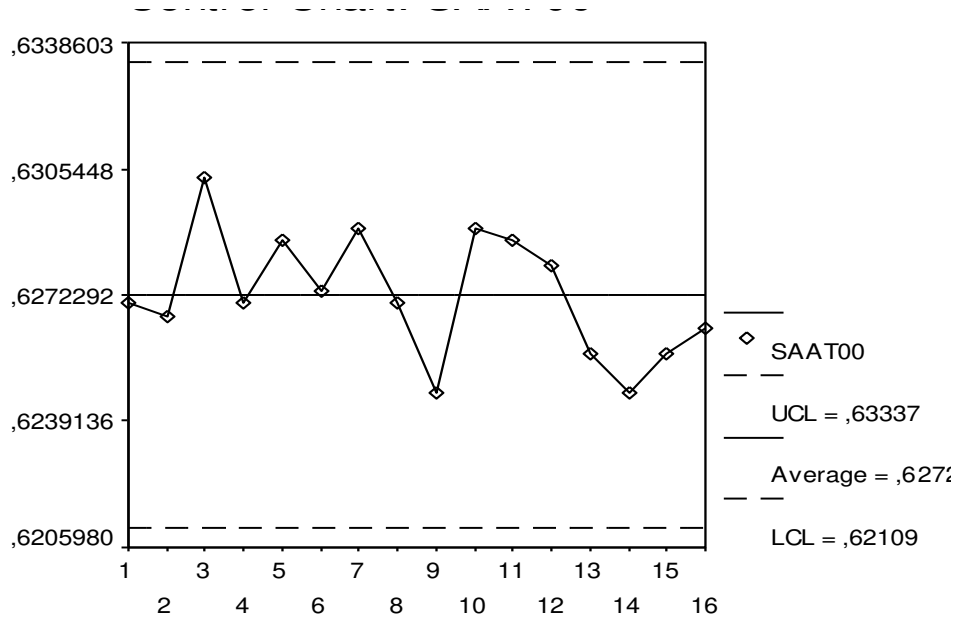
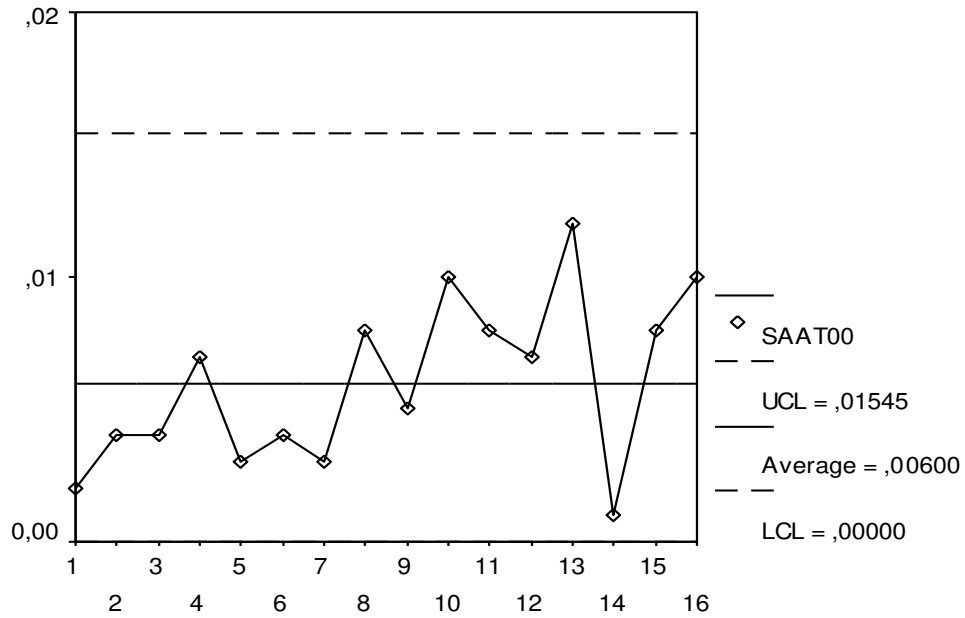
$$\begin{aligned} \bar{U}KL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ &= 0,627 + (1,023)(0,006) \\ &= 0,633 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{A}KL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \\ &= 0,627 - (1,023)(0,006) \\ &= 0,621 \end{aligned}$$

R Çizelgesi için;

$$\begin{aligned} \bar{U}KL_R &= D_4 \bar{R} \\ &= (2,575)(0,006) \\ &= 0,0154 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}KL_R &= D_3 \bar{R} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Şekil 9.2. Viskozite miktarı için $\bar{X}$ kontrol çizelgesi

Şekil 9.3. Viskozite miktarı için R kontrol çizelgesi

Şekil 9.2.ve Şekil 9.3. den de görüldüğü gibi $\bar{X}$ ve R çizelgelerinde herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemektedir. Bu durumda elyafın istenen kıvama gelmemesi için görünen bir sorun bulunmamaktadır. Süreç kontrol altındadır.

Uygulama 9.2. CP4 İşletmesinde İletkenlik Parametresinin Kontrolü

Polimerlerin sanayide geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Poliolefinler kimyasal bileşimleri nedeniyle kolayca yanma özelliğine sahiptir. Bu nedenle yanmazlık özelliği önemli bir parametre olarak uygulama alanlarında göz önünde bulundurulmaktadır. Uygulama alanlarında, plazma yüzey modifikasyonu yöntemiyle poliolefin filmlerin yüzeyinde bor-siliko içerikli yanmayı geciktiren film oluşturulur. Sanayide yaygın olarak kullanılan polimerlerin, aleve dayanıklılık özelliği kazandırılması ve yüksek mukavemetli polimer filmlerin hazırlanması sağlanmaya başlamıştır. Bu polimer filmlerin hazırlanabilmesi için iletkenlik önemli bir parametredir ve kontrol altında tutulması gerekmektedir.

CP4 işletmesinde 09/05/07 ile 26/05/07 tarihleri arasında günde üç kez SMR değerleri ölçülmüştür. (Tablo9.2)

Specific melt resistivity (SMR) değeri iletkenlik ile ters orantılıdır. Yani SMR değeri ne kadar yüksekse iletkenlik o kadar azdır.(İletkenlik = 1/ SMR)

CP4 işletmesi için yapılan ölçümler Tablo 9.2 de verilmiştir.

Tarih	Saat	SMR Değeri	$\bar{X}$	R
09.05.07	00:00	18,8	19	0,8
	08:00	19,5		
	16:00	18,7		
10.05.07	00:00	15,5	17,03	2,7
	08:00	17,4		
	16:00	18,2		
11.05.07	00:00	17,9	19,6	2,3
	08:00	19,4		
	16:00	20,2		

12.05.07	00:00	19,5	19,83	1
	08:00	19,5		
	16:00	20,5		
13.05.07	00:00	17,6	16,86	4
	08:00	18,5		
	16:00	14,5		
14.05.07	00:00	19,2	17,86	2,4
	08:00	17,6		
	16:00	16,8		
15.05.07	00:00	17,1	16,43	1,9
	08:00	17		
	16:00	15,2		
16.05.07	00:00	17,3	16,63	1,2
	08:00	16,5		
	16:00	16,1		
17.05.07	00:00	19,4	17,53	4,1
	08:00	17,9		
	16:00	15,3		
18.05.07	00:00	17	17,13	1,8
	08:00	18,1		
	16:00	16,3		
19.05.07	00:00	19	18,5	1,7
	08:00	19,1		
	16:00	17,4		
20.05.07	00:00	18,2	17,56	1,2
	08:00	17,5		
	16:00	17		
21.05.07	00:00	17,5	17,6	3,3
	08:00	16		
	16:00	19,3		

22.05.07	00:00	20,3	18,83	3
	08:00	18,9		
	16:00	17,3		
23.05.07	00:00	17,2	16,96	0,5
	08:00	16,7		
	16:00	17		
24.05.07	00:00	17,7	21,63	9,9
	08:00	19,6		
	16:00	27,6		
25.05.07	00:00	17,3	18,03	1,6
	08:00	17,9		
	16:00	18,9		
26.05.07	00:00	18,2	17	3
	08:00	17,6		
	16:00	15,2		
TOPLAM			323,57	46,4

Tablo 9.2. CP4 elyaf işletmesinde ölçülen SMR değerleri

Bu veriler yardımıyla kontrol limitleri hesabı aşağıdaki şekilde olacaktır.

$\bar{X}$ - Çizelgesi için;

$$n = 3 \quad \bar{\bar{X}} = 17,976 \quad \bar{R} = 2,577 \quad A_2 = 1,023 \quad D_4 = 2,575 \quad D_3 = 0$$

olmak üzere;

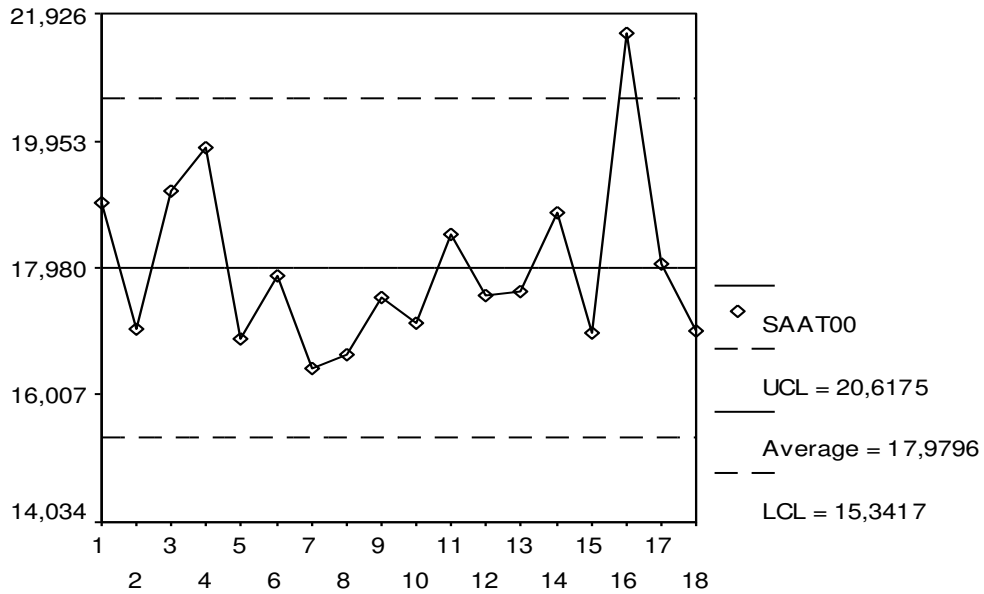
$$\begin{aligned}
 \bar{U}KL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\
 &= 17,976 + (1,023)(2,577) \\
 &= 20,61
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AKL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \\
 &= 17,976 - (1,023)(2,577) \\
 &= 15,34
 \end{aligned}$$

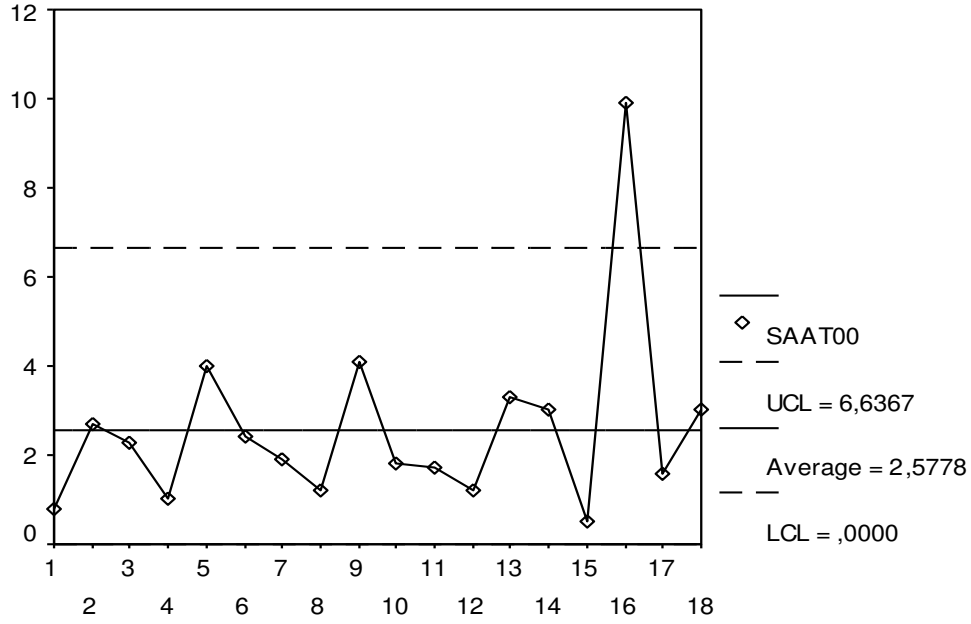
R Çizelgesi için;

$$\begin{aligned}
 \dot{U}KL_R &= D_4 \bar{R} \\
 &= (2,575)(2,577) \\
 &= 6,636
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ddot{U}KL_R &= D_3 \bar{R} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$



Şekil 9.4. SMR değeri için $\bar{X}$ kontrol çizelgesi



Şekil 9.5. SMR değeri için R kontrol çizelgesi

Şekil 9.4 ve Şekil 9.5 den de görüldüğü gibi $\bar{X}$ ve R çizelgelerinde 16. gözlem değeri kontrol dışına çıkmıştır. Bu kontrol dışı noktanın özel nedeni araştırıldığında, voltaj dalgalanması sonucunda magnezyum pompasının durmuş olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sisteme 30 dakika magnezyum beslenememiş ve bunun sonucunda SMR değeri yükselmiş ve dolayısıyla iletkenlik azalmıştır. Önlem olarak SMR değeri yüksek olan ürün ayrılmış ve pompa tekrar devreye alınarak sisteme magnezyum beslemesi yapılmış ve SMR değeri kontrol altına alınınca üretime devam edilmiştir.

Uygulama 7.3. CP4 İşletmesinde L-Rengi Parametresinin Kontrolü

Bir noktanın uzayda üç koordinatı vardır. Renk içinde aynı şey geçerlidir ve dolayısıyla sonsuz sayıda renk tanımlanabilir. Renkte L, a, b koordinatları kullanılır. Uzayda L, a, b koordinatları tam olarak verilirse, renk tam olarak belirlenebilir. Polimerin renginin tanımlamak için bu üç karakteristik kullanılır.



Şekil 9.6. Uzayda L, a, b koordinatları

Koordinatlardan L parlaklık ifade eder. Şekil 9.6 de görüldüğü gibi L arttıkça parlaklık artar renk beyazlaşır, L azaldıkça renk koyulaşır. A kırmızı yeşil ekseninde pozitif yönde giderse kırmızıya negatif yönde giderse yeşile kayar. B mavi sarı ekseninde yükselirse sarıya, düşerse maviye kayar. Elyaf işletmesinde istenilen renk için a ve b rengi karakteristiklerinin 0'a yakın L'nin yukarıda olması istenmektedir. Elyaf üretiminde renk önemli bir parametredir ve kontrol altında tutulması gerekmektedir. CP4 işletmesinde 09/05/07 ile 24/05/07 tarihleri arasında günde üç kez L-rengi değerleri ölçülmüştür. (Tablo 9.3)

CP4 işletmesi için yapılan ölçümler Tablo 9.3 de verilmiştir.

Tarih	Saat	L-rengi değeri	$\bar{X}$	R
09.05.07	00:00	55,4	55,33	1
	08:00	54,8		
	16:00	55,8		

10.05.07	00:00	56	56,4	1,2
	08:00	56		
	16:00	57,2		
11.05.07	00:00	57,6	58,2	1,2
	08:00	58,4		
	16:00	58,8		
12.05.07	00:00	57,8	57,73	1,4
	08:00	57		
	16:00	58,4		
13.05.07	00:00	58,9	58,1	1,6
	08:00	58,2		
	16:00	57,3		
14.05.07	00:00	56,9	57,23	0,7
	08:00	57,2		
	16:00	57,6		
15.05.07	00:00	58,1	58,33	0,4
	08:00	58,4		
	16:00	58,5		
16.05.07	00:00	57,4	57,5	0,9
	08:00	58		
	16:00	57,1		
17.05.07	00:00	58,5	58,1	1,8
	08:00	58,8		
	16:00	57		
18.05.07	00:00	57,7	58,1	0,8
	08:00	58,5		
	16:00	58,1		
19.05.07	00:00	58,4	58,46	0,2
	08:00	58,6		
	16:00	58,4		

20.05.07	00:00	57,7	57,66	1,1
	08:00	58,2		
	16:00	57,1		
21.05.07	00:00	58,2	58,4	0,3
	08:00	58,5		
	16:00	58,5		
22.05.07	00:00	58,3	57,9	0,9
	08:00	58		
	16:00	57,4		
23.05.07	00:00	58	58,33	1,6
	08:00	57,7		
	16:00	59,3		
24.05.07	00:00	58,5	58,53	2,5
	08:00	57,3		
	16:00	59,8		
TOPLAM			924,3	17,6

Tablo 9.3. CP4 elyaf işletmesinde ölçülen L-rengi değerleri

Bu veriler yardımıyla kontrol limitleri hesabı aşağıdaki şekilde olacaktır.

$\bar{\bar{X}}$ - Çizelgesi için;

$$n = 3 \quad \bar{\bar{X}} = 57,768 \quad \bar{R} = 1,1 \quad A_2 = 1,023 \quad D_4 = 2,575 \quad D_3 = 0$$

olmak üzere;

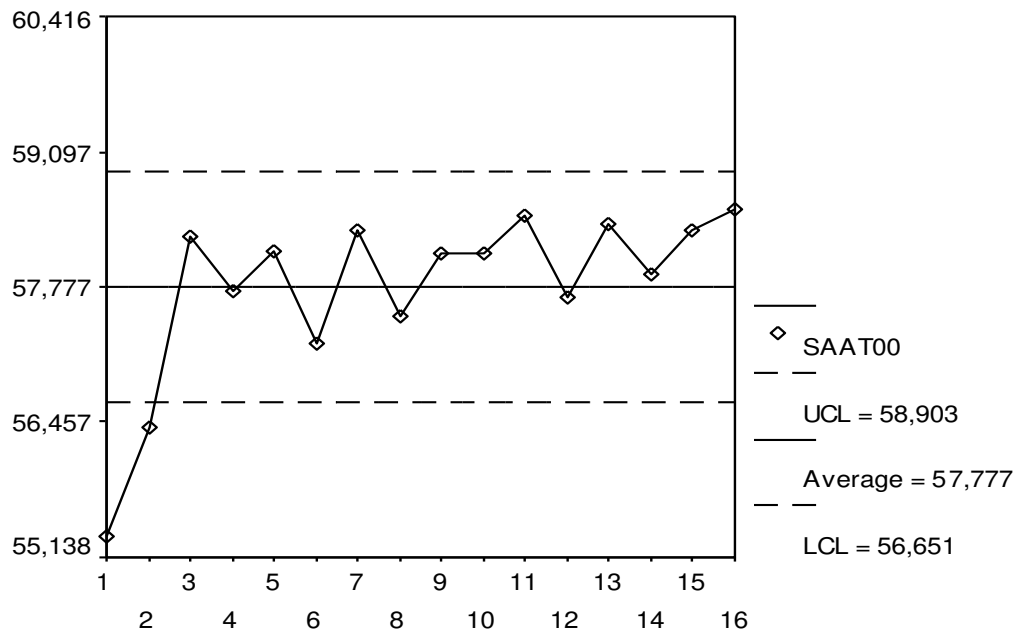
$$\begin{aligned}
 \bar{U}KL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\
 &= 57,768 + (1,023)(1,1) \\
 &= 58,90
 \end{aligned}$$

$$AKL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

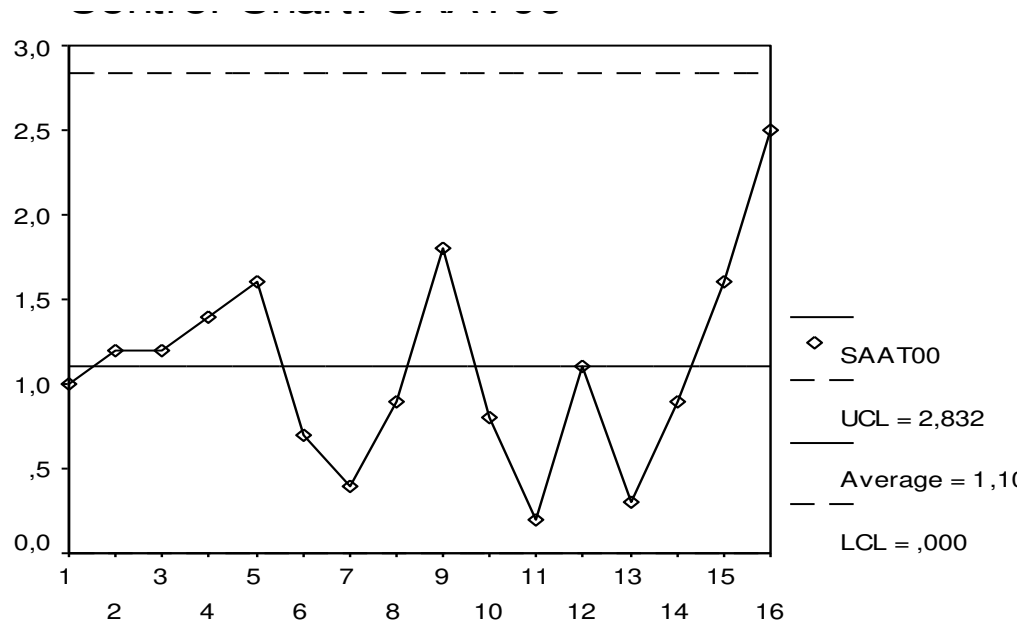
$$\begin{aligned}
 &= 57,768 - (1,023)(1,1) \\
 &= 56,65
 \end{aligned}$$

R Çizelgesi için;

$$\begin{aligned}
 \bar{U}KL_R &= D_4 \bar{R} \\
 &= (2,575)(1,1) \\
 &= 2,832 \\
 \bar{U}KL_R &= D_3 \bar{R} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$



Şekil 9.7. L-rengi değeri için $\bar{X}$ kontrol çizelgesi



Şekil 9.8. L-rengi değeri için $\bar{R}$ kontrol çizelgesi

Şekil 9.7 ve Şekil 9.8 den de görüldüğü gibi $\bar{X}$ çizelgesinde 1. ve 2. gözlem değerleri kontrol dışına çıkmıştır. Bu kontrol dışı noktaların özel nedeni araştırıldığında, sistemde antimon (Sb) miktarının fazla olduğu ve bunun L-rengi değerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu sorunun ortadan kaldırılmasıyla veriler limit içerisine düşmüştür.

KAYNAKLAR

- AKIN, B. 1996. ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri. İstanbul, 150s.
- AKDENİZ, F. 2000. Olasılık ve İstatistik. Adana, 542s.
- AKTAN, C. 2000. Yönetimde Rönesans ve Kalite Devrimi, Ankara.
- DEVOR, R.E. Chang, T. ve Sutherland J.W. 1992. Statistical Quality Design and Control. McMillan, USA. 813s.
- GÖZÜBATIK, K. 1997. Yüksek lisans tezi. İstatistiksel Kalite kontrol ve Süreç Kontrolündeki Gelişmeler. Adana, 205s.
- HOLMES, D. 1994. Introduction to SPC. Stochos, Inc, New York, 84s.
- MONTGOMERY, DOUGLAS C. 1997. Introduction To Statistical Quality Control. Wiley, New York.
- MURDACH, J. 1979. Control Charts. Macmillan London, 150s.
- NIST/SEMATECH. 2007 e-Handbook of Statistical Methods
(<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section1/pmc16.htm>
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc321.htm>)
- OAKLAND, JOHN S. 2003. Statistical Process Control. Butterworth-Heinemann. Oxford, England.
- ÖZKALE, R. 2004 Yüksek lisans tezi. İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve uygulamalar. Adana, 195s.
- SARAÇOĞLU, O. 2000. İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Eğitim notları 67s. (yayımlanmamış)
- SCORDAKİ, A. ve PSARAKİS, S. 2005. Statistical Process Control in Service Industry An Application With Real Data in a Commercial Company. Greece.
- TESTİK, C. 1999. Yüksek lisans tezi. İstatistiksel Süreç Kontrol Şemalarının Değişik Koşullar Altında Performans Analizi. Adana, 88s.
- WIKIPEDIA 2007. The Free Encyclopedia
(http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_distribution)
- WETHERILL, G.B. and BROWN, D. W. 1991. Statistical Process Control Theory and Practice. Chapman and Hall, London.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Malatya’da doğdu. İlköğretimi Mersin 24 Kasım İlköğretim okulunda tamamladıktan sonra öğrenimine Mersin 19 Mayıs Süper lisesinde devam etti. 2001 yılında öğrenci seçme sınavına girerek Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri bölümünde okumaya hak kazandı. 2005 yılında İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri bölümünden bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Eylül 2005’de Çukurova Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. 2006 yılı kasım ayından beri Garanti Bankası Mersin Pozcu şubesinde çalışmaktadır.