

Yüksek Kaliteli Süreçlerde Uygulanabilir Kontrol Grafikleri ve Ekonomik
Tasarımına Bir Yaklaşım

Şebnem Yılmaz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2009

Control Charts for High Quality Processes and an Approach to Economic Design
of Control Charts

Şebnem Yılmaz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

July 2009

**Yüksek Kaliteli Süreçlerde Uygulanabilir Kontrol Grafikleri ve Ekonomik
Tasarımına Bir Yaklaşım**

Şebnem Yılmaz

**Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

Danışman: Prof. Dr. Nimetullah Burnak

Ağustos 2009

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Şebnem Yılmaz'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Yüksek Kaliteli Süreçlerde Uygulanabilir Kontrol Grafikleri ve Ekonomik Tasarımına Bir Yaklaşım” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nimetullah Burnak

İkinci Danışman : -

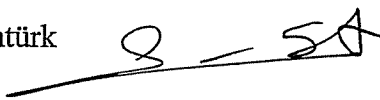
Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Nimetullah Burnak (Danışman)

Üye : Prof. Dr. A. Sermet Anagün 

Üye : Prof. Dr. Doğan Erol 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ezgi Aktar Demirtaş 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sevil Şentürk 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Shewhart Kontrol Grafikleri, basit uygulama olanağı ve süreç durumunu açıklayıcı bir şekilde belirleme özelliklerinden dolayı sıkça kullanılan tekniklerdir. Fakat bu teknikler, günümüz endüstrisinin hızla gelişen teknolojisi ve devamlı artan sürekli gelişim ihtiyacı gibi nedenlerle yetersiz kalabilmektedirler. Süreç kusurlu oranının, bin parçada bir veya milyon parçada bir seviyelerinde olduğu, elektronik eşya parçaları veya elektronik devre üretimi gibi yüksek kaliteli süreçlerde Shewhart Kontrol Grafiklerinin kullanımındaki uygunsuzluklar fazlalaşmaktadır. Sunulan çalışmada, bu uygunsuzluklar ile nedenleri belirtildikten sonra bu uygunsuzlukların giderilebilmeleri için alternatif bir kontrol grafiği yaklaşımı olan "Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiği" üzerinde durulacaktır.

Çalışmada ele alınan bir başka konu ise kontrol grafiklerinde ekonomik tasarımıdır. Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı için bir model ve bu modelin bir işletmede uygulaması sunulmuştur. Son olarak kontrol grafiklerinde ekonomik tasarımın avantajları ve dezavantajları belirtilmiş, diğer tasarım yöntemleri ile karşılaştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Kalite Kontrolü, Kontrol Grafikleri, Yüksek Kaliteli Süreçler, Kontrol Grafiklerinde Ekonomik Tasarım

SUMMARY

Shewhart Control Charts are widely used in industry because of their ability of monitoring process characteristics explicitly and their simplicity in application. Since industrial developments increase day by day and continuous improvement come into question more and more, applying Shewhart control chart techniques can be inappropriate in some situations. These inappropriatenesses increase when these control chart techniques are used in high quality processes. High quality processes are processes that have defective proportion at levels such as parts per million or parts per thousand. This study undertakes to give information on these inappropriatenesses and their reasons. After explaining these inappropriatenesses, an alternative approach to eliminate them, which is called “Cumulative Count of Conforming Control Chart”, is presented.

In the study, “Economic Design of Control Charts” is also examined. A mathematical model for economic design of cumulative count of conforming control chart and an application of this model is presented. Advantages and disadvantages of economic design of control charts are pointed out, comparisons of the economic design and other control chart designs are made.

Keywords: Statistical Quality Control, Control Charts, High Quality Processes, Economic Design of Control Charts

TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Nimetullah Burnak' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım esnasında bana her zaman destek olan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hasan Eski' ye, Arıkan Kriko ve Makine Sanayi Ticaret A. Ş. Genel Müdürü Sayın Ahmet Arıkan'a, Sayın Araştırma Görevlisi Aslan Deniz Karaoğlu'na, yüksek lisans öğrenimim boyunca maddi destek sağlayan TÜBİTAK' a ve benden manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ.....	3
2.1. Kalite ve Toplam Kalite Yönetimi.....	3
2.2. İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Kalitedeki Yeri.....	4
2.3. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Önemi ve Yararları.....	5
2.4. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Araçları.....	7
2.4.1. Histogram.....	7
2.4.2. Pareto diyagramı.....	8
2.4.3. Sebep – Sonuç diyagramı	8
2.4.4. Kayıt kontrol formu	9
2.4.5. Serpme diyagramı.....	9
2.4.6. Tabakalandırma.....	10
2.4.7. Kontrol grafikleri.....	10
2.5. İstatistiksel Süreç Kontrolü Adımları.....	11
3. KONTROL GRAFİKLERİ.....	13
3.1. Kontrol Grafiklerinin Amaçları ve Yararları.....	13
3.2. Shewhart Kontrol Grafikleri.....	19
3.2.1. Shewhart Kontrol Grafikleri düzenleme adımları.....	19
3.2.2. Niceliksel ölçüler için sık kullanılan kontrol grafikleri.....	27
3.2.3. Niteliksel ölçüler için sık kullanılan kontrol grafikleri.....	33
3.3. Diğer kontrol grafikleri.....	39

İÇİNDEKİLER (devam)

4. YÜKSEK KALİTELİ SÜREÇLER İÇİN UYGUN KONTROL

GRAFİKLERİ.....	41
4.1. Yüksek Kaliteli Süreçler.....	41
4.2. Yüksek Kaliteli Süreçlerde Niteliksel Ölçüler Kontrol Grafiği	
Uygulamalarının Getirdiği Sorunlar	41
4.3. Kalite Gelişimi Gereksinimi.....	46
4.4. Olasılığa Dayalı Olarak Oluşturulan Kontrol Grafikleri.....	47
4.4.1. Olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafiklerinin kullanımı.....	47
4.4.2. Olasılığa dayalı kontrol grafiklerinin oluşturulması.....	48
4.4.3. Binom ve Poisson dağılımlarını temel alan kontrol grafikleri için	
olasılığa dayalı kontrol sınırları.....	49
4.4.4. Süreç iyileşmesinin belirlenmesinde olasılığa dayalı kontrol sınırları.....	53
4.4.5. Olasılığa dayalı kontrol sınırlarının kısıtlamaları.....	55
4.5. Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiği	56
4.5.1. Grafiğin oluşturulması	57
4.5.2. Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin yorumlanması.....	60
4.5.3. Yanlış uyarı olasılığı ve kontrol sınırları.....	61
4.5.4. Grafik oluşturma sürecine tekrar başlamak.....	64
4.6. Birikimli Hatasız Ürün Miktarı Kontrol Grafiği	66
4.6.1. Alt kontrol sınırının oluşturulması.....	66
4.6.2. Üst kontrol sınırının oluşturulması.....	67
4.6.3. Orta çizginin oluşturulması.....	67
4.7. Süreç Gelişiminin Belirlenmesinde Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol	
Grafiğinin Kullanılması.....	68
4.8. Negatif Binom Kontrol Grafiği.....	70
4.8.1. Negatif binom kontrol grafiğinin kontrol sınırları.....	70
4.8.2. Negatif binom kontrol grafiğinin bazı özellikleri	72

İÇİNDEKİLER (devam)

5. BİRİKİMLİ HATASIZ ÜRÜN SAYISI KONTROL GRAFİĞİNİN EKONOMİK TASARIMI.....	74
5.1. Kontrol Grafiklerinde Ekonomik Tasarım.....	74
5.2. Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiğinin Ekonomik Tasarımı.....	75
5.2.1. Parametreler, varsayımlar ve model.....	77
5.2.2. Eniyileme süreci.....	81
5.3. Kontrol Grafiklerinde Ekonomik Tasarımın Olumsuz Yönleri ve Uygulama Zorlukları.....	87
6. BİRİKİMLİ HATASIZ ÜRÜN SAYISI KONTROL GRAFİĞİNİN EKONOMİK TASARIMI ÜZERİNE BİR UYGULAMA.....	90
6.1. Uygulama Çalışması.....	90
6.2. Modelin Çözümü ve Sonuçlar.....	101
6.3. Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiğinin Ekonomik Tasarımı İle Klasik Tasarımının Karşılaştırılması.....	104
6.4. Değişik p_0 ve p_1 Değerleri İçin En Uygun Tasarım Parametreleri.....	106
6.5. Modelin Duyarlılık Analizi.....	110
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	112
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	115
EKLER	
Ek.1. Teorem 1 ve Teorem 2'nin Kanıtları	
Ek.2. Maliyet Modelinin Çözümü İçin Hazırlanan MATLAB Programı	
Ek.3. Değişik Maliyet, Süre ve Süreç Parametrelerine Göre En Uygun Ekonomik Tasarım Parametreleri ve En İyi Saatlik Çevrim Maliyetleri	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bir ürün üretim sürecinde hata türleri ve frekanslarını gösteren Pareto diyagramı	8
2.2 Bir dershanede sınıflardaki öğrenci sayısı ile not ortalamaları arasındaki ilişkiyi veren serpm diyagramı	10
2.3 Bir süreç için kusurlu sayısı kontrol grafiği	11
3.1 Örnek bir kontrol grafiği.....	14
3.2 Normal dağılım ile ilişkilendirilmiş kontrol grafiği örneği.....	16
4.1 c kontrol grafiğinde anlamsız ve gerçek dışı kontrol sınırları.....	45
4.2 Sürecin kontrol durumu için karar grafiği.....	63
4.3 Süreçte n_0 ve n_c nin gösterilmesi.....	65
4.4 Süreç geliştiğinde ve bu gelişim sürdürüldüğünde BHÜS kontrol grafiğinde kontrol sınırlarının güncellenmesi.....	69
5.1 Bir üretim çevriminin dört parçası.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Kusurlu oranı çok küçük bir değer olduğunda verilen örnek büyüklüklerine göre kusurlu birim sayısı (np) kontrol grafiği için yanlış uyarı olasılıkları.....	42
4.2 $p = 0,002$ ve $n = 50$ için kusurlu oranı (p) ve kusurlu birim sayısı (np) kontrol grafiklerinin kontrol sınırları.....	43
4.3 Bazı örnek büyüklüğü (n) ve kusurlu oranı (p) birleşimleri için alt olasılık sınırı (k) değerleri.....	51
4.4 Bazı ortalama kusur sayıları (c) ve yanlış uyarı olasılıklarına (α) göre hesaplanmış üst olasılık sınırı değerleri.....	52
4.5 Süreç kusurlu oranı p olduğunda, belirli bir yanlış uyarı (α) seviyesinde süreç gelişimini belirleyebilmek için gerekli olan örnek büyüklükleri.....	54
4.6 Çeşitli kusurlu oranı (p) ve güvenlik seviyesi ($1 - \alpha$) değerleri için örnek büyüklüğü (n) değerleri	63
4.7 Bazı n_c ve p değerlerine göre hesaplanmış n_0 değerleri	65
4.8 $\alpha = 0,0027$ olduğunda BHÜS–1, BHÜS–2 ve BHÜS–3 kontrol grafikleri için kontrol sınırları.....	72
6.1 Süreç kontrol altında iken kusurlu oranının, ortalama değeri, en az değeri ve en çok değerine göre hesaplanmış en uygun kontrol grafiği tasarım parametreleri ve en iyi saatlik çevrim maliyeti.....	103
6.2 p_1 in sabit bir değerine karşılık p_0 in değişik değerlerine göre belirlenen parametre değerleri.....	107
6.3 p_1 in sabit bir değerine karşılık p_0 in değişik değerlerine göre belirlenen parametre değerleri.....	108

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK) teknikleri endüstriyel uygulamalarda sıkça yer alan kullanışlı teknikleridir. Özellikle kontrol grafikleri, süreç davranışını belirlemesi ve gerekiyorsa kullanıcıyı düzeltici önlemler almaya sevk etmesi özellikleri ile günümüz endüstrisinde zengin bir kullanım alanına sahiptir. Kontrol grafiği türleri arasında en çok bilinen ve en yaygın olarak uygulanan Shewhart Kontrol Grafiklerinin kullanımı birçok süreç için uygundur. Fakat günümüzün hızla gelişen teknolojisi ile birlikte her geçen gün önemi artan yüksek kaliteli olarak nitelendirilen yaklaşık sıfır hatalı süreçler için bazı uygunsuzlukları vardır. Uygunsuzlukların yok edilebilmesi için kontrol grafiklerinde daha gelişmiş yaklaşımlar kullanılmalıdır. Bu kapsamda yalnızca sürecin genel eğilimini açıklayıcı nitelikte teknikler değil, aynı zamanda süreç iyileşmelerini belirleyici ve bu gelişimi devam ettirici niteliği de olan teknikler üzerinde durulmalıdır. Böylece, çok düşük (yaklaşık sıfır) kusurlu oranına sahip süreçlerin bile gelişmesi mümkün bir hale gelebilecektir.

İSK' nın önemli araçlarının başında gelen kontrol grafiklerinin yüksek kaliteli süreçlerde de sağlıklı bir şekilde kullanımına olanak veren tekniklerin sunumu çalışmanın içeriğini oluşturmaktadır. Açıklanacak kontrol grafikleri, geleneksel ve üzerinde daha önce birçok kez çalışılmış olanlardan farklı bir bakış açısı ile oluşturulmaları yönüyle önemli görülmektedir. Çalışmanın bir başka amacı da, kontrol grafiklerinin maliyet faktörleri gözetilerek tasarlanması anlamına gelen kontrol grafiklerinde ekonomik tasarım yaklaşımı ve bunun yüksek kaliteli süreçler için uygun kontrol grafikleri üzerinde kullanılabilirliği hakkında bilgi vermektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kalite ve toplam kalite yönetimi kavramları kısaca açıklandıktan sonra İSK, önemi, araçları ve adımları üzerinde durulacaktır. Üçüncü bölümde ise, kontrol grafikleri hakkında genel bir bilgi verildikten sonra Shewhart Kontrol Grafiklerinin düzenleme adımları ve türleri anlatılmıştır.

İSK ve kontrol grafikleri hakkında yapılan açıklamalardan sonra, dördüncü bölümde, yaklaşık sıfır hatalı süreçlerden, Shewhart Kontrol Grafiklerinin bu tür süreçler için uygunsuzluklarından bahsedildikten sonra bu süreçler için uygun kontrol grafiği tekniklerinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde ise bu tekniklerden en önemlisi olan birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiği için ekonomik tasarım üzerinde durulmuş, altıncı bölümde ise sunulan bu ekonomik tasarım modelinin bir işletmede uygulaması anlatılmıştır. Kuramsal sonuçlar ve uygulama sonuçları Sonuç ve Öneriler bölümünde yer almaktadır.

BÖLÜM 2

İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

2.1. Kalite ve Toplam Kalite Yönetimi

Kaynaklarda kalite kavramının çok çeşitli tanımları mevcuttur. Bunlardan bazıları şöyledir (TSE, 1993):

- Bir ürünün veya hizmetin kalitesi, tüketici gereksinimlerini mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan pazarlama, mühendislik, imalat ve kalitenin devamı özelliklerinin bileşkesidir.
- Kalite, bir ürün veya hizmetin, belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır.
- Kalite; müşteri ihtiyaçlarının tatmini, operasyon performansının iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla kullanılan stratejik bir araçtır.

Douglas C. Montgomery ise kaliteyi ve kalite gelişimini izleyen ifadelerle tanımlamıştır:

- Kalite, ürünlerin ve servislerin, kullanıcıların ihtiyaçlarına uygunluk derecesidir.
- Kalite, değişkenlikle zıt kutuplarda bir kavramdır.
- Kalite gelişimi, süreçlerdeki ve ürünlerdeki değişkenliğin azaltılması demektir.

(Montgomery, 2009)

Ürünün kalitesi genel olarak; tasarım kalitesi, imalat kalitesi ve güvenilirlikten oluşmaktadır. Bir ürünün, tüketicilerin ihtiyaçlarını ve teknik gereksinimleri karşılamak üzere tasarım aşamasında kâğıt üzerinde saptanmış kalitesi tasarım kalitesidir. Ürünün tasarıma uygunluk kalitesi ise imalat kalitesidir. Kâğıt üzerinde elde edilen tasarım kalitesine gerçekte ne derecede ulaşıldığını gösterir, bir başka deyişle gerçeğin teoriye uygunluk derecesini belirler. Güvenilirlik ise, tüketici tarafından satın alınan ürünün gerçeği bekleneni vermesinin ölçüsüdür (Yatmazoğlu, 1999).

Kalitenin gelişim sürecinde yer alan Toplam Kalite Kontrolü (Total Quality Control) da, tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile işletme organizasyonu içindeki birimlerin kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabalarını yaşatıp koordine eden sistem şeklinde tanımlanmaktadır. (Feigenbaum, 1961).

2.2. İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Kalitedeki Yeri

Kalitenin bir göstergesi de ilgilenilen kalite karakteristiğindeki değişkenlik miktarıdır. Değişkenlik miktarının azalması kalitenin geliştirildiğinin bir işaretidir. Değişkenliğin azaltılması için ise bu değişkenliğe neden olan durumlar doğru bir şekilde belirlenmeli ve gerekli önlemler zamanında alınmalıdır. Süreç içinde meydana gelen değişkenliklerin sürecin kendi doğasından mı (şans etkisiyle) kaynaklandığı yoksa özel nedenler sayesinde mi meydana geldiği belirlenmelidir. İstatistiksel süreç kontrolünün ana amacı, süreç içerisinde meydana gelen özel nedenleri en kısa sürede belirlemektir (Yatmazoğlu, 1999).

Gerekli bir kısım girdileri çıktılar haline dönüştürmek için yapılandırılmış insan, makine/ekipman, malzeme, metot ve çevreden oluşan sürece ait sayısal bilgilerin toplanması, düzenlenmesi, çözümlenmesi ve yorumlanması İstatistiksel Süreç Kontrolü olarak tanımlanır. Sürecin olması gerektiği gibi devam edip etmediği belirlenmeli, olağan dışı ve sürecin doğasından kaynaklanmayan bir durum varsa bu durumun sebeplerinin belirlenerek ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bir başka deyişle, istatistiksel süreç kontrolü, süreçteki bozulmadan kaynaklanan değişkenliğin belirlenerek ortadan kaldırılması ve bu işlemin istatistiksel yöntemlerle yapılmasıdır.

ISK teknikleri, satın alınan malzemelerdeki, yöntemlerdeki, süreçlerdeki, makinelerdeki, ürünlerdeki ve insan faktöründeki değişimleri kontrol altına almak, niceliksel ve niteliksel özelliklerini ölçmek amacıyla sayısal veriler kullanarak sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir (Akın, 1996).

Bunun başarılabilmesi için ilk olarak çeşitli tekniklerle, ele alınan sürecin kontrol altında olup olmadığı belirlenmelidir. Eğer süreç kontrol altında değilse sürecin kontrol dışı olmasına sebep olan özel nedenler belirlenmeli ve bu nedenlerin yok edilmesi suretiyle süreç kontrol altına alınmaya çalışılmalıdır. Daha sonra belirli bir hedef değer etrafında merkezileşen süreçteki şans nedeniyle oluşan değişimler azaltılmalı ve mümkün olan en düşük seviyeye çekilmelidir. Şans nedeniyle oluşan değişkenliğin tamamen yok edilmesi teoride mümkün olsa bile uygulamada gözlenemeyecek bir durumdur.

2.3. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Önemi ve Yararları

Son yıllarda İSK konusunda yazılmış olan birçok esere ve İSK konusunun birçok üniversitede okutulan önemli bir ders haline gelmesine bakılırsa bu konunun kazandığı önemin göz ardı edilmeyecek boyutlara ulaştığı görülebilir. İSK' nın bu derece önem kazanmasına ve birçok firma tarafından vazgeçilmeyen bir araç olarak görülmesine yol açan sebepler nelerdir? Niçin firmalar süreçlerinin kontrol altında olup olmadığını belirlemeye bu derece önem göstermeye başlamışlardır?

2. Dünya Savaşı sonrası Japonlar, Dr. Deming öğretilerinin bir sonucu olarak, istatistiksel süreç kontrolü tekniklerini ustaca kullanır hale gelmişlerdir. 1970'li yılların sonlarında ise Japonların dünya pazarlarındaki başarılarının sırrını öğrenmek isteyen, uluslar arası çapta iş yapan firmalardan gelen işadamları Japon işçilerinin istatistik yöntemlerini ustaca kullandıklarını gözlemlemiş ve ürün mühendisliği ile çıkan mal arasındaki değişkenliğin çok küçük olmasının sebebinin bu ustalık olduğunu öğrenmişlerdir.

İSK' nın, üretime katılan çalışanlar üzerinde yarattığı olumlu etki de incelenmesi gereken bir başka husustur. Dale 1989 yılında, 158 otomobil fabrikasında İSK yöntemlerini kullanarak araştırmalar yapmıştır. Araştırmalar sonucu kalite kontrol kartlarını elle dolduran operatörlerin; işe konsantrasyonunun arttığı, süreç ile ilgili kendisini daha sorumlu hissettiği ve süreçte meydana gelen ani değişimlerden haberdar olduğu gözlemlenmiştir.

İSK çalışmalarında grafiksel çözüm tekniklerinin kullanılması ile süreçte hataların ve değişkenliğin nerede var olduğu, çözüm veya gelişme bekleyen problemlerin önem derecesi ve düzeltici işlemlerden istenilen sonucun alınıp alınmadığı belirlenebilmektedir (Anagün, 1996).

İSK' nın kullanımı, istatistiksel yöntemlerin kullanımını anlamada büyük fayda sağlayarak, işletmelerde daha ileri tekniklerin uygulanmasına öncülük etmektedir.

İSK' nın diğer yararları da izleyen biçimlerde verilebilir:

- Ürün tasarım sınırlarına olan uygunluğun istenilen düzeyde olmasını sağlar,
- Ortalama ürün kalitesini artırır,
- Gereksiz kalite kontrol işlemlerini azaltır, ortadan kaldırır,
- Yan sanayiden alınan hatalı malzemelerin miktarının azaltılmasını ve açığa çıkmasını sağlar,
- Kullanıcılardan geri dönüşleri azaltır,
- Iskarta ve yeniden işleme oranlarını azaltır,
- Ürünlerin ekonomik üretimini sağlar,
- Kalitenin varlığını ortaya koyar,
- Süreç değişkenliği azalacağından kalite yükselir,
- Standartlara uyum sağlanır,
- Süreçte kontrol altında olmayan noktalarda sapma nedenlerinin ortadan kaldırılması amacıyla düzeltici işlemlerin yapılması ve böylece verimliliğin artırılması sağlanır,
- Süreç üzerinde direk kontrol sağlayarak, etkili bir şekilde sorunların çözülmesi ve karar verilmesi için yol gösterir,
- Hatalar anında engellendiği için süreçte darboğazlar engellenebilir,
- Uygun olmayan master, takım, fikstür vb yardımcı araçların belirlenmesi sağlanır,
- Tezgâhların ne zaman onarıma alınacağı belirlenir,
- Operatör ana süreç karakteristiklerini kontrol ederek hataları önler. Operatöre zamanında karar vermesi için yardımcı olur,

- Süreçte belirlenebilir değişkenliğin doğal değişkenlikten ayırt edilmesine yardımcı olur,
- Kişilerin süreçleri sahiplenmelerini ve motivasyonu sağlar,
- Müşteri gereksinimleri karşılanarak şirketin pazar payı artırılır,
- İş yapan kişinin yönetimle birlikte problem çözümüne katılması ile başarı elde edilir.

2.4. İstatistiksel Süreç Kontrolünün Araçları

İSK, süreç değişkenliğinin azaltılması yoluyla süreci belirli bir dengeye getirecek ve süreç yeteneğini geliştirecek güçlü problem çözme araçlarına sahip olan bir teknikler grubudur (Montgomery, 2009).

Günümüzde çoğu işletmelerde, bu güçlü problem çözme teknikleri, istatistiksel kalite kontrolü araçları adıyla kullanım alanı bulmaktadır. Bu araçlar şunlardır;

1. Histogram
2. Pareto Diyagramı
3. Sebep – Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı Diyagramı)
4. İşaret Tablosu
5. Serpme Diyagramı
6. Tabakalandırma
7. Kontrol Grafikleri

İzleyen alt başlıklarda ayrıntılarına girilmeksizin, bu araçlar tanıtılacaktır.

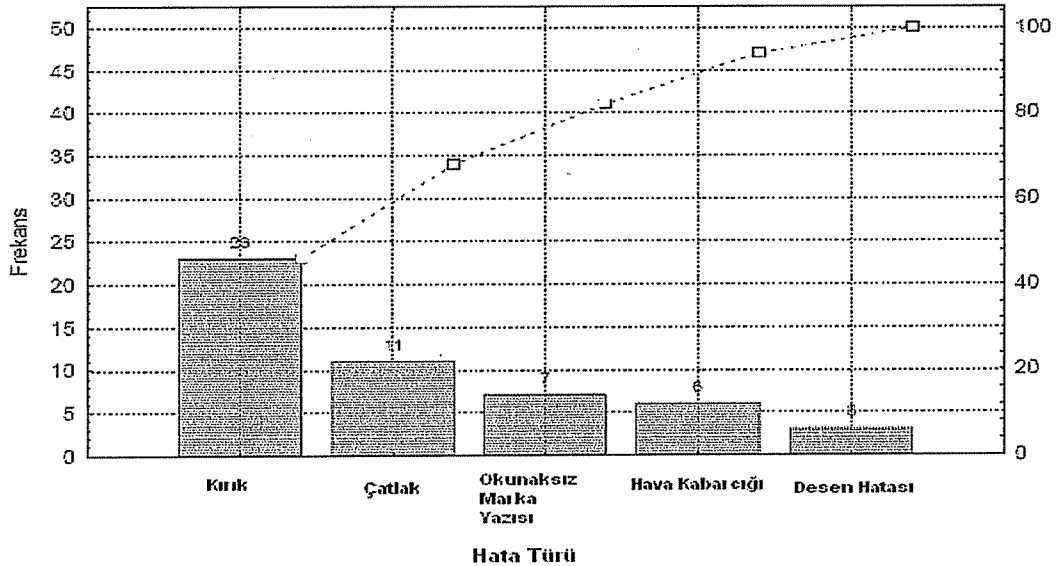
2.4.1. Histogram

Bir konuda derlenmiş sayısal verilerin belirli aralıklarda yer alan sayılarının grafik şeklinde gösterimi histogram olarak adlandırılır (Burnak, 1997). Genellikle bir olayın oluş sıklığını göstermek ve belirlenen zaman aralığında tanımlanan problemin daha sık meydana gelip gelmediğini hesaplamak ve ortaya çıkan dağılımın şeklini bilinen bir dağılım ile karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır (Akın, 1996). Her

histogramda ürünün sadece bir karakteristiği ile ilgilenilir. İlgilenilen karakteristiğin geçmişte sayısal olarak gösterdiği sıklık belirlenir.

2.4.2. Pareto diyagramı

Pareto diyagramı; bozuk ürünler, tamirler, arızalar, talepler, noksanlıklar veya kazalar ile mali kayıplar ve bunların çeşitli sebepleri gibi olayların görsel olarak meydana gelme frekanslarını gösteren bir tür frekans dağılım grafiğidir (Akın, 1996). Pareto diyagramında bir sorunu yaratan nedenler önem derecelerine göre sıralanır. Bu diyagram sayesinde kusurlu ürünler, eksik noktalar, arıza gibi iyileştirilmesi gereken konular hakkında, hangi konuda problem olduğu, problemin oranı ve etki derecesinin ne kadar olduğunu görülebilir. Pareto diyagramlarında en önemli bulgu en solda çizilir, diyagram çubuk ya da dikdörtgen grafiği şeklinde oluşturulur. Şekil 2.1’ de örnek bir Pareto diyagramı gösterilmiştir



Şekil 2.1: Bir ürün üretim sürecinde hata türleri ve frekanslarını gösteren pareto diyagramı

2.4.3. Sebep – Sonuç diyagramı (Balık kılçığı diyagramı)

Herhangi bir problemi doğuran ya da etkileyen sebep ve faktörleri belirlemek amacıyla kullanılan tekniktir. Potansiyel sebepler ana gruplara ve alt gruplara ayrılır. Sebep - sonuç diyagramı, bir sorunun çeşitli nedenlerini belirlemeye, sıraya dizmeye ve göstermeye yarayan bir araçtır. Bir iş sürecini geliştirmek için süreç ve süreç sonunda elde edilen çıktılar hakkında yeterli ve gerekli bilgiye sahip olmak gerekir. Sebep-sonuç diyagramı bu amaca ulaşma için önemli bir kalite aracıdır. Belirlenen bir sonuç ve onu etkileyen tüm etkenlerin ilişkileri grafiksel olarak gösterilir. Sebep-sonuç diyagramı, "Balık Kılçığı Diyagramı" olarak da bilinmektedir. Bir süreçte ortaya çıkan sorunların öncelikleri pareto diyagramı ile ifade edilirken, söz konusu sorunların kaynağı sebep – sonuç diyagramı ile incelenir.

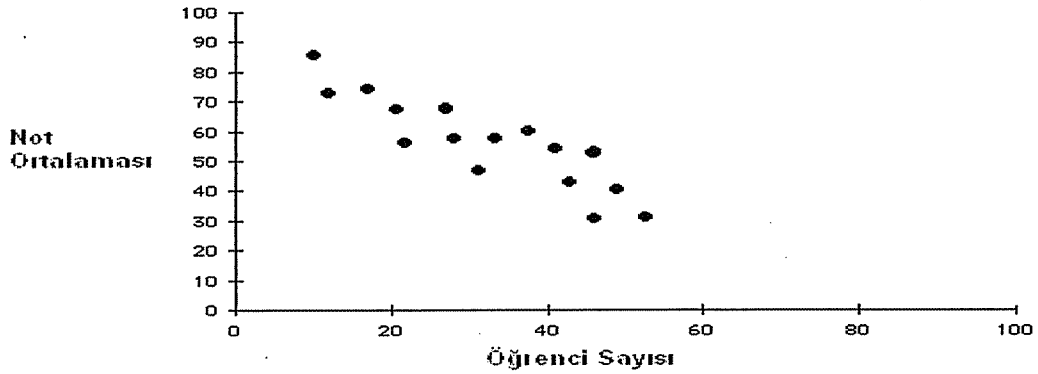
2.4.4. Kayıt kontrol formu

İstatistiksel kalite kontrolünde veri derlenmesi ve uygun teknikler yardımıyla analiz edilmesi önemli bir boyutu oluşturur. Analizler sonucu türetilen bilgilerden hareketle verilen kararların doğruluğu analizlerde kullanılan verilerin doğruluğuna bağlıdır (Burnak, 1997). Kayıt kontrol formları gereken verilerin kolay ve doğru bir şekilde derlenebilmesini sağlar.

Kayıt kontrol formları; ölçüm değerleri, kusur frekansları gibi parametrelerin hangi sıklıkta tekrarlandığının belirlenmesi için en basit yöntemdir.

2.4.5. Serpme diyagramı

Serpme diyagramı; sebep-sonuç diyagramında ortaya çıkarılan faktörler ve/veya faktör ile sonuç arasındaki ilişkilerin yön ve şiddetinin belirlenmesinde kullanılır. Sonuç ve sebeplerin biri ya da birkaçına ait toplanmış verilerin işaretlenmeleri ile elde edilir. Böylelikle, üretilen ürünün kalitesini etkileyen herhangi iki özellik arasında ilişki olup olmadığı belirlenmeye çalışılır. Bu ilişki belirlenebilirse, değişkenlerden birisi kontrol altına alındığı zaman diğerinin nasıl davranabileceği de kestirilmiş olur. Şekil 2.2' de bir serpme diyagramı örneği gösterilmiştir.



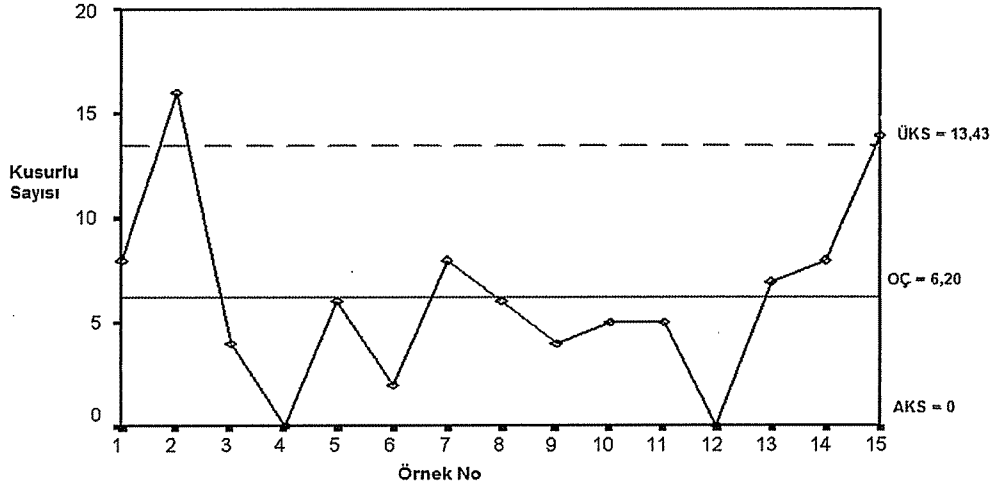
Şekil 2.2: Bir dershanede sınıflardaki öğrenci sayısı ile not ortalamaları arasındaki ilişkiyi veren serpmeye diyagramı

2.4.6. Tabakalandırma

Tabakalandırma; bilgilerin, belirli kategorilere ve özelliklere göre sınıflandırılması sürecidir. Bu süreçte, belirli bir sorun parçalara ayrılır ve bu parçalar tek tek incelenir. İnceleme sürecinde karışıklığın önlenmesi için, farklı kaynaklardan (operatör, makine, malzeme, vardiya vb.) alınan veriler ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

2.4.7. Kontrol grafikleri

Kontrol grafikleri, arzu edilen niteliklerde ürün veya hizmet üretebilmek için sürecin istatistiksel olarak kontrol ve analiz edilmesinde kullanılmaktadır (Akın, 1996). Kontrol grafikleri ile sürecin yeterliliği incelenir ve süreç yeterli bulunmazsa, bu yetersizliğin, çözümü mümkün olan nedenleri saptanarak, gerekli önlemler alınır ve süreç geliştirilir. Sürecin içerisindeki belirlenebilen veya belirlenemeyen nedenlere bağlı olan değişkenliği tespit etmek ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemek için kontrol grafikleri kullanılır. Kontrol grafikleri hakkında daha ayrıntılı bilgi daha sonraki bölümlerde sunulacaktır. Şekil 2.3’ de örnek bir kontrol grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Bir süreç için kusurlu sayısı kontrol grafiği

2.5. İstatistiksel Süreç Kontrolü Adımları

Oktay'a (1998) göre İSK uygulamalarında izlenmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir.

Kontrolü yapılması gereken sürecin belirlenmesi: İstatistiksel kalite kontrol faaliyetlerinin uygulanacağı süreç, kontrol edilmeye değecek kadar önemli bir süreç olmalıdır. Bir süreç kontrol altında iken, elde edilen çıktılardaki değişkenlik en küçük seviyededir.

Örnekler alınması ve örneklere ait verilerin kaydedilmesi: Bir sürecin tüm çıktılarını alıp kontrol etmek çok zor ve masraflı olacağı için süreçten, ana kütleyi temsil edecek, rassal olarak seçilmiş örneklerin alınması uygun olacaktır. Böylece, alınan bu örneklerden yola çıkılarak ana kütle hakkında karar verilebilir.

İSK aracının belirlenmesi ve uygulanması: Ele alınan süreci kontrol etmek için hangi aracın kullanılmasının en uygun olacağı kontrol ekibi tarafından belirlenmelidir. Üzerinde hiçbir istatistiksel süreç kontrolü çalışması yapılmamış bir sürece uygulanacak

yöntemler ile sürekli İSK çalışmalarının yapıldığı kontrol durumundaki bir sürece uygulanacak yöntemler birbirinden farklıdır. Kontrol grafikleri, diğer kontrol araçlarına göre, süreç ile ilgili daha ayrıntılı ve nümerik sonuçlar vermesi açısından daha tercih edilebilir bir yöntem olmaktadır.

Elde edilen bilgilerin yorumlanması ve yetkililere gerekli bilgilerin sağlanması: İlgilenilen süreç uygun İSK aracı ile kontrol edildikten sonra, süreç ile ilgili elde edilen bilgiler gerekli yorumlama teknikleri ile yorumlanmalıdır. Her İSK aracının yorumlanması için uygun olan teknik farklılık arz etmektedir. Yorumlama sonucu elde edilen bilgiler yetkili kişilere ulaştırılmalı ve süreç kontrol dışı ise kontrol altına alınması sağlanmalı, kontrol altında ise bu durumun devamlılığının sağlanmasına gayret edilmelidir.

BÖLÜM 3

KONTROL GRAFİKLERİ

3.1. Kontrol Grafiklerinin Amaçları ve Yararları

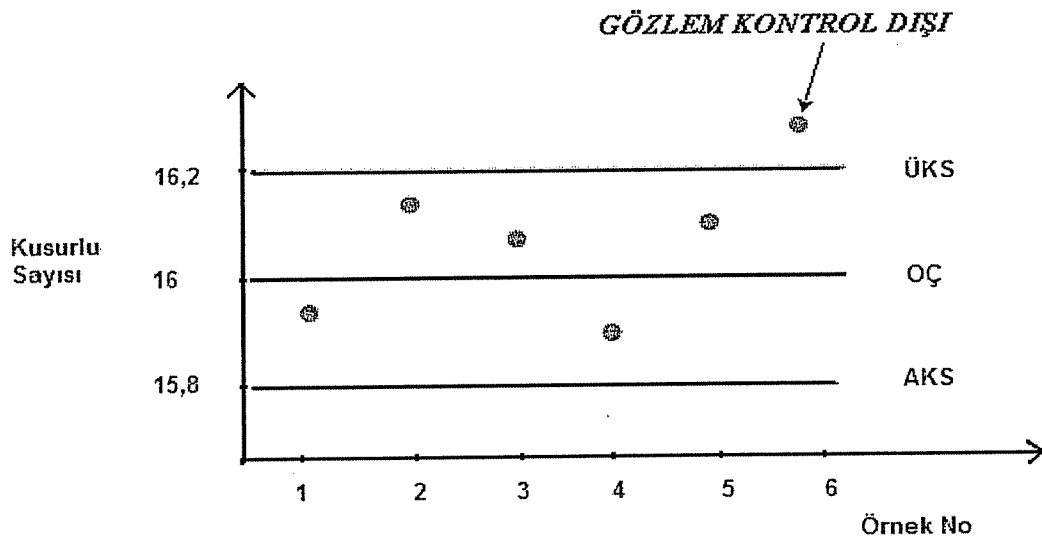
Kontrol grafikleri, ürünün gerçek kalite spesifikasyonlarını, geçmiş tecrübelere dayanarak belirlenen limitlere göre karşılaştırmaya yarayan grafiklerdir (Feigenbaum, 1961). Kontrol grafiğinin amacı, ele alınan sürecin performansının kabul edilebilir bir kalite düzeyinde olup olmadığını belirlemektir.

Kontrol grafikleri, üretimden belirli ve eşit zaman aralıklarında alınan örneklerden elde edilen ölçüm değerlerinin zaman içerisindeki değişimlerinin gösterildiği grafiklerdir. İstatistiksel süreç kontrolünün en önemli araçlarından bir tanesidir. Kontrol grafiği uygulamalarında, ele alınan sürecin kontrol altında olup olmadığı istatistiksel yöntemler kullanılarak belirlenir. Kontrol grafikleri ile aynı zamanda üretim sürecinin parametreleri tahmin edilir, süreç yeteneği saptanır ve sürecin geliştirilmesi için kullanılabilecek bilgiler elde edilir.

Üretilen mamulün ölçülen kalitesi her zaman şans nedeniyle belirli bir miktarda değişimin etkisi altındadır. Bir kısım kararlı şans etkileri üretimin ya da muayenenin herhangi bir safhasında içsel olarak vardır. Bu kararlı düzende değişkenlik kaçınılmazdır. Kararlı düzen dışında oluşan değişkenlik saptanabilir ve düzeltilebilir. Kontrol grafiklerinin gücü, süreçte meydana gelen ve kaliteyi etkileyen bu belirlenebilir (özel-assignable) nedenleri ayırabilmesindendir. Böylece birçok sorunun teşhisi ve düzeltilmesi mümkün olur. Sadece şans etkileri nedeniyle değişkenlik gözlenen bir süreç istatistiksel kontrol altında (statistically in control) olarak tanımlanır. Belirlenebilir nedenlerin varlığı altında çalışan bir süreç ise kontrol dışındadır (out of control) (Burnak, 1997). Kontrol grafikleri, bu rassal ve özel nedenleri ayırabilmesi özelliği sayesinde, gereksiz tedbirlerin alınmasını önler.

Kontrol grafikleri, üretim veya hizmet sürecinde meydana gelen bir problemin varlığını gösterir, problem hakkında ipuçları verir fakat problemin kaynak nedenini göstermez. Genel ve özel nedenlere bağlı olan, kontrol edilen ve edilemeyen değişimler arasındaki farklılığı Dr. Walter A. Shewhart bulmuştur ve kontrol grafiklerinin ilk uygulamaları, 1920' li yıllarda, onun tarafından başlatılmıştır. Bu yüzden kontrol grafiklerine ' Shewhart Kontrol Grafikleri' adı da verilir.

Bir kontrol grafiğinde 3 temel çizgi bulunur. Bunlar, süreç kontrol altında iken, ele alınan kalite özelliğinin ortalama değerini gösteren orta çizgi ve alınan gözlem değerlerinin aralarında rassal olarak dağılması beklenen üst ve alt kontrol sınırlarıdır. Alınan gözlemlerin değerleri, üst ve alt kontrol sınırları arasında rassal olarak dağılıyorsa süreç sadece şans etkileri nedeniyle değişkenlik gösteriyor demektir ve böyle bir süreç kontrol altındadır denilebilir. Fakat gözlem değerlerinin biri ya da birkaçı, bu kontrol sınırlarının dışına çıkıyorsa (üst kontrol sınırının üstünde veya alt kontrol sınırının altında ise), kontrol grafiğinin türüne bağlı olarak, süreç kontrol dışı demektir. Bu durumda sürecin kontrol dışına çıkmasına neden olan özel durum / durumlar belirlenmeli ve süreçteki etkisinin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması için gerekli işlemler yapılmalıdır. Şekil 3.1' de örnek bir kontrol grafiği gösterilmiştir.

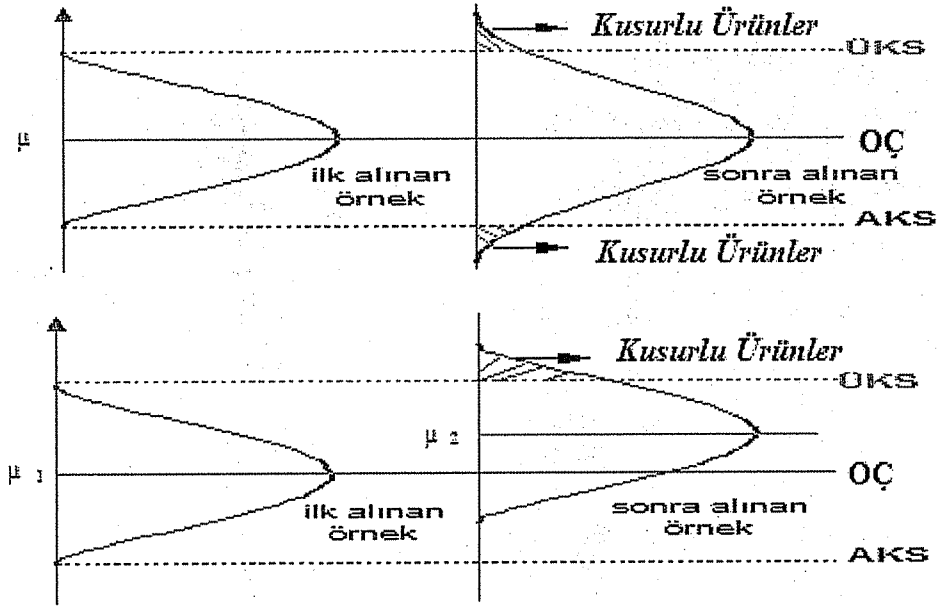


Şekil 3.1: Örnek bir kontrol grafiği

Hipotez testleri ile kontrol grafikleri yakından ilişkilidir. Kontrol grafikleri, aslında, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemeye yönelik bir hipotez testidir. Kurulan H_0 hipotezinin reddedilmesine neden olacak kritik bölge, kontrol grafiğinde sürecin kontrol dışı olduğunu gösteren bölge ile aynı anlamı taşır. H_0 hipotezinin reddedilmesini gerektiren kritik bölge değerleri grafiğin kontrol sınırlarına karşı gelen değerlerdir.

Hipotez testleri ile kontrol grafikleri yakından ilişkilidir fakat bakış açıları arasında bazı farklılıklar da vardır. Örneğin, istatistiksel hipotezleri test ederken, genellikle, varsayımların doğruluğuna bakılır. Kontrol grafikleri ise, varsayılan istatistiksel kontrol durumundan sapmaları belirlemek için kullanılır. Dahası, özel nedenler, süreç parametrelerinde farklı tiplerde değişimlere neden olabilirler. Örneğin, süreç parametresinin ortalama değeri, özel nedenin etkisiyle aniden yeni bir değer alabilir ve özel nedenin kısa süreli olmasından dolayı yeniden eski, nominal değerine geri dönebilir. Bunun tam tersi de mümkün olabilir. Özel neden, ortalama değerindeki değişimin sürekli olmasına yol açabilir. Tüm bunların yanında sadece 1. durum (ortalamanın aniden başka bir değer alması ve sonra eski haline geri dönmesi) istatistiksel hipotez test modeli ile uyum sağlamaktadır (Montgomery, 2009).

Kontrol grafiklerinin yapısını daha iyi anlayabilmek için, öncelikle, merkezi limit teoremini bilmek gerekir. Merkezi limit teoremine göre, büyük bir sayıda olan bağımsız ve aynı dağılım gösteren rassal değişkenlerin toplamı (eğer sonlu varyans değerleri bulunuyorsa) yaklaşık olarak normal dağılım gösterir. Kalite karakteristiğinin alınan örneklerden türetilen ortalaması, bu teoreme göre, normal dağılım gösterir. Kontrol sınırlarının belirlenmesinde de normal dağılımdan yararlanılmaktadır. Normal dağılım ile ilişkilendirilmiş bir kontrol grafiği Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2: Normal dağılım ile ilişkilendirilmiş kontrol grafiği örneği

Hipotez testlerinde iki tip hata olasılığı vardır. I. tip hata, süreç aslında kontrol altında olmasına rağmen, sürecin kontrol dışı olduğunun kabul edilmesi ve özel sebep arayıp düzeltme yapma yoluna gidilmesi olasılığıdır (α hatası). II. tip hata ise, süreç aslında kontrol dışı olmasına rağmen, buna yol açan özel sebebin aranıp ortadan kaldırılmaması diğer bir ifadeyle sürecin kontrol altında olduğunun kabul edilmesi olasılığıdır (β hatası). Bir kontrol grafiğine ilişkin işletim karakteristiği eğrisinin kullanımı II. tip hata yapma olasılığının gösterilmesinde yardımcı olmaktadır.

Shewhart; çok sayıda gözleme ve istatistiksel analize dayalı olarak elde ettiği sonuçlara göre bir sürecin doğal değişkenliğini hesaplamış ve bu değişkenliğin 3 standart sapma sınırlarına "Kontrol Sınırları" adını vermiştir. Eğer süreç doğru biçimde kontrol edilirse, tüm değerlerin % 99,73' ünün alt ve üst kontrol limitleri arasında kalması mümkün olacaktır. Buna karşılık, sistemden ya da operatörden kaynaklanan herhangi bir hata, değerlerin belirgin şekilde bu sınırların dışına çıkması ile sonuçlanacaktır. İstatistiksel kalite kontrolünde en önemli kavram üç (sigma - σ)

standart sapma değişkenliğidir. Buna göre gözlemlerin hemen hemen tamamı ($\mu-3\sigma$, $\mu+3\sigma$) aralığına düşmelidir.

Süreçte sistem, operatör veya başka bir unsurdan kaynaklanan herhangi bir hatanın olmadığı durumlarda, sürecin çıktısı olan ürünlerin % 68,26 sının ilgilenilen kalite karakteristiği değeri, ortalama değerin (μ) $\pm \sigma$ kadar yakınında; % 95,44 ünün ilgilenilen kalite karakteristiği değeri, ortalama değerin $\pm 2\sigma$ kadar yakınında; % 99,73 ünün ilgilenilen kalite karakteristiği değeri, ortalama değerin $\pm 3\sigma$ kadar yakınında olacaktır.

Kontrol grafiklerinin en önemli kullanım amacı sürecin geliştirilmesidir. Süreçlerde genellikle aşağıdaki durumlar gözlemlenir (Montgomery, 2009):

- Çoğu süreç istatistiksel olarak kontrol altında değildir.
- Sonuç olarak, kontrol grafiklerinin sürekli ve düzenli bir şekilde kullanımıyla süreçteki özel nedenler tanımlanabilir. Bu nedenlerin süreçten çıkarılması ile süreçteki değişkenlik azalacak ve süreç gelişecektir.
- Kontrol grafiği kullanımı ile yalnızca özel nedenlerin varlığı belirlenebilir. Bu özel nedenlerin süreçten çıkarılması, yönetim, operatör ve mühendislik faaliyetleri ile mümkün olmaktadır. Özel nedenlerin belirlenmesi ve yok edilmesinde problemin temel nedeninin bulunması ve ona odaklanılması gerekmektedir.

Kontrol grafikleri uygulamalarının, günümüzde oldukça başarılı sonuçlar vermesinin ve yaygın kullanımı olmasının nedenleri şöyle sıralanabilir (Montgomery, 2009):

1. Kontrol grafikleri, üretkenliği arttırmak için kanıtlanmış tekniklerdir. Başarılı bir kontrol grafiği uygulaması ile üretilen bozuk parça oranı ve yeniden işlemler azaltılabilir. Böylece, üretimde verimlilik artar, maliyetler düşer ve üretim kapasitesi artar.
2. Kontrol grafiği kullanımı, hatalı parça sayısının azaltılmasında etkili bir yoldur. Kontrol grafikleri, sürecin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur ve böylece

“İşi İlk Seferinde Doğru Yap” felsefesi ile üretim yapılması konusunda istikrar sağlanmış olur.

3. Kontrol grafikleri, süreçte gereksiz ayarlamaları / hazırlıkları önler. Kontrol grafikleri, sürecin doğasında var olan değişkenlikleri, özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliklerden, operatör veya başka bir aracın yapabileceğinden daha doğru bir şekilde ayırt edebilir. Böylece operatörün sürece gereksiz müdahalelerinin önüne geçilmiş olunur.
4. Kontrol grafikleri, tanımlayıcı bilgi sağlar. Kontrol grafiği üzerindeki noktalar kümesi, deneyimli bir mühendis veya operatöre süreç hakkında tanımlayıcı bilgiler sunar ve bu bilgiler sayesinde sürecin performansını geliştirecek değişimler yapılabilir.
5. Kontrol grafikleri sürecin yeteneği hakkında bilgi sağlar. Önemli süreç parametrelerinin değerleri ve bu parametrelerin zamana bağlı olan değişkenlikleri ile ilgili bilgi sağlar. Elde edilen bu bilgi ile sürecin kabiliyeti ölçülebilir.

Kontrol grafiklerinin diğer faydaları aşağıda verilmiştir (Akın, 1996):

1. İyi hazırlanmış ve uygulanmış kontrol grafikleri ile işlemin davranışının izlenmesi sağlanır,
2. İşlemin, kalite ve maliyet açısından sabit ve hatası önceden tespit edilebilir olması sağlanır,
3. İşlemin performansı üzerinde aynı dilin konuşulması sağlanır,
4. Özel ve ortak nedenlerin birbirinden ayırt edilmesi sağlanır,
5. Üründeki değişimin azalması nedeniyle etken kapasitenin yükseltilmesi ve birim başına maliyetlerin azaltılması sağlanır, etken kapasite artar,
6. Sürecin, zamana bağlı olarak düzenli bir şekilde izlenmesi ve kontrolü sağlanır,
7. Süreç içindeki değişkenlik azaltılır ve ürün / süreç parametrelerinin tahminine olanak sağlanır.

3.2. Shewhart Kontrol Grafikleri

3.2.1. Shewhart Kontrol Grafikleri düzenleme adımları

Shewhart Kontrol Grafiklerinin düzenleme adımları aşağıda açıklanmıştır.

Kullanım amacının belirlenmesi

Üretim sürecinde standartlara tam olarak uygunluk sağlanması, kusurlu sayısının veya kusurlu oranının ulaşılabilir en küçük değerine indirilerek sıfır hataya ulaşılması, müşteri isteklerinin tam olarak yerine getirilmesi ve müşteri tatmininin sağlanması gibi temel hedefler belirlenmelidir (Işığışık, 2004).

Süreç karakteristiğinin belirlenmesi ve uygun kontrol grafiğinin seçilmesi

Kontrol edilecek sürecin hangi karakteristiğinin ölçülmesi gerektiği ve bu karakteristiğin nicel mi yoksa nitel mi olduğu belirlenmelidir.

Nicel Değişken: Kalite karakteristiği ölçülebilen – sayısal değerler alıyor ise niceldir. Nicel değişkenlere örnek olarak, uzunluk, ağırlık, genişlik, sertlik, çap, maliyet, satış kayıpları vb. verilebilir.

Nitel Değişken: Kalite karakteristiği sayısal olmayan değerler alıyor ise niteldir. Nitel değişkenlere örnek olarak, ürünün rengi, yüzey pürüzlülüğü, çap uygunsuzluğu, ürünün defolu görünümü vb. verilebilir. Nitel değişkenler, sayısal değerler yerine, uygun – uygun değil, kusurlu – kusursuz, iyi – kötü, kabul – red şeklinde iki seçeneikli değerler alacaktır.

Sürecin durumunun kontrol edilmesi için seçilecek kontrol grafiği, kalite karakteristiğinin tipi ile doğrudan ilişkilidir. Kalite karakteristiğinin nitel veya nicel olmasına göre, kullanılacak kontrol grafiği de değişkenlik gösterir.

Örnek büyüklüğünün belirlenmesi

Örnek büyüklüğü, süreçten bir defada çekilecek ürün miktarıdır. Ana kütle hakkında en doğru kararın, ancak ürünlerin tamamının tek tek muayene edilmesi sonucunda verilebileceği düşünülür (Kobu, 1987). Fakat bu düşünce ilk bakışta mantığa çok uygun gelse de, maliyetinin çok fazla olması ve zor olması gibi birçok nedenden dolayı çoğu zaman teoride kalmaktadır.

Sürecin değişkenliğini doğru bir şekilde gösterebilmesi için nicel kontrol grafikleri uygulanırken alınan örneklerin büyüklüğünün 5, nitel kontrol grafikleri uygulanırken ise 50 – 200 olarak alınması tercih edilir. Öte yandan örnek büyüklüğü bütün örneklerde sabit tutulmalıdır (Jardine ve diğerleri, 1975). Ayrıca örneklerdeki birimlerin aynı koşullarda üretilmesi ve aralarındaki değişkenliğin mümkün olan en az seviyede olması arzu edilir. Örnekler arasında kısa zaman dilimlerinde önemli derecede değişim gözlemlendiğinde, sürecin kontrol dışı olduğu kuşkusu uyanabilir (Grant ve Leavenworth, 1985).

Örnekler rassal olarak alınmalıdır. Bunun için el ile rasgele seçim veya rassal sayılar tablosundan yararlanılır (Işığışok, 2004).

Örnekleme ile yapılan muayeneler, örnekleme hataları gibi bazı istenmeyen durumlar hariç, %100 muayeneye nispeten daha avantajlıdır. Örnekleme hataları şunlardır:

1. Aslında kontrol altında olan bir sürecin, yapılan incelemeler sonucu kontrol dışı olarak nitelendirilmesi birinci tip hatadır (α hatası).
2. Aslında kontrol dışı olan bir sürecin, yapılan incelemeler sonucu kontrol altında olarak nitelendirilmesi ikinci tip hatadır (β hatası).

Örnekleme hataları, örnek büyüklüklerinin mümkün olan en fazla miktarda tutulması ile en aza indirilebilir. Örneğin örnek büyüklüğünün artırılması ile süreç karakteristiği değerindeki daha küçük değişimler daha kolay fark edilebilir ve II. tip

hata yapma olasılığı azalır, grafik kontrol dışı olma durumunu daha kesin bir şekilde yakalayabilir.

Önemli bir gereksinim de, örnek gruplarının, aynı ana kütleden gelen alt gruplar olarak seçilmesidir. Yani, farklı operatörlerin, farklı vardiyalarda, farklı makineler ile işledikleri ürünler karıştırılmamalı, kontrol grafiğinden yansız ve doğru sonuç alabilmek için aynı koşullarda işlenmiş parçalardan oluşan örnekler alınmalıdır (Ryan, 2000).

Örnek sayısının belirlenmesi

Örnek sayısı, süreç durumunun kontrol edilmesi için, süreçten kaç tane örnek alınması gerektiğini ifade eder. Bir başka deyişle, süreçten değişik zamanlarda alınacak örneklerin sayısını ifade eder ve zaman içinde süreçteki değişimlerin belirlenmesini sağlar.

Örnek sayısı, süreçlerin niteliklerine göre, farklı uygulamalarda farklı değerler alabilir. Örnek sayısının süreç bazındaki değişim nedenlerini ortaya çıkarabilecek büyüklükte olması istenir. Örneğin süreçten, her biri 5 birimden oluşan 25 adet örnek alınması durumunda toplam 125 (5×25) gözlem değeri ile çalışılması, süreç değişkenliğinin belirlenebilmesi için önerilen ve sıkça kullanılan bir yaklaşımdır (Işığışık, 2004). Bazı kaynaklarda ise, örnek büyüklüğünün 5 ve örnek sayısının da en azından 20 olmak üzere toplam 100 gözlem değerinin altına inilmemesi gerektiği belirtilmektedir (Grant ve Leavenworth, 1996).

Süreçteki değişimi daha hassas bir şekilde belirleyebilmek için, yapılması gereken, kısa zaman aralıkları ile birim sayısı büyük olan örnekler almaktır. Çok sık örnek almak ekonomik anlamda maliyetli olabilir. Örneklemme şeklinin nasıl olması gerektiği konusu büyük önem taşımaktadır. Örneklerin ekonomik anlamda uygun zaman aralıkları ile alınması gereklidir. Yüksek hacimli üretim yapan işletmelerde kısa zaman aralıkları ile birim sayısı daha küçük olan örnekler alınması uygun olacaktır.

Verilen örnek büyüklüğü ve örnek sayısı kararlarının değerlendirilebilmesi için kullanılabilecek bir başka yol da, kontrol grafiğinin ‘Ortalama Çalışma Süresi’nin (Average Run Length – ARL) bulunmasıdır. Bu kavram, herhangi bir nokta kontrol dışı olma koşulunu göstermeden önce kaç noktanın grafiğe işaretlenmesi gerektiğinin gösterir. Herhangi bir noktanın kontrol sınırları dışında çıkması olasılığı p olmak üzere;

$$ARL = 1 / p$$

formülü ile hesaplanır. Bu formül, kontrol grafiğinin performansının değerlendirilmesinde kullanılır.

Örneğin, 3 sigma limitleri ile oluşturulmuş klasik bir ortalama kontrol grafiğini ele alalım. Bu gibi bir kontrol grafiğinde herhangi bir noktanın kontrol sınırları dışında çıkması olasılığı (p) 0,0027 dir. Bu durumda;

$$ARL = 1 / p = 1 / 0,0027 = 370$$

olacaktır ki bu da süreç kontrol altında iken, ortalama olarak her 370 örnekte bir kontrol dışı çıkma sinyalinin oluşacağını gösterir.

Uygulanan kontrol grafiğinin performansının değerlendirilmesi için kullanılan bir başka kavram ise, ‘İşarete Kadar Geçen Ortalama Süre’ (Average Time To Signal – ATS) kavramıdır. Örneklerin alındığı belirli zaman aralığı h olmak üzere;

$$ATS = ARL \cdot h$$

formülü ile hesaplanır. Buna göre, süreçten her saat örnek alınıyorsa, ortalama olarak her 370 saatte bir ‘yanlış alarm’ oluşacaktır (Montgomery, 1991).

Örnek büyüklüğü ve sayısına karar verirken birkaç önemli faktörü göz ardı etmemek gerekir. Bunlar, örnekleme maliyeti, sürecin kontrol dışı olarak yürütülmesi

boyunca oluşacak zarar, üretim hızı ve çeşitli tipteki değişkenliklerin oluşma olasılıkları gibi faktörlerdir.

Ölçme - değerlendirme yönteminin belirlenmesi ve verilerin toplanması - kaydedilmesi

Kontrol için niceliksel ölçüler kontrol grafikleri kullanılacaksa, nicel değişkenlerin ne tür bir teknikle ve hangi ölçü aletleri ile ölçüleceği belirlenmeli, tekniğin güvenilirliği ve ölçü aletinin hassasiyeti incelenmelidir.

Niteliksel değişkenlerin değerlendirildiği bir kontrol grafiği kullanılacaksa, değerlendirmenin hangi yöntemlerle yapılacağı belirlenmeli, değerlendirmelerin objektif olması için kalite karakteristiğinin açık ve kesin olarak tanımlanabilir olması sağlanmalıdır.

Verilerin kaydedilmesi aşamasında ise süreçten alınan örnek ölçümleri veya değerlendirmeleri gözlem değerleri tablosuna işaretlenir.

Örnek istatistiklerinin belirlenmesi

Kontrol grafiğinin oluşturulabilmesi için örneklerden hareketle bazı istatistikî hesaplamalar yapılmalıdır. Bunlar, örnek ortalamaları, örnek değişim aralıkları, örnek standart sapmaları, kusurlu oranları, kusurlu sayıları, kusur sayıları gibi hesaplamalardır. Bu istatistiklerden her biri, yerine göre farklı kontrol grafiklerinde kullanılacaklardır. Hesaplamalar daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak gösterilecektir.

Kontrol sınırlarının ve orta çizginin oluşturulması

Kontrol grafiğini tasarlarken alınması gereken önemli kararlardan bir tanesi de kontrol sınırlarının orta çizgiye olan uzaklığının belirlenmesidir. Kontrol sınırları orta çizgiden ne kadar uzak olursa I. tip hata yapma olasılığı da o kadar azalır. Yani,

herhangi bir özel nedenini varlığı söz konusu değil iken, bir noktanın kontrol sınırları dışında çıkması riski azalacaktır. Geniş kontrol sınırları ise II. tip hata yapma olasılığını arttıracak, süreç gerçekte kontrol altında değilken noktanın kontrol sınırları içinde çıkması olasılığı artacaktır (Montgomery, 2009).

Bir kontrol grafiğini oluşturmak için, ilgilenilen kalite özelliği Y , Y nin ortalaması μ_y ve standart sapması σ_y olmak üzere, kontrol sınırlarının orta çizgiden olan uzaklığını standart sapma biriminden ifade eden katsayı k olarak kabul edildiğinde, orta çizgi ve kontrol sınırları;

$$\bar{UKS}_y = \mu_y + k\sigma_y$$

$$OC_y = \mu_y$$

$$\bar{AKS}_y = \mu_y - k\sigma_y$$

olarak belirlenir.

Kontrol grafikleri oluşturulurken genellikle, kontrol sınırlarının orta çizgiye olan uzaklığını standart sapma biriminde belirten k katsayısı '3' olarak alınır. k katsayısının seçiminde ekonomik koşullar göz önüne alınmalıdır. Örneğin, sürecin kontrol dışı çalışması sonucu oluşacak kayıp değişkenliğe neden olan özel nedenlerin araştırılması ve düzeltilmesi faaliyetinden daha yüksekse, daha küçük bir k katsayısı ($k=2-2,5$ gibi) seçilebilir. Bazı tür kontrol grafiklerinde, kontrol sınırları, standart sapmanın dışında, belirlenen bir olasılığa (genellikle I. tip hata yapma olasılığı) dayanacak biçimde de oluşturulabilir (Montgomery, 2009). Bu gibi grafiklere de izleyen bölümlerde ayrıntılı olarak değinilecektir.

Kontrol grafiklerine istenilirse, kontrol sınırlarına ek olarak, uyarı sınırları da konulabilir. Uyarı sınırları, $k=2$ alınarak oluşturulan iç sınırlardır. Bir veya daha fazla

noktanın uyarı sınırları üzerinde veya uyarı sınırlarına çok yakın çıkması durumunda süreçte özel bir nedenin varlığından şüphelenilmelidir.

Örnek istatistiklerinin grafik üzerine işaretlenmesi ve yorumlama

Alınan örneklerin hesaplanan istatistikleri tek tek grafik üzerine işaretlenir ve bu noktalar incelenerek varsa kontrol sınırları dışında olan noktalar belirlenir. Süreç, aşağıda belirtilecek kontrol dışı eğilim yapılarından herhangi birisine sahip değilse, kontrol altında, dengede olduğu veya herhangi bir özel nedenin etkisi altında olmadığı söylenir. Fakat bu durum süreçten elde edilen çıktıların tamamen aynı olduğu anlamına gelmemektedir. Bu durumda sürecin sadece doğal nedenlerin (şans etkilerinin) varlığı altında devam ettiği ve bünyesinde sorun yaratmayacak derecede değişkenliğin olduğu söylenebilir.

Kontrol grafiği üzerine işaretlenen örnek istatistiklerinin genel yapısı aşağıdaki durumlardan biri ya da birkaçını gösteriyorsa, süreç kontrol dışı olarak değerlendirilir. Bu değerlendirme yapılırken, kontrol grafiğinin orta çizgisi ile alt kontrol sınırı ve üst kontrol sınırı arasında kalan bölgeler 3'er eşit parçaya bölünür. Orta çizgiye en yakın bölgelere C bölgesi (1 sigma sınırı), bir üstteki (alttaki) bölgelere B bölgesi (2 sigma – uyarı sınırları) ve en sondaki bölgelere ise A bölgesi (3 sigma – kontrol sınırları) adı verilir.

Sürecin kontrol dışı olduğunu gösteren eğilim yapıları aşağıda belirtilmiştir (Montgomery, 2009; Hansen, 1963; Grant ve Leavenworth 1996):

1. Bir ya da birden fazla noktanın alt kontrol sınırı altında veya üst kontrol sınırı üstünde olması,
2. Birbirini izleyen 3 noktadan 2 tanesinin A bölgesi veya dışında olması,
3. Birbirini izleyen 5 noktadan 4 tanesinin B bölgesi veya dışında olması,
4. Birbirini izleyen 8 noktanın orta çizginin aynı tarafında olması,
5. Birbirini izleyen en az 6 noktanın sürekli olarak yükselmesi veya alçalması durumu (Doğrusal genel eğilim),

6. Birbirini izleyen 11 noktadan 10 tanesinin, 14 noktadan 12 tanesinin, 17 noktadan 14' ünün veya 20 noktadan 16'sının orta çizginin bir tarafında olması durumu (Kararsız genel eğilim),
7. Ardışık 15 noktanın C bölgesinde bulunması (orta çizginin altında ve/veya üstünde),
8. C bölgesi hariç, orta çizginin 2 tarafında da ardışık 8 noktanın düzenli bir şekilde sıralanması,
9. Her iki C bölgesindeki nokta sayısının, toplam nokta sayının 2/3 ünden az olması,
10. Tüm noktaların orta çizgiye çok yakın olması,
11. Noktaların alışılmadık veya rassal olmayan bir şekilde dağılmış olması,
12. Tüm noktaların orta çizgiye çok yakın olması,

İlk 4 kural Western Elektrik el kitabında geçmektedir ve Western Elektrik kuralları olarak anılmaktadır.

Kontrol grafiklerinin yanlış yorumlanması aşağıdaki olumsuzluklara yol açabilir (Summers, 1997):

1. Çalışanların kontrol edemeyecekleri problemler yüzünden suçlanması,
2. Aslında olmayan problemleri çözmek için para ve zaman harcanması,
3. Gerekli olmayan süreç ayarlamaları ve yeni ekipmanlar için para ve zaman harcanması,
4. Sorun olduğu zannedilerek gerekli olmadığı halde önlem alınması,
5. Sürecin gelişimi için, ilk olarak ekipman ve/ veya süreç iyileştirilmesi gerekirken, operatör/ çalışan gelişimi için çaba sarf edilmesi.

Sürecin kontrol dışı olması halinde nedenlerinin araştırılması ve gerekli önlemlerin alınması

Sürecin kontrol dışı olması durumunda, kontrol sınırlarının ve grafik üzerine işaretlenen noktaların doğruluğu kontrol edildikten sonra, eğer hesaplamalar ve kontrol grafiği çizimi ile ilgili bir hata yok ise, süreç incelenerek, sürecin kontrol dışında

olmasına yani değişkenliğe sebep olan özel nedenler belirlenmeye çalışılır. Gerekirse, ölçme işleminin doğruluğunu kontrol amacı ile başka örnekler alınabilir. Özel nedenlerin araştırılmasında ve gerekli önlemlerin alınmasında “İstatistiksel Süreç Kontrolü Araçları” bölümünde belirtilen teknikler kullanılabilir.

Özel nedenlerin bulunması ve giderilmesinden sonra kontrol sınırları yeniden hesaplanır ve yeni verilerle oluşturulan grafikte süreç durumu incelenir, sürecin kontrol altına alınıp alınmadığı belirlenir. Bazı durumlarda süreçten elde edilen ürünler kontrol sınırlarını sağlamadığı gibi spesifikasyon sınırlarını da sağlamayabilir (Spesifikasyon = $\mu \pm \text{Tolerans}$, Tolerans = 4σ). Bu gibi durumlarda, söz konusu ürünler tek tek kontrol edilerek, uygun duruma getirilebilecek ürünlere yeniden işlen yapılmalı, diğerleri hurdaya ayrılmalıdır.

3.2.2. Niceliksel ölçüler için sık kullanılan kontrol grafikleri

Niteliksel ölçüler için sık kullanılan kontrol grafikleri ve bunların özellikleri bu bölümde açıklanmıştır.

Ortalama ($\bar{X}$) ve değişim aralığı (R) kontrol grafikleri

Süreç karakteristiğinde meydana gelen değişimler genel olarak, süreç ortalaması ve süreç değişkenlik ölçüleri izlenerek belirlenir. Bir süreç için hangi kontrol grafiğinin kullanılması gerektiği konusu, kontrol yapılırken hangi değişkenlik ölçüsünün kullanılacağı ile yakından ilgilidir. Bu bölümde, sürecin kontrol edilmesinde, ortalama kontrol grafiğinin yanında değişkenlik ölçüsü olarak değişim aralığının kullanılması durumu incelenecektir.

Değişim aralığı kontrol grafiğı, süreç değişkenliğinde meydana gelen sapmaların, örnek değişim aralıklarından hareketle belirlenmesinde kullanılır. Ortalama kontrol grafiğı ise, ortalamada meydana gelen sapmaların, örnek ortalamalarından hareketle belirlenmesinde kullanılır.

Aşağıda süreçten alınan her bir örneğin ortalamasının ve değişim aralığının hesaplanması için gereken formüller verilmiştir. Fakat daha önce şunun belirtilmesinde yarar vardır; kontrol grafiği çalışmalarında örnek büyüklüğünün sabit tutulmasında yarar vardır. Bu çalışmada da örnek büyüklüğü (n) değeri sabit alınacaktır.

n = örnek büyüklüğü,

x_i = süreç karakteristiğinin değerleri,

$X_{enb} = x_i$ ' lerin en büyüğü,

$X_{enk} = x_i$ ' lerin en küçüğü olmak üzere;

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$R = X_{enb} - X_{enk}$$

olarak belirlenir.

Her biri n birimden oluşan k tane örneğin ortalamalarının ortalaması (genel ortalama) ve değişim aralıklarının ortalaması da aşağıdaki formüllerde verilmiştir.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

Kontrol sınırları hesaplanırken 2 ihtimal göz önünde bulundurulur. Bunlardan biri süreç parametrelerinin (μ ve σ) bilinmesi durumu diğeri ise bilinmemesi durumudur. Süreç parametrelerinin bilinmesi durumunda, ortalama kontrol grafiğinin

kontrol sınırları, $A = \frac{3}{\sqrt{n}}$ olmak üzere;

$$\bar{U}KS_{\bar{X}} = \mu + A\sigma$$

$$O \bar{C}_{\bar{X}} = \mu$$

$$AKS_{\bar{X}} = \mu - A\sigma$$

olacak biçimde belirlenir.

Süreç parametrelerinin bilindiği durumda R kontrol grafiğinin kontrol sınırları ise,

σ_R = Örnek değişim aralıklarının standart sapması

$\hat{\sigma}$ = Anakütle standart sapmasının tahminleyicisi

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$$

$$\sigma_R = d_3 \sigma$$

$$D_1 = d_2 - 3d_3 \text{ ve } D_2 = d_2 + 3d_3 \text{ olmak üzere;}$$

$$\bar{U}KS_R = D_2 \sigma$$

$$O \bar{C}_R = d_2 \sigma$$

$$AKS_R = D_1 \sigma$$

şeklinde elde edilir.

Süreç parametrelerinin bilinmediği durumda ise ortalama kontrol grafiğinin kontrol sınırları, $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ olmak üzere;

$$\bar{U}KS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$O\check{C}_{\bar{X}} = \overline{\bar{X}}$$

$$AKS_{\bar{X}} = \overline{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

şeklinde oluşturulur.

Aynı durumda R kontrol grafiğinin kontrol sınırları, $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ ve

$D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$ olmak üzere;

$$\check{U}KS_R = \bar{R}D_4$$

$$O\check{C}_R = \bar{R}$$

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

olarak belirlenir.

Ortalama($\bar{X}$) ve standart sapma (S) kontrol grafikleri

Örneklerdeki birim sayısı arttıkça, değişim aralığının (R) etkinliği azalır. Bu nedenle, örnek hacmi $n > 10$ olacak şekilde artırıldığında değişim aralığı yardımıyla süreç değişkenliğini incelemek yeterince sağlıklı olmaz (Burnak, 1997). Bu gibi durumlarda, süreç standart sapmasının R' nin kullanımı ile dolaylı yoldan bulunması yerine direkt olarak tespit edilmesi tercih edilebilir. Bu gibi durumlarda, sürecin kontrol edilmesinde, ortalama kontrol grafiğinin yanında değişkenlik ölçüsü olarak sürecin standart sapması kullanılır. Standart sapma kontrol grafiği, süreç değişkenliğinde meydana gelen sapmaların, örnek standart sapmalarından hareketle belirlenmesinde kullanılan grafik türüdür.

Örnek varyansı (s^2);

n = örnek büyüklüğü

$x_i = i$. süreç karakteristiğinin değerleri

$\bar{X} = n$ birimlik örneğin ortalaması olmak üzere,

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

formülü ile elde edilir.

Süreç standart sapması σ biliniyor ise s kontrol grafiğinin kontrol sınırları:

σ_s = Standart sapma s' nin standart sapması

$$\sigma_s = \sigma \sqrt{1 - c_4^2}$$

$B_5 = c_4 - 3\sqrt{1 - c_4^2}$ ve $B_6 = c_4 + 3\sqrt{1 - c_4^2}$ olmak üzere;

$$\bar{U} K S_s = B_6 \sigma$$

$$O \bar{C}_s = c_4 \sigma$$

$$A K S_s = B_5 \sigma$$

formülleri ile hesaplanır.

Süreç standart sapması σ nın bilindiği durumda ortalama kontrol grafiğinin kontrol sınırları ise aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$\bar{U} K S_{\bar{X}} = \mu + A \sigma$$

$$O \bar{C}_{\bar{X}} = \mu$$

$$AKS_{\bar{x}} = \mu - A\sigma$$

Süreç standart sapması σ bilinmiyor ise, s kontrol grafiğinin kontrol sınırları süreçten alınan eşit büyüklükteki örneklerin standart sapmalarından yararlanılarak hesaplanan standart sapma tahmin değeri ile hesaplanabilir.

j. örneğin standart sapması s_j , $j = 1, 2, \dots, m$ olmak üzere, ortalama standart sapma;

$$\bar{s} = \frac{\sum_{j=1}^m s_j}{m}$$

olarak hesaplanır.

Kontrol sınırları ise aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanabilir:

$$B_3 = 1 - \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad \text{ve} \quad B_4 = 1 + \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad \text{olmak üzere;}$$

$$\bar{ÜKS}_s = B_4 \bar{s}$$

$$OÇ_s = \bar{s}$$

$$AKS_s = B_3 \bar{s}$$

Aynı durumda ortalama kontrol grafiğinin kontrol sınırları ise, $A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$ olmak üzere;

$$\bar{ÜKS}_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$$

$$OÇ_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}}$$

$$\ddot{U}KS_{\bar{x}} = \overline{\overline{X}} - A_3 \bar{s}$$

şeklinde belirlenir.

3.2.3. Niteliksel ölçüler için sık kullanılan kontrol grafikleri

Kusurlu oranı kontrol grafiği (p kontrol grafiği)

Kusurlu oranı kontrol grafiği (diğer adı ile p kontrol grafiği), niteliksel ölçüler için geliştirilen kontrol grafikleri arasında en yaygın olarak kullanım alanı bulan kontrol grafiğidir. Kusurlu oranı kontrol grafiği, bir sürecin kusurlu oranı dikkate alınarak oluşturulur. Kusurlu oranı ise, anakütlerde spesifikasyonları sağlamayan birimlerin sayısının anakütlerdeki birim sayısına oranı olarak tanımlanır (Burnak,1997). Anakütle ve alınan örnek için kusurlu oranının formülasyonu aşağıdaki gibidir:

N: Anakütlerdeki birim sayısı,

D: Anakütlerdeki kusurlu (spesifikasyonları sağlamayan)birim sayısı,

n: Örnekteki birim sayısı,

d: Örnekteki kusurlu (spesifikasyonları sağlamayan)birim sayısı olmak üzere;

$$p' = \frac{D}{N} \quad p = \frac{d}{n}$$

olarak belirlenir.

Kusurlu oranı kontrol grafiği oluşturulurken süreç çıktıları geçer – geçmez mastarı kullanılarak ya da başka bir biçimde muayene edilerek iki farklı sınıfa ayrılır. Arzu edilmeyen sınıfa giren çıktıların oranı p kontrol grafiği ile izlenebilir (Burnak, 1997).

Bir anakütledeki birimlerin iki farklı sınıfa ayrılabilirdiği durumlarda, bu sınıflardan birine yönelik olasılık işlemlerinde Binom dağılımından yararlanılır. Kusurlu oranı kontrol grafiği oluşturulmasında da Binom dağılımı ve ilgili varsayımlarından yararlanılır. İlgilenilen sürecin ya da anakütlenin kusurlu oranı p' iken, kusurlu oranının ortalaması ve varyansı, sırasıyla,

$$\mu = p' \qquad \sigma_{p'}^2 = \frac{p'(1-p')}{n}$$

olur. Kusurlu birim sayısı D' nin dağılımı da, n birimlik örnek alınması durumunda,

$$P(D = y) = p(y) = \begin{cases} \binom{n}{y} (p')^y (1-p')^{n-y}; y = 0, 1, 2, \dots, n \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

olan Binom dağılımı olur (Burnak, 1997).

Anakütle kusurlu oranı p' biliniyorken kusurlu oranı kontrol grafiğinin kontrol sınırları aşağıdaki gibidir:

$$\bar{U}KS_p = p' + 3 \sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}}$$

$$O\check{C}_p = p'$$

$$AKS_p = p' - 3 \sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}}$$

Anakütle kusurlu oranı bilinmiyorsa, bunun yerine, alınan örneklerden hareketle elde edilen kusurlu oranları ortalaması ($\bar{p}$) kullanılır.

m = Alınan örnek sayısı,

p_i = Alınan i . örneğin kusurlu oranı olmak üzere, örnek büyüklüğünün (n) sabit olduğu varsayımli altında;

$$B[\bar{p}] = p'$$

$$\hat{p}' = \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m}$$

olarak elde edilir.

$\bar{p}$ değeri kullanılarak, anakütle kusurlu oranı (p') bilinmiyorken kusurlu oranı kontrol grafiğinin kontrol sınırları aşağıdaki gibi elde edilir:

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

$$OC_p = \bar{p}$$

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

Bu kontrol sınırları kullanılarak oluşturulan kontrol grafiğine alınan örneklerin kusurlu oranı değerleri işaretlenip, yorumlama safhasına geçilir.

Kusurlu birim sayısı kontrol grafiği (np kontrol grafiği)

Bazı durumlarda kusurlu oranı yerine kusurlu birim sayısının saptanması uygulamada kolaylık sağlayabilir.

Sürecin beklenen kusurlu oranı p' biliniyorsa kontrol sınırları aşağıdaki şekilde oluşturulur:

n = Alınan örneklerin büyüklüğü (sabit bir sayı),

$n p'$ = Alınan örneklerdeki ortalama kusurlu ürün sayısı olmak üzere;

$$\bar{U} K S_{np} = n p' + 3 \sqrt{np'(1-p')}$$

$$O \bar{C}_{np} = n p'$$

$$A K S_{np} = n p' - 3 \sqrt{np'(1-p')}$$

Sürecin beklenen kusurlu oranının (anakütle kusurlu oranı) (p') bilinmediği durumda p' nün tahminleyicisi olan $\bar{p}$ kullanılarak kontrol sınırları aşağıdaki şekilde oluşturulur:

d_i = i. örnekteki kusurlu birim sayısı , $i = 1, 2, \dots, m$

p_i = i. örnekteki kusurlu oranı = $\frac{d_i}{n}$ olmak üzere;

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{mn} \quad \text{ya da} \quad \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m}$$

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

$$O \bar{C}_{np} = n \bar{p}$$

$$A K S_{np} = n \bar{p} - 3 \sqrt{n \bar{p}(1-\bar{p})}$$

olarak belirlenir.

Daha sonra, bu kontrol sınırları kullanılarak oluşturulan kontrol grafiğine, alınan örneklerin kusurlu ürün sayıları değerleri işaretlenip, yorumlama safhasına geçilir.

Kusur sayısı kontrol grafiği (c kontrol grafiği)

Bazı üretim süreçlerinde kusurlu ürünlerin yerine kusurların izlenerek sürecin incelenmesi daha uygun bir yol olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu gibi süreçlere iplik, kumaş, kablo, metal levha... vb üretim süreçlerini örnek olarak verilebilir. Kumaş üzerindeki boya hataları veya metal levhadaki çapaklar kusur olarak nitelenir ve bu kusurların sayısı (doğal etkenlerden başka etkenler sonucunda artmamış bir şekilde) kontrol altında tutulmak istendiğinde kusur sayısı kontrol grafiği (c kontrol grafiğini) kullanılır. Kusur sayısını kontrol etmek amacıyla geliştirilen kontrol grafikleri, ilgili varsayımlarıyla Poisson dağılımını temel alır. Muayene edilen birimdeki ortalama kusur sayısı $c' > 0$ olarak tanımlanırsa, karşı gelen Poisson dağılımının olasılık fonksiyonu, kusur sayısı c olmak üzere,

$$p(c) = \frac{e^{-c'} (c')^c}{c!} \quad c = 0, 1, 2, \dots$$

olmaktadır. Kusur sayısının standart sapması da $\sigma_c = \sqrt{c'}$ olur (Burnak, 1997).

Grafiğin kontrol sınırları şu şekilde belirlenir:

$c' =$ Kontrol edilen birimdeki ortalama kusur sayısı olmak üzere;

$$\bar{U}KS_c = c' + 3\sqrt{c'}$$

$$O\check{C}_c = c'$$

$$AKS_c = c' - 3\sqrt{c'}$$

Kontrol edilen birimdeki ortalama kusur sayısı ($\bar{c}$) bilinmiyorsa, örneklerin kusur sayılarından hareketle tahmin edilebilir.

c_i = i. örnekteki birimin / birimlerin kusur sayısı,

m = Örnek sayısı olmak üzere;

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m}$$

olarak belirlenir.

Bu durumda grafiğin kontrol sınırları ise şu şekilde belirlenir:

$$\bar{U}KS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$O\check{C}_c = \bar{c}$$

$$\bar{A}KS_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Birim için kusur sayısı kontrol grafiği (u kontrol grafiği)

Süreçten alınan örneklerin tek birimden oluştuğu durumlarda, örnekte gözlenen kusur sayısı (c) birim başına düşen kusur sayısı olarak da kullanılabilir (Birimlerin birbirinin aynısı olması koşuluyla). Fakat alınan örnekler birden fazla sayıda birimden oluşuyorsa ve kusurun oluşabileceği alan örnekten örneğe değişim gösteriyorsa veya başka bir deyişle örneklerdeki birim sayıları farklılık arz ediyorsa, bir birime düşen kusur sayısını temel alarak kontrol grafiği oluşturmak daha uygun bir yol olarak karşımıza çıkar.

n_i = i. örnekteki birim sayısı,

c_i = i. örnekteki toplam kusur sayısı,

u_i = i. örnekteki birime düşen ortalama kusur sayısı,

m = İncelenen süreçten alınan örnek sayısı,

$\bar{u}$ = Süreçteki ortalama birim başına düşen kusur sayısı olmak üzere;

$$u_i = \frac{c_i}{n_i} \quad \text{ve} \quad \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m}$$

olarak belirlenir.

Bu bilgilere bağlı olarak, birim için kusur sayısı kontrol grafiğinin kontrol sınırları ise aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\bar{u}KS_u = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$OC_u = \bar{u}$$

$$AKS_u = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

3.3. Diğer Kontrol Grafikleri

Yukarıda belirtilen niteliksel ve niceliksel Shewhart kontrol grafiklerinin dışında, bunlar kadar sık kullanılmayan başka kontrol grafikleri de mevcuttur. Bunlardan, sürekli üretim ortamında kullanılması uygun olan niceliksel ölçüler kontrol grafikleri aşağıda verilmiştir:

- 1) Değişim katsayısı kontrol grafiği
- 2) Birimler kontrol grafiği

- 3) Ortanca (Medyan) kontrol grafiği
- 4) Hareketli ortalamalar kontrol grafiği
- 5) Birikimli toplam kontrol grafiği
- 6) Regresyon kontrol grafiği
- 7) Ön kontrol grafiği

Kesikli üretim ortamında kullanılması uygun olan niceliksel ölçüler kontrol grafikleri aşağıdadır:

- 1) Resim toleransı kontrol grafiği
- 2) Çoklu değişkenlik kontrol grafiği
- 3) Kesikli ortalama ve değişim aralığı kontrol grafiği
- 4) Hedeften sapma kontrol grafiği
- 5) Nominalden sapma kontrol grafiği

BÖLÜM 4

YÜKSEK KALİTELİ SÜREÇLER İÇİN UYGUN KONTROL GRAFİKLERİ

Yüksek kaliteli süreçler günümüzün gelişen teknolojisi ile birlikte her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Yüksek kaliteli süreçlerin istatistiksel yöntemler kullanılarak en uygun şekilde nasıl inceleneceği konusu açıklık kazanması gereken bir konudur. İstatistiksel süreç kontrolünün önemli araçlarından biri olan kontrol grafiklerinin bu tür süreçlerde uygulanmasında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Yüksek kaliteli süreçlerde kullanımı uygun olan kontrol grafikleri bu bölümde incelenecektir.

4.1. Yüksek Kaliteli Süreçler

Süreç kusurlu oranının, bin parçada bir (parts per thousand – ppt) veya milyon parçada bir (parts per million - ppm) seviyelerinde gösterildiği süreçler yüksek kaliteli süreçler olarak adlandırılır. Kusurlu oranının bu derece düşük seviyelerde seyretmesi nedeni ile yaklaşık sıfır hatalı süreçler olarak da adlandırılırlar. Genellikle insan faktörünün daha kısıtlı kullanıldığı, otomatik ya da yarı otomatik işlemlerin bulunduğu süreçler yaklaşık sıfır hatalıdır. Elektronik eşya parçaları veya elektronik devre üretimi yüksek kaliteli süreçlere örnek olarak verilebilir. Bu tür bir sürecin daha da geliştirilmesi ilk bakışta imkânsız gibi görünse de, günümüzde bu konuda yapılan araştırmalar ve çalışmalar sayesinde aslında mümkün olduğu görülür. Önemli olan “İlk Seferinde Doğru Yap” ilkesinin yerine “Her Seferde Daha İyi Yap” felsefesinin benimsenmesi ve doğru araçlar kullanılmasıdır.

4.2. Yüksek Kaliteli Süreçlerde Niteliksel Ölçüler Kontrol Grafiği Uygulamalarının Getirdiği Sorunlar

Shewhart Kontrol Grafikleri basit uygulama olanağı ve süreç durumunu açıklayıcı bir şekilde belirleme özelliklerinden dolayı sıkça kullanılan tekniklerdir. Fakat bu tekniklerin uygulanmasında günümüz endüstrisinin hızla gelişen teknolojisi ve

devamlı artan sürekli gelişim ihtiyacı nedeni ile zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar özellikle niteliksel ölçüler kontrol grafiklerinde karşımıza çıkmaktadır. Aşağıda, Shewhart niteliksel ölçüler kontrol grafiklerinden kusurlu oranı ve kusurlu birim sayısı (p ve np) kontrol grafiklerinin yüksek kaliteli süreçler için kullanımındaki uygunsuzluklar açıklanmıştır:

1. Klasik p ve np kontrol grafikleri, verilerin (alınan örnek değerlerinin) normal dağıldığı yaklaşımı temeline kurulmuşlardır. Yüksek kaliteli bir süreçte olduğu gibi kusurlu oranının (p) çok küçük olduğu ve örnek büyüklüğünün yeterince büyük olmadığı durumlarda grafikten yanıltıcı sonuç alma olasılığı (yanlış uyarı olasılığı) çok artacaktır. Çizelge 4.1' de kusurlu oranı (p) çok küçük bir değer olduğunda verilen örnek büyüklüklerine (n) göre np kontrol grafiği için yanlış uyarı olasılıkları (süreç kontrol altında iken bir noktanın kontrol sınırları dışına düşmesi sonucu sürecin kontrol dışı olarak görülmesi olasılığı) verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kusurlu oranı çok küçük bir değer olduğunda verilen örnek büyüklüklerine göre kusurlu birim sayısı (np) grafiği için yanlış uyarı olasılıkları (Xie ve diğerleri, 2002)

p	$n=5$	$n=10$	$n=20$	$n=50$	$n=100$
0,01	0,952	0,9086	0,8189	0,6066	0,3695
0,02	0,9078	0,8179	0,6747	0,3674	0,1367
0,03	0,8672	0,7402	0,5465	0,2218	0,0508
0,04	0,816	0,671	0,4494	0,1335	0,0191
0,05	0,7749	0,5998	0,3611	0,0801	0,0074
0,06	0,7359	0,5406	0,2957	0,048	0,0047
0,07	0,6988	0,4876	0,2362	0,0287	0,0023
0,08	0,6636	0,4402	0,1925	0,0171	0,0026
0,09	0,6304	0,3904	0,1529	0,0103	0,0015
0,1	0,591	0,3503	0,124	0,0084	0,0023

2. Yüksek kaliteli süreçlerde kusurlu oranının (p) gerçekte oluşan dağılımı normal dağılıma uymayacağı için, normal dağılım yaklaşımı ile oluşturulan kontrol sınırları (3σ kontrol sınırları) sürecin gerçek durumunu tanımlayamayacak ve

süreç karakteristiğindeki değişkenliği kesin olarak belirleyememe olasılığı yükselecektir. Ayrıca yanlış uyarı olasılığının yüksekliği yüzünden doğru işaretler de gözden kaçırılabilir.

3. Bir diğer uygunsuzluk da yaklaşık 0 hata ile çalışılan yüksek kaliteli bir süreçte kusurlu oranının düşüklüğünden dolayı alt kontrol sınırının 0 dan küçük değerlerde çıkacak olmasıdır. Bu durum ise grafik gösterimi açısından gerçekçi olmayacaktır (gerçek dışılık durumu).
4. Örnek büyüklüğünün çok yüksek olmadığı durumlarda kusurlu oranı çok düşükse, üst kontrol sınırı 1 den küçük bir değer olacaktır. Bu durumda ise sadece 1 adet kusurlu içeren her örnek yanlış uyarıya neden olabilecektir. Bu da grafik kullanıcısı açısından elverişsiz bir durum olacaktır (anlamsızlık durumu).

Çizelge 4.2' de bu uygunsuzluklardan bazıları örneklendirilmiştir. Çizelgede, yüksek kaliteli bir sürece ait olabilecek düşük bir kusurlu oranı ve belirli bir örnek büyüklüğü değerinden hareketle kusurlu oranı kontrol grafiği (p kontrol grafiği) ve kusurlu birim sayısı kontrol grafiği (np kontrol grafiği) için kontrol sınırları verilmiştir.

Çizelge 4.2: $p = 0,002$ ve $n = 50$ için kusurlu oranı (p) ve kusurlu birim sayısı (np) kontrol grafiklerinin kontrol sınırları

Kontrol Grafiği	ÜKS	OÇ	AKS
p	0,02	0,002	- 0,017
np	0,72	0,1	- 0,62

Her iki kontrol grafiğinde de alt kontrol sınırları sıfırdan küçük değerlerde çıkmıştır (gerçek dışılık durumu). np kontrol grafiğinin üst kontrol sınırının 1 den küçük bir değerde çıkması ise anlamsızlık durumuna bir örnektir.

p kontrol grafiği için pozitif değerde bir alt kontrol sınırı elde edilmek isteniyorsa, örnek büyüklüğü n ve kusurlu oranı p olmak üzere;

$$p - 3\sqrt{p(1-p)/n} > 0$$

eşitsizliği sağlanmalıdır

Eğer bu eşitlik kullanılmakta olan örnek büyüklüğü (n) değeri için sağlanmıyorsa alt kontrol sınırı sıfırdan küçük çıkacaktır. Süreçteki kusurlu oranının alt kontrol sınırı altına düştüğü gözlemlendiğinde sürecin gelişme göstermiş olarak değerlendirilebileceği açıktır. Bu durumda ise alt kontrol sınırı sıfırdan küçük bir değeri çıktığında süreçteki oluşabilecek gelişimlerin de gözlenemeyeceği görülmektedir.

Örneğin, örnek büyüklüğü 50 olduğunda, yukarıdaki eşitsizliğin sağlanabilmesi için yapılan işlemler sonucunda;

$$50p > 9 - 9p$$

olmaktadır. Bu eşitsizlik p için çözüldüğünde, alt kontrol sınırının sıfırdan büyük bir değeri olabilmesi için, p değeri 0,15' den büyük olması gerektiği görülecektir.

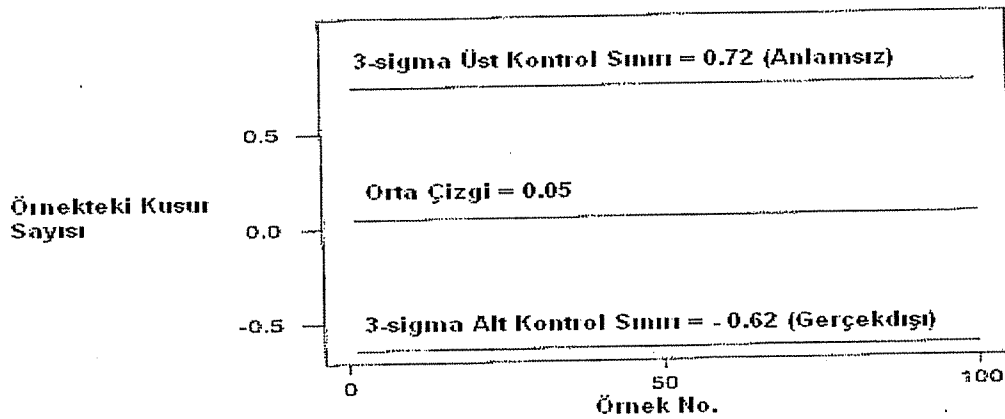
Kusurlu oranının %15 den büyük olduğu bir süreç ise çok düşük kaliteli bir süreçtir. Buradan da görülmektedir ki yüksek kaliteli bir süreçte p veya np kontrol grafiğinde alt kontrol sınırı sıfırdan küçük çıkacak ve dolayısıyla bu grafikler süreç gelişimini tanımlamada yetersiz kalacaklardır.

p kontrol grafiği düşük kusurlu oranına sahip süreçlerde kullanıldığında alt kontrol sınırının sıfırdan büyük olabilmesi için alınabilecek tek önlem örnek hacminin artırılması olacaktır. Bu ise çoğu durumda uygun olmayabilir.

Benzer sorunlar kusur sayısı ve birim için kusur sayısı (c ve u) kontrol grafiklerinin kullanımında da karşımıza çıkmaktadır. $\bar{c}$ (ortalama kusur sayısı) çok küçük olduğundan (örneğin $\bar{c} \leq 0,09$) üst kontrol sınırı 1 den küçük çıkacak ve bu da uygulama da anlamsızlık yaratacaktır.

Bir örnekteki kusur sayısı poisson dağılımına uygunluk gösterir. $\bar{c}$ nın çok küçük değerlerinde poisson dağılımı yaklaşımı yeterince duyarlı bir şekilde çalışmayacaktır. Poisson dağılımının normal dağılıma yaklaşımı yalnızca c nin oldukça büyük değerlerde olması durumunda ($c > 5$) uygun olmaktadır. Yüksek kaliteli süreçlerde beklenen kusur sayısı genelde bu rakamdan çok daha düşük rakamlarda oluşmaktadır. Üst kontrol sınırının 1 değerine yuvarlanmasının uygun olabileceği düşünülse de bu, yanlış uyarı olasılığını azaltmayacaktır.

Şekil 4.1' de bir kusurlu birim sayısı kontrol grafiği (c kontrol grafiği) üzerinde anlamsızlık ve gerçek dışılık durumları örneklendirilmiştir.



Şekil 4.1: c kontrol grafiğinde anlamsız ve gerçek dışı kontrol sınırları (Xie ve diğerleri, 2002)

4.3. Kalite Gelişimi Gereksinimi

Shewhart Kontrol Grafiklerinin süreç karakteristiğindeki değişimleri ve bu değişimlere neden olan özel sebepleri bulup bu sebeplerin kaynaklarını araştırma şeklindeki bakış açısı sürekli gelişim ve süreçlerde sürekli azalan kusurlu oranı gereksinimi ön plana çıkararak modern yaklaşımla ters düşmektedir.

Kontrol grafikleri, süreç davranışında oluşan kötüleşmeleri belirleyerek potansiyel zararın etkisini azaltma veya zararı önleme yeteneğine sahiptir ki bu süreç performansının devamını sağlar. Bu yüzden, kontrol grafiği kullanıcılarının dikkati performans kötüleşmelerine dönüktür. Fakat üst yönetim bakış açısından bakılırsa kontrol dışı olma durumları cinsinden süreç gelişiminin belirlenmesi en az süreç performansı düşüklüklerinin belirlenmesi kadar önemli olacaktır. Bu gelişim, süreç istikrarının, alt süreçlerin gelişiminin veya öğrenilmiş etkilerin sonucu olarak karşımıza çıkar.

İstatistiksel süreç kontrolü kalite gelişimi denemelerinde önemli rol oynamaktadır ve oynamalıdır. Tek yapılması gereken, süreçteki hasarların önlenmesi noktasına değil, süreç gelişimi potansiyelinin belirlenmesi ve gelişim için gerekli olan gücün canlı tutulması noktasına odaklanılmasıdır.

Yüksek kaliteli süreçlerde sürecin özelliklerinin görüntülenmesi teknikleri temel olarak aynı olabilir fakat böyle süreçlerin incelenmesinde ortaya çıkabilecek birkaç probleme dikkat etmek gerekmektedir. Bunlar, uygulanacak kontrol grafiği tekniği ve kullanılan yaklaşımın süreç gelişiminin belirlenmesine izin verecek şekilde değiştirilmesi ile ilgili problemler olacaktır.

Yüksek kaliteli bir sürecin sürekli gelişimi kolay anlaşılmayan ve zor bir konu olmasına rağmen günümüz artan rekabet piyasasında önemli bir konudur. Bir işletmenin sürekli gelişim konusunda yaşayacağı başarısızlık onun rekabet gücünde gerileme anlamına gelecektir.

Yapılan bir miktar üretimden sonra, süreç kusurlu oranının gözle görülür bir şekilde azaldığı gözlemleniyorsa, süreç gelişme göstermiş olarak değerlendirilebilir. Konuyla ilgili birçok temel kaynakta, bu şekilde gelişim gösteren süreçlerin incelenmesi ile ilgili önerilerde bulunulmuş fakat bu öneriler genellikle yeni kontrol sınırları hesaplanması üzerine odaklanmış öneriler olmuştur. Geleneksel kontrol grafiklerinde bu gelişimin ilk anda belirlenebilmesi bir sorun, belirlense bile daha önce belirtilen nedenlerden dolayı gerekenin yapılıp yapılamayacağı ayrı bir sorundur. Geleneksel kontrol grafiklerinin, kusurlu oranı çok düşük olduğunda, süreç gelişimini belirlemedeki başarısızlığı ve uygulama zorlukları bu çalışmayı modern kalite yönetimi açısından önemli kılan unsurlardır.

4.4. Olasılığa Dayalı Olarak Oluşturulan Kontrol Grafikleri

Süreç karakteristiği normal dağılım özellikleri göstermiyor ise, daha önce de belirtilen problemlerin yaşanmaması için, geleneksel 3σ kontrol grafikleri yerine olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafikleri kullanılır.

Olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafikleri, yanlış uyarı olasılığının kabul edilebilir bir değere sabitlenmesi ile elde edilir. Süreç karakteristiğinin gerçek dağılımı biliniyor ise kontrol sınırlarını hesaplamak kolay olacaktır. İzleyen alt başlıklarda, olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafiklerinin yüksek kaliteli süreçler için kullanımı üzerinde durulacaktır.

4.4.1. Olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafiklerinin kullanımı

Kontrol grafiği oluşturulurken 3σ kontrol sınırları kullanıldığında yanlış uyarı olasılığı %0,27 olmaktadır. Grafik kullanıcısı belirli bir güven seviyesinde karar vermek istiyorsa alt ve üst kontrol sınırlarını bu güven seviyesine göre Shewhart 3σ kavramında belirlemelidir.

Bir örnekteki sağlam ürünlerin veya tersi olarak kusurların sayısı sırasıyla, Binom veya Poisson dağılımları ile gösterilebilir. 3σ kontrol limitleri yaklaşımında bu

dağılımların normal dağılıma yaklaşımı kullanılmaktadır. Fakat örnek büyüklüğü az olduğunda bu yaklaşımda sorunlar ortaya çıkmaktadır. Yüksek kaliteli bir süreçte normal dağılım yaklaşımı genelde uygun değildir ve yanlış uyarı olasılığını azaltmak için olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafiklerinin kullanımı uygun olacaktır. Farklı ortalama kusurlu oranı düzeylerinde, olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol sınırlarının kullanılması ile yanlış uyarı olasılığı uygun seviyesine ayarlanarak sorunlar kolayca çözülebilir. Bu bölümde bazı problemlere ışık tutulacak ve olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol grafiklerinin kullanımı ile neler yapılabileceği gösterilecektir.

4.4.2. Olasılığa dayalı kontrol grafiklerinin oluşturulması

Olasılığa dayalı bir kontrol grafiği oluşturmak ancak kalite karakteristiğinin dağılımı kesin olarak biliniyor veya tahmin edilebiliyor ise kolaydır. Olasılık kontrol sınırlarının kullanımını standart kontrol sınırlarının kullanımından ayıran özellik daha basit bir şekilde hesaplanabilen 3σ kontrol sınırlarının yerine gerçek dağılımın ve olasılık kontrol sınırlarının kullanımıdır.

Belirtilen tür bir kontrol grafiğini oluşturmaya başlamadan önce kabul edilebilir bir yanlış uyarı olasılığı seviyesi belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu değer α ile gösterilecektir. Normal dağılım varsayımı ile kurulan 3σ kontrol sınırları için bu olasılık 0,0027'dir. α belirlendikten sonra olasılık sınırları ile kontrol grafiği oluşturma adımları standart kontrol grafiği oluşturma adımları ile aynıdır. Tek fark alt ve üst kontrol sınırlarının hesaplanması aşamasında oluşmaktadır. Burada alt ve üst kontrol sınırları, bir gözlem değerinin üst kontrol sınırının altında çıkması olasılığı $(1 - \alpha/2)$ ve bir gözlem değerinin alt kontrol sınırının altında çıkması olasılığı $(\alpha/2)$ göz önüne alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

Z : Grafiğe işaretlenecek ölçüm değeri,

$F(Z)$: Z nin birikimli dağılımı,

Z_L : Alt olasılık kontrol sınırı,

Z_U : Üst olasılık kontrol sınırı olmak üzere;

$$P(Z \leq Z_L) = F(Z_L) = \alpha/2 \quad \text{ve} \quad P(Z \leq Z_U) = F(Z_U) = 1 - \alpha/2$$

eşitliklerinin çözümü ile Z_L ve Z_U değerleri bulunur.

4.4.3. Binom ve Poisson dağılımlarını temel alan kontrol grafikleri için olasılığa dayalı kontrol sınırları

Bu bölümde öncelikle np (kusurlu sayısı) kontrol grafiği için olasılığa dayalı kontrol sınırlarının oluşturulması üzerinde durulacaktır. p (kusurlu oranı) kontrol grafiği hesaplamaları da buna benzerdir.

T , kusurlu ürün sayısı ve k belirli bir sayı olmak üzere kontrol sınırları, $P(T < k)$ ve $P(T > k)$ olasılıkları temel alınarak belirlenir. Örnek büyüklüğünün tüm örneklerde sabit olduğu varsayılacaktır. Kontrol sınırlarını oluşturmak için hesaplanması gereken olasılık fonksiyonları Binom dağılımından yararlanılarak,

$$P(T = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, k = 0, 1, \dots, n$$

$$P(T \leq k) = \sum_{i=0}^k \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}, k = 0, 1, \dots, n$$

olacak şekilde belirlenir.

Normal dağılım temelinde kurulan klasik 3σ kontrol sınırları için yanlış uyarı olasılığı 0,0027 idi. Bu yanlış uyarı üst ve alt kontrol sınırlarının ikisinden birden kaynaklanabileceğine göre bu rakam sadece üst kontrol sınırı için 0,00135 olacaktır.

Buna göre güven seviyesi ise, 0,99865 (%99,865) olur (Güven seviyesi = $1-\alpha/2 =$ Herhangi bir gözlem değerinin üst kontrol sınırının altında çıkması olasılığı). Böylece üst olasılık sınırı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir:

$$\sum_{i=0}^k \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} = 0,99865$$

Yukarıdaki eşitliği sağlayan en uygun k değeri üst olasılık sınırı olarak belirlenir. Alt olasılık sınırı için k değeri ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$\sum_{i=0}^k \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} = 1 - 0,99865 = 0,00135$$

Yukarıdaki eşitliği sağlayan en uygun k değeri ise alt olasılık sınırı olur.

Bu hesaplamalar için istatistiksel tablolar mevcuttur. Fakat birçok tabloda olasılıklar yalnızca küçük n değerleri için verilmiştir. Çizelge 4.3' de bazı örnek büyüklükleri (n) ve kusurlu oranları (p) için k değerleri alt olasılık sınırı olarak kullanılmak üzere verilmiştir. Çizelgede bulunan alt olasılık sınırı (k) değerleri;

$$enk \left\{ k : \sum_{i=0}^k \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \leq 0.00135 \right\}$$

denklemini kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3: Bazı örnek büyüklüğü (n) ve kusurlu oranı (p) birleşimleri için alt olasılık sınırı (k) değerleri (Xie ve diğerleri, 2002)

n	Kusurlu Oranı, p						
	0,1	0,08	0,06	0,05	0,04	0,02	0,01
100	1	0	*	*	*	*	*
150	4	2	0	*	*	*	*
200	7	5	2	1	0	*	*
250	11	7	4	3	1	*	*
300	15	10	6	4	2	*	*
350	18	13	8	6	3	0	*
400	+	16	10	7	5	0	*
450	+	+	12	9	6	1	*
500	+	+	14	11	7	1	*
550	+	+	17	12	9	1	*
600	+	+	+	14	11	2	*
650	+	+	+	16	11	3	*
700	+	+	+	18	13	3	0
750	+	+	+	+	14	4	0
800	+	+	+	+	16	5	0
850	+	+	+	+	17	5	1
900	+	+	+	+	18	6	1
950	+	+	+	+	+	6	1
1000	+	+	+	+	+	7	1

* = Çözüm yok (Bu şartlarda gelişim tespiti mümkün değildir)

+ = np değeri klasik 3σ kontrol sınırlarının kullanılması uygun olacak kadar büyük bir değerdir (np > 25)

np değeri yeterince büyük olursa binom dağılımının normal dağılıma yaklaşımı kullanılabileceğinden, klasik kontrol sınırlarının kullanımı uygun olacaktır. np çok düşük olursa da, bir örneğe dayanarak hiçbir kontrol grafiği çizilemeyecektir.

c kontrol grafiği için de problem benzerdir. Sürecin kontrol dışı olarak değerlendirilmesi için gereken kusur sayısı k olmak üzere, tek taraflı (üst) sınıra dayanarak hesaplama yapmak istenirse aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$P(\text{Örnekte } k \text{ veya daha fazla kusur olması}) < \alpha$$

Hesaplama tek taraflı yanlış uyarı olasılığı kullanılmıştır ($\alpha/2$ yerine α kullanılmıştır) çünkü bir örnekteki kusur sayısı alt olasılık sınırının altında çıkarsa süreç kontrol dışı değil gelişmiş olarak görülecektir. Bu durumda yanlış uyarı yalnızca üst kontrol sınırı üzerinde çıkan değerler için verilebilecektir.

Kusur sayısı c parametresi ile Poisson dağılır. c kontrol grafiği için üst kontrol sınırı ise şu eşitsizliği sağlayan en küçük k değerinin hesaplanması ile bulunabilir;

$$\sum_{i=0}^{k-1} \frac{e^{-c} c^i}{i!} > 1 - \alpha$$

k küçük bir tamsayı olacağından bu eşitsizlik kolayca çözülebilir. Çizelge 4.4'de bazı ortalama kusur sayıları ve yanlış uyarı olasılıklarına göre hesaplanmış üst olasılık sınırı değerleri verilmiştir. Süreçten elde edilen bir değer tablo değerinin altına düşerse bu süreç gelişmiş bir süreç olabilir. Bu gelişimin nedenleri bulunmalı ve devam ettirilmelidir.

Çizelge 4.4: Bazı ortalama kusur sayıları (c) ve yanlış uyarı olasılıklarına (α) göre hesaplanmış üst olasılık sınırı değerleri (Xie ve diğerleri, 2002)

c	α				
	0,00135	0,0027	0,005	0,01	0,05
0,1	3	3	2	2	2
0,2	3	3	3	3	2
0,5	4	3	3	3	2
1	5	5	4	4	3
1,5	6	6	5	5	4
2	7	7	6	6	5
2,5	8	8	7	7	5
3	9	9	8	8	6
4	11	11	10	9	6
5	13	12	12	11	9

4.4.4. Süreç iyileşmesinin belirlenmesinde olasılığa dayalı kontrol sınırları

Kontrol grafikleri genelde sürecin gözlemlenmesi ve eğer beklenenden daha kötü bir performans gösteriyorsa kontrol dışı olarak yargılanması için kullanılır. Daha sonra süreç için gerekli düzeltmeleri yapmak için gereken hareketler başlatılmalıdır. Fakat bu mantıkla süreç beklenenden daha iyi bir performans sergilediğinde de kontrol dışı olarak değerlendirilebilir. Sürekli gelişim modern kalite yönetiminin yapı taşlarından ve bu yüzden bu tür bir olay gözden kaçırılmaması gereken değerli bir fırsat olmaktadır.

Gelişim genelde alt kontrol sınırı ile ilgilidir ve bir nokta alt kontrol sınırının altına düştüğünde (özellikle niteliksel ölçüler kontrol grafiklerinde) süreçte bir gelişimin gözlemlendiği düşünülür.

3σ alt kontrol sınırında genel problem (niteliksel ölçüler kontrol grafikleri için), bu sınırın genelde sıfırdan küçük bir değer çıkmasıdır. Böyle durumlarda, pratik olarak, alt kontrol sınırı görmezden gelinir veya 1'e eşitlenir. Bu durumda ise herhangi bir gelişim tespiti yapılamaz. Uygun olasılık kontrol sınırlarının kullanılması ile örnek büyüklüğü de yeterince büyükse, bu problem çözülebilir.

Gerçekte süreçte sıfır hatalı bir örnek oluştuğunda, bu bize, sürecin beklenenden daha iyi olması durumundan dolayı, sürecin kontrol dışı olup olmadığı konusunda yorum yaptırabilir. Oluşan herhangi bir gelişimin belirli bir güven seviyesinde belirlenebilir olması arzu edilen bir durumdur. Verilen belirli bir kusurlu oranına dayanılarak bir süreç gelişiminin belirlenebilmesi için gerekli olan en az örnek büyüklüğü belirlenebilir.

Kusurlu oranı p olmak üzere n büyüklüğünde bir örnekte hiç kusurlu ürün bulunmaması olasılığı;

$$P(n \text{ adet üründe hiç kusurlu olmaması}) = (1-p)^n$$

eşitliği ile hesaplanır.

Bu olasılıktan yola çıkılarak, bir süreç gelişimini belirlemek için alınması gereken en az örnek büyüklüğü (n), bilinen kusurlu oranı (p) ve yanlış uyarı olasılığından (α) hareketle belirlenebilir. Yapılan işlemlerden sonra n değeri;

$$n = \frac{\ln \alpha}{\ln(1 - p)}$$

olarak bulunur (Xie ve diğerleri, 2002).

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmış bazı n değerleri Çizelge 4.5' de verilmiştir. Bu çizelgede aynı zamanda, kusurlu oranı p olduğu zaman, n büyüklüğündeki bir örnekte hiç kusurlu ürün olmaması olasılığının da verildiği bilinmelidir.

Çizelge 4.5: Süreç kusurlu oranı p olduğunda, belirli bir yanlış uyarı (α) seviyesinde süreç gelişimini belirleyebilmek için gerekli olan örnek büyüklükleri (Xie ve diğerleri, 2002)

P	α						
	0,001	0,00135	0,0027	0,005	0,01	0,02	0,05
0,005	1379	1319	1180	1057	919	781	598
0,01	688	658	589	528	459	390	299
0,015	458	438	392	351	307	259	199
0,02	342	328	293	263	228	194	149
0,025	273	261	234	210	184	155	119
0,03	227	217	195	174	152	129	99
0,04	170	162	145	130	116	96	74
0,05	135	129	116	104	93	77	59
0,06	112	107	96	86	75	64	49
0,07	96	92	82	74	65	54	42
0,08	83	80	71	64	56	47	36
0,09	74	71	63	57	49	42	32
0,1	66	63	57	51	44	37	29
0,15	43	41	37	33	29	25	19
0,2	31	30	27	24	21	18	14
0,25	24	23	21	19	17	14	11
0,3	20	19	17	15	13	11	9

4.4.5. Olasılığa dayalı kontrol sınırlarının kısıtlamaları

Olasılığa dayalı olarak oluşturulan kontrol sınırlarının yaygın kullanım alanı bulamamasının nedenleri ve bu tür kontrol sınırlarının olumsuz yönleri aşağıda açıklanmıştır:

- 1) Olasılık sınırlarının kullanımı süreç kontrolü için yaygın bir araç değildir.
- 2) Sürecin altında yatan özel karakteristikleri araştırmak gerekir, kontrol sınırlarının belirlenmesi bu ölçümlere bağlıdır.
- 3) Özellikle normal dağılmış veri topluluklarında ve özellikle kusurlu sayısı (np) ve kusur sayısı (c) kontrol grafikleri için kullanımında bazı kısıtlamalar vardır:
 - Örnek büyüklüğünün pratik olarak çok yüksek değerlere çıkarılması zor olduğu için, süreç kalitesinde bir gelişim gözlemlendiğinde, alt kontrol sınırının sıfırdan küçük olması hala kaçınılmaz olacaktır.
 - Süreç çok yüksek kaliteli olduğunda 3σ kontrol sınırlarında olduğu gibi üst kontrol sınırı 1 den küçük olacaktır. Bu durumda herhangi bir kusurlu ürün veya kusur, sürecin kontrol dışı olduğunu gösterebilecektir. Bu da kontrol grafiği kullanıcıyı memnun etmeyecek bir durumdur.
- 4) Geleneksel kontrol grafiklerinde (p , np , c ...vb) tek bir örnekten alınan bilgi kullanılarak sürecin beklenenden daha iyi performans gösterip göstermediğini anlamak (özellikle kusurlu oranı çok düşük ve örnek hacmi küçükse) pek mümkün olmayacaktır. Bu durumun alternatifi olan çözümler izleyen başlıklarda açıklanacaktır (Alınan ardışık kusursuz örnek sayısından yola çıkarak grafik oluşturmak gibi...).
- 5) Diğer bir problem de olasılık sınırlarının genellikle simetrik olmayışından kaynaklanmaktadır. Karar vericiler genelde, verilerin düzgün bir şekilde işaretlenip işaretlenmediğini veya grafiğin iyi yapılandırılıp yapılandırılmadığını

kontrol etmek için simetrik sınırlar ile çalışmak isterler. Asimetrik bir dağılım için simetrik kontrol sınırlarının kullanımı yanıltıcı olacağı için uygulamada sorun oluşur. Bazı durumlarda verinin uygun bir şekilde dönüşümü ile sınırlar daha az simetrik olabilirler.

Yukarıda belirtilen sorunlardan ötürü yüksek kaliteli süreçlerin izlenmesinde yeni bir yaklaşım gerekmektedir. Çalışmanın izleyen kısmında geleneksel kontrol grafiği yaklaşımı yerine alternatif bir yaklaşım olan 2 kusurlu ürün arasındaki hatasız ürünlerin sayılmasına dayanan yaklaşımlar tartışılacaktır. Tüm olumsuzluklarına rağmen kontrol grafiklerinde olasılık sınırlarının kullanımının kontrol grafiklerini geliştirmede kullanılıp kullanılmayacağı tartışmaya açık bir konudur. Olasılık sınırlarının kullanımı, kullanıcıya, grafik sinyallerinin uygun yorumlanabilmesi için olanak sağlar (özellikle verilerin gerçek dağılımına uygun olarak kurulduğu için) ki bu da uygulama kolaylığı demektir.

4.5. Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiği

Günümüzde, birçok sürecin incelenebilmesi ve geliştirilebilmesi için kullanılabilirliğini koruyan Shewhart Kontrol Grafiklerinin, yüksek kaliteli süreçler için kullanılmasında bazı sakıncalar doğduğu daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Söz edilen sakıncaların giderilerek böyle süreçlerin incelenebilmesi için değişik yollar sunulmuştur. Sunulan yollardan biri de Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiğinin (Cumulative Count Of Conforming Control Chart – CCC Chart) kullanımıdır. İlk olarak Calvin (1983) kusurlu ürünler arasındaki sağlam ürünlerin sayısının temel alındığı bir kontrol grafiğinin kullanımını önermiştir. Daha sonra bu düşünce Goh (1987) tarafından bir kontrol grafiği tekniği olarak geliştirilmiş ve yukarıdaki gibi isimlendirilmiştir.

Birikimli Hatasız Ürün Sayısı (BHÜS) Kontrol Grafiklerinde, alınan örneklerdeki iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı temel alınarak karar verilmeye çalışılır. Bu tür kontrol grafikleri, iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı büyük miktarlarda olduğunda yani süreç kusurlu oranı düşük olduğunda

kullanışlıdır. Herhangi bir süreçte, kusurlu oranında bir değişiklik olduğunda, iki ardışık kusurlu ürün arasında üretilen sağlam ürün sayısı da değişir. Yaklaşık sıfır hatalı süreçlerde kusurlu oranı (p) çok küçük olacağından süreç gelişimlerinin gözlemlenmesi zordur. İki ardışık kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısının gözlemlenerek karar verilmesi, gelişimleri gözleyebilmek adına da yararlı bir yol olacaktır.

İki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı azaldıkça süreç daha fazla kusurlu ürün üretmeye başlıyor demektir ve böyle bir durumda sürecin kontrol dışı olma olasılığı artmıştır denilebilir. İki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı artış eğiliminde ise süreç gelişme gösteriyor olabilir.

Belirtilen tip kontrol grafikleri sürekli üretim yapılan ortamlarda da (üretim miktarının hacim, ağırlık, boy... vb ölçüler ile ölçüldüğü ortamlar) kullanılabilir. Bu durum izleyen bölümlerde açıklanacaktır.

4.5.1. Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin oluşturulması

Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin oluşturma prosedürü Shewhart kontrol grafiklerine benzerdir. Fakat Shewhart kontrol grafiklerinden farklı olarak bu tür kontrol grafiklerinde süreç karakteristiği ölçüsü, iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısıdır. Grafiği oluşturmak için süreçten belirli zaman aralıkları ile örnekler alınır ve bu örneklerde bir kusurlu ürüne rastlanıncaya kadar sağlam ürünler sayılır. Bulunan her kusurlu üründen sonra aynı işlem tekrarlanır. Grafiğe işaretlenen değerler bu sağlam ürün sayılarıdır. Kontrol grafiğine işaretlenen her bir nokta bir örnektir ve bu noktaların her biri bir kusurlu ürünün bulunmasına karşı gelir.

Kontrol sınırları da, Shewhart Kontrol Grafiklerinden farklı olarak, belirli bir yanlış uyarı olasılığına, sürecin dağılımına ve süreç kusurlu oranına bağlı olarak oluşturulur. Süreçten alınan $n-1$ adet sağlam parçadan sonra n . parçanın kusurlu olarak alınması geometrik dağılıma uyan bir durum olduğu için bu tür kontrol grafiklerinde, kontrol sınırları geometrik dağılıma göre oluşturulur. Kontrol sınırları büyük ölçüde asimetrik çıkacağı için grafikte logaritmik ölçek kullanılması uygun olacaktır.

Belirtilen tür grafiklerinin yorumlanması da geleneksel yöntemden farklıdır. Süreç yalnızca, herhangi bir örnek değeri alt kontrol sınırının altında ise kontrol dışı olarak değerlendirilebilir. Çünkü böyle bir durumda iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı kritik seviyede azalmış, kusurlu oranı artmış demektir. Böyle bir durumda süreç beklenenden daha kötü performans gösteriyordur ve sürecin düzeltilmesi için gereken önlemler alınmalıdır. Diğer durum, örnek değerinin üst kontrol sınırının üzerinde çıkması, sürecin kontrol dışında olduğunun değil, sürecin iyileşme gösterdiğinin bir kanıtı olabilmektedir, çünkü iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı artmıştır ki bu da süreç kusurlu oranının azalma eğiliminde olduğu sinyalini verir ve iyi bir gelişmedir. Bu durumda ise, sağlanan iyileşmenin devam ettirilmesi için gerekli olan bilgi araştırılmalıdır.

BHÜS kontrol grafiklerinde kontrol sınırlarının geometrik dağılıma göre oluşturulduğu belirtilmişti. Bu dağılımın özelliklerine göre, süreçten alınan kusurlu bir parçadan sonra $n-1$ adet sağlam parça alınması olasılığı;

$$P(\text{Bir kusurlu parçadan sonra } n-1 \text{ adet sağlam parça alınması}) = p(1-p)^{n-1}$$

olarak belirlenir. Kontrol sınırları bu olasılık değerinden hareketle hesaplanmaktadır.

Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiklerinin kontrol sınırlarının oluşturulmasında Maclaurin serisinden hareketle elde edilen aşağıdaki kuraldan yararlanılır:

$$1 + a + a^2 + a^3 + \dots + a^n = \frac{1 - a^{n+1}}{1 - a} \quad a \neq 1 \text{ ve } a \in R$$

Alt Kontrol Sınırının Oluşturulması

Süreçten alınan bir parçanın kusurlu çıkması olasılığı “p” ve kabul edilebilir yanlış uyarı olasılığı α olmak üzere birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin alt

kontrol sınırı izleyen işlemlerle oluşturulmaktadır. Herhangi bir gözlem değerinin alt kontrol sınırı altında çıkması olasılığı $P(X \leq AKS)$ olmak üzere;

$$P(X \leq AKS) = \sum_{x=1}^{AKS} (1-p)^{x-1} p = p(1 + (1-p) + (1-p)^2 + (1-p)^3 + \dots + (1-p)^{AKS-1})$$

$$= p \frac{1 - (1-p)^{AKS}}{1 - (1-p)} = 1 - (1-p)^{AKS} = \alpha/2$$

$$(1-p)^{AKS} = 1 - \alpha/2$$

$$\ln((1-p)^{AKS}) = \ln(1 - \alpha/2)$$

$$AKS \ln(1-p) = \ln(1 - \alpha/2)$$

$$AKS = \frac{\ln(1 - \alpha/2)}{\ln(1-p)}$$

şeklinde elde edilir.

Üst Kontrol Sınırının Oluşturulması

Benzer bir yaklaşımla üst kontrol sınırı;

$$P(X > \check{U}KS) = 1 - P(X \leq \check{U}KS) = 1 - (1 - (1-p)^{\check{U}KS}) = (1-p)^{\check{U}KS} = \alpha/2$$

$$\ln((1-p)^{\check{U}KS}) = \ln(\alpha/2)$$

$$\check{U}KS \ln(1-p) = \ln(\alpha/2)$$

$$\ddot{U}KS = \frac{\ln(\alpha/2)}{\ln(1-p)}$$

olarak belirlenir.

Geometrik dağılımın parametresi p olmak üzere;

$$\text{Grafiğin orta çizgisi} = O\check{C} = 1/p$$

olarak elde edilmektedir.

Grafiğin orta çizgisinin oluşturulması için 2. yol

Herhangi bir gözlem değerinin orta çizgi altında veya üstünde olması olasılığı;

$$P(X > O\check{C}) = P(X < O\check{C}) = 1 - (1-p)^{O\check{C}} = (1-p)^{O\check{C}} = 1/2 \text{ olmak üzere;}$$

$$O\check{C} \cdot \ln(1-p) = \ln(1/2)$$

$$O\check{C} = \frac{\ln(1/2)}{\ln(1-p)} \approx \frac{-0,6931}{\ln(1-p)}$$

olarak belirlenir. (Goh, 1987)

4.5.2. Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin yorumlanması

Grafiğe işaretlenen bir veya daha fazla değer üst kontrol sınırının üzerinde çıkarsa süreç gelişim göstermiş denebilir. Ters olarak grafiğe işaretlenen bir veya daha fazla değer alt kontrol sınırı altında çıktığında ise süreç kötü durumda olarak değerlendirilebilir. Oluşturulan grafiğin güvenilir bir karar verme aracı olabilmesi için;

- Güvenilir ve çok fazla değişkenlik göstermeyen bir kusurlu oranı (p) bilgisine, Önceden tahmin edilmiş yanlış uyarı olasılığı (α) bilgisine ihtiyaç vardır.

Kusurlu bir ürün bulunduğunda ve o ana kadar toplanan veriler ile oluşturulan BHÜS kontrol grafiğinde süreç kontrol dışı olarak yorumlanmadığında;

- Sağlam ürünlerin sayılmasına sıfırdan başlanabilir
- O ana kadar toplanan bilgi yok sayılmayarak bu bilginin kullanımına izin verecek ve yeni bir sayma işlemine gerek bırakmayacak bir yol izlenir.

4.5.3. Yanlış uyarı olasılığı ve kontrol sınırları

Belirli bir miktarda sağlam ürün gözlemlendikten ve bir kusurlu ürün bulunduktan hemen sonra sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi gerekir. Karar belirli bir güven seviyesine dayanılarak verilmelidir. Sürecin doğasında var olan değişkenlik ve örnekleme belirsizliği nedeni ile güven seviyesi, bir başka deyişle yanlış uyarı olasılığının varlığı kaçınılmazdır.

Kusurlu bir parça bulunduğunda o andan önce alınan sağlam parça sayısı n olsun. Alınan n adet parçada hiç kusurlu çıkmaması olasılığı;

$$P(\text{Alınan } n \text{ adet parçada hiç kusurlu çıkmaması}) = (1-p)^n$$

olur.

Süreç kontrol dışı olduğunda, kusurlu bir ürün bulunduğu zaman ele alınan sürecin kontrol dışı olarak değerlendirilmesinin kesinliği (alınan n adet üründen sonra $(n+1)$.ürün kusurlu olarak bulunduğunda sürecin gerçekten kontrol dışı çıkması olasılığı) ise;

$$\text{Güven seviyesi} = 1 - \alpha$$

olarak ele alınır. Bu formülde α değeri tek taraflı kontrol sınırı kullanıldığında α , hem alt hem üst kontrol sınırı kullanılırsa $\alpha/2$ olarak alınır.

Sürecin kontrol altında olabilmesi için kusurlu bir üründen önce gözlemlenmesi gereken sağlam ürün sayısının belirlenebilmesi için ise;

$$(1-p)^n = 1 - \alpha$$

eşitliği kullanılmalıdır.

Bu eşitlikten hareketle n (Sürecin kontrol altında olabilmesi için kusurlu bir üründen önce gözlemlenmesi gereken sağlam ürün sayısı) değeri hesaplanırsa;

$$n = \frac{\ln(1 - \alpha)}{\ln(1 - p)}$$

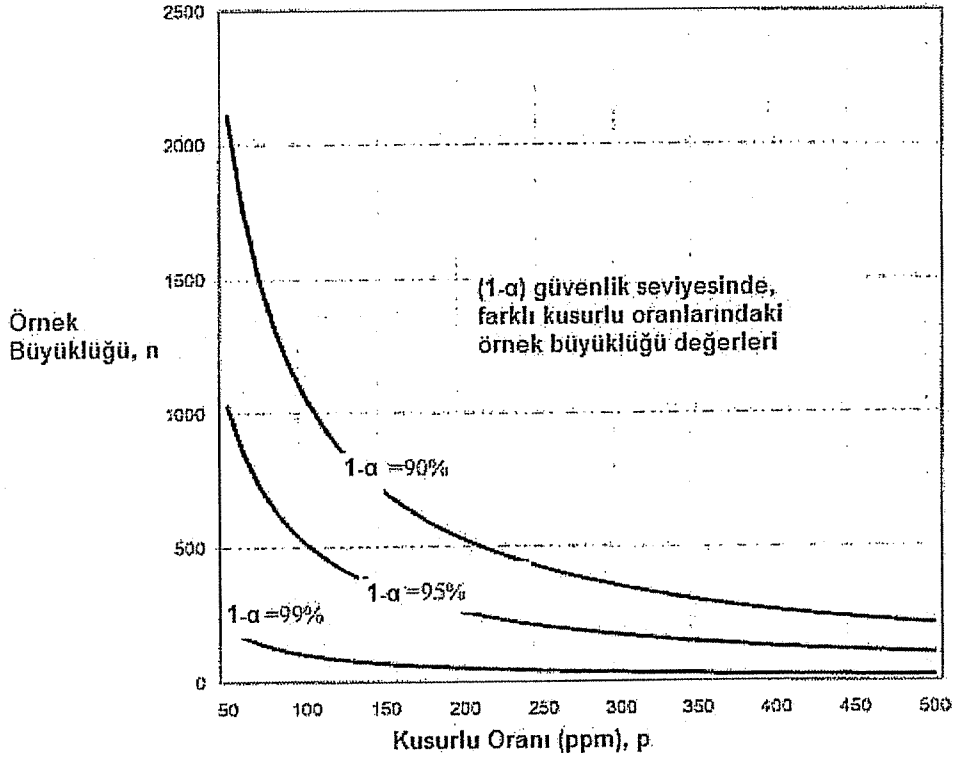
olarak elde edilir.

Çizelge 4.6' da çeşitli p (kusurlu oranı) ve $(1 - \alpha)$ (güven seviyesi) değerleri için hesaplanan örnek büyüklüğü (n) değerleri verilmiştir. Çizelge 4.6' ya göre, herhangi bir örnekte, sağlam ürünlerin birikimli sayısı bu verilen n değerlerinden küçük çıkarsa, bu, sürecin gerçek kusurlu oranının, $(1 - \alpha)$ güven seviyesinde, p den büyük bir değer olduğu anlamına gelir. Şekil 4.2' deki grafikte ise, güven seviyesinin %90, %95 ve %99 değerleri için farklı kusurlu oranı (p) ve n değerleri verilmiştir. Şekil 4.2' deki grafik aşağıdaki bilgilerin elde edilmesi için kullanılabilir:

- 1) Verilen bir p değeri için grafikten $(1 - \alpha)$ değeri okunabilir
- 2) Verilen bir $(1 - \alpha)$ değeri için grafikten p değeri okunabilir ve süreç için kabul edilebilir değerden yüksek olup olmadığına bakılabilir.
- 3) Verilen p ve $(1 - \alpha)$ değerleri için, sürecin kontrol altında olduğunun varsayılabilmesi için gerekli olan n değeri (kabul edilebilecek değer) bulunabilir.

Çizelge 4.6: Çeşitli kusurlu oranı (p) ve güvenlik seviyesi ($1 - \alpha$) değerleri için örnek büyüklüğü (n) değerleri

P	1- α			
	0,9	0,95	0,98	0,99
0,0001	1053	512	202	100
0,0002	526	256	101	50
0,0003	351	170	67	33
0,0004	263	128	50	25
0,0005	210	102	40	20
0,0006	175	85	33	16
0,0008	131	64	25	12
0,001	105	51	20	10
0,0015	70	34	13	6
0,002	52	25	10	5
0,003	35	17	6	3



Şekil 4.2: Sürecin kontrol durumu için karar grafiği

4.5.4. Grafik oluşturma sürecine tekrar başlamak

Süreci inceleme aşamasında kusurlu bir ürünle karşılaşıldığında, bundan sonrası için iki olasılık ortaya çıkar. Bunlardan birincisi sürecin kontrol dışı olarak değerlendirilmesidir. Unutulmamalıdır ki sürecin kontrol dışı olarak değerlendirilmesi için kusurlu bir üründen önce sürecin kontrol dışı olmasını sağlayacak kadar az sayıda sağlam ürün alınmış olması gerekir. Bu durumda sürecin olağan gidişatını etkileyen özel nedenler araştırılır ve ortadan kaldırılmaya çalışılır. Parametreler değiştirildikten sonra n değeri sıfıra eşitlenir ve sürece yeniden başlanır.

İkincisi ise sürecin kontrol altında görünmesidir. Bu durumda, sürece sıfırdan başlamak yerine önceden toplanmış veriler ile devam edilmesi daha uygun olacaktır.

n_c = Kusurlu bir ürün bulunmadan önce alınan gözlem sayısı (süreci kontrol dışı yapmayacak kadar büyük bir sayı),

n_0 = n_c ye dayanan yeni bir değer (süreç kontrol altında olduğu için önceki veriler hala kullanılabilir durumdadır) (n_0 , sürecin yeniden başlatılması için kullanılacak değerdir.) olmak üzere n_0 değeri;

$$1-(1-p)^{n_0} = 1-(1-p)^{n_c} - n_c p (1-p)^{n_c-1}$$

eşitliği kullanılarak belirlenir.

Eşitliğin sol tarafı, n_0 sayıda üründe 1 veya daha fazla sayıda kusurlu ürün çıkması olasılığını, sağ tarafı ise, n_c sayıda gözlenen üründe 1 den fazla kusurlu ürün çıkması olasılığını vermektedir. Bu eşitlik aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$(1-p)^{n_0} = (1-p)^{n_c} + n_c p (1-p)^{n_c-1}$$

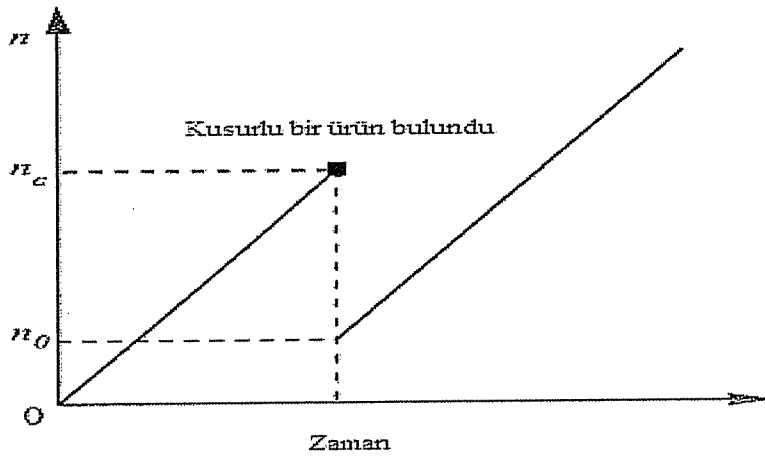
Üstteki denklemin doğal logaritması alınarak, sürecin yeniden başlatılması için

n_0 değeri;

$$n_0 = \frac{\ln\{(1-p)^{n_c-1}(1-p+n_cp)\}}{\ln(1-p)}$$

eşitliği ile bulunur.

Şekil 4.3' de n_0 ve n_c nin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Çizelge 4.7' de ise, bazı n_c ve p değerlerine göre hesaplanmış n_0 değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Süreçte n_0 ve n_c nin gösterilmesi

Çizelge 4.7: Bazı n_c ve p değerlerine göre hesaplanmış n_0 değerleri

n	p				
	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
100	0	1	1	2	2
150	1	2	3	4	5
200	2	4	6	8	10
250	3	6	9	12	15
300	4	9	13	15	22
350	6	12	18	24	30
400	8	16	24	32	40
450	10	20	30	40	50
500	12	25	37	50	62
600	18	36	54	72	90
700	24	49	73	98	122
800	32	64	96	144	160

4.6. Birikimli Hatasız Ürün Miktarı Kontrol Grafiği

Birikimli Hatasız Ürün Miktarı Kontrol Grafiği (CQC – Cumulative Quantity Conforming Control Chart), üretim süreci sürekli olduğunda (metal plakaları, kumaş, kablo... vb), ölçümlerin m^2 , litre, metre... vb ölçüler ile alındığı süreçlerde ve kusur oranı çok düşük olduğunda kullanılır. Ele alınan süreç karakteristiğinin λ parametresi ile poisson dağıldığı varsayılır.

Q, süreçte bir hata veya kusurlu ürün oluşana kadar alınması gereken miktar olup, λ parametresi ile üstel dağılır. Bu miktarın tamsayı olması gerekmez. Grafiğe işaretlenecek gözlem değeri Q dur. λ bilinmiyorsa, daha önceki çalışmalardan elde edilen Q değerlerinin ortalaması alınarak da tahmin edilebilir.

Q gibi bir değer birikimli olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P(X \leq Q) = F(Q) = 1 - e^{-\lambda Q}$$

4.6.1. Alt kontrol sınırının oluşturulması

Herhangi bir gözlem değerinin alt kontrol sınırı altında olması olasılığı:

$$P(X \leq AKS) = 1 - e^{-\lambda \cdot AKS} = \alpha / 2$$

olmak üzere;

$$e^{-\lambda \cdot AKS} = 1 - \alpha / 2$$

$$\ln(e^{-\lambda \cdot AKS}) = \ln(1 - \alpha / 2)$$

$$-\lambda \cdot AKS = \ln(1 - \alpha / 2)$$

$$AKS = \frac{\ln(1 - \alpha/2)}{-\lambda}$$

olarak elde edilir.

4.6.2. Üst kontrol sınırının oluşturulması

Herhangi bir gözlem değerinin üst kontrol sınırı üzerinde olması olasılığı:

$$P(X > \ddot{ÜKS}) = 1 - (1 - e^{-\lambda \ddot{ÜKS}}) = \alpha/2$$

olmak üzere;

$$e^{-\lambda \ddot{ÜKS}} = \alpha/2$$

$$\ln(e^{-\lambda \ddot{ÜKS}}) = \ln(\alpha/2)$$

$$-\lambda \cdot \ddot{ÜKS} = \ln(\alpha/2)$$

$$\ddot{ÜKS} = \frac{\ln(\alpha/2)}{-\lambda}$$

olarak elde edilir.

4.6.3. Orta çizginin oluşturulması

Herhangi bir gözlem değerinin orta çizgi altında veya üstünde olması olasılığı:

$$P(X > OÇ) = P(X < OÇ) = 1/2$$

olmak üzere;

$$1 - e^{-\lambda \cdot O\check{C}} = e^{-\lambda \cdot O\check{C}} = 1/2$$

$$\ln e^{-\lambda \cdot O\check{C}} = \ln(1/2)$$

$$-\lambda \cdot O\check{C} \cdot \ln e = \ln(1/2)$$

$$O\check{C} = \frac{\ln(1/2)}{-\lambda} \approx 0,6931\lambda^{-1} \text{ olarak bulunur.}$$

Q değerleri, oluşturulan grafik üzerine işaretlenir. Eğer herhangi bir Q değeri alt kontrol sınırının altında veya üst kontrol sınırının üzerinde çıkarsa süreç kontrol dışı olarak değerlendirilebilir. Fakat unutulmamalıdır ki herhangi bir değerin st kontrol sınırının üzerinde çıkması sürecin gelişmiş veya gelişmekte olduğunun da bir işareti olabilir.

4.7. Süreç Gelişiminin Belirlenmesinde Birikimli Hatasız rn Sayısı Kontrol Grafiğinin Kullanılması

Shewhart Kontrol Grafiklerinin süreç davranışında oluşan kötüleşmeleri belirleyerek potansiyel zararın etkisini azaltma veya zararı nleme yeteneğine sahip olduğu ve bu nedenle kontrol grafiği kullanıcılarının dikkatinin performans ktleşmelerine dönük olduğu belirtilmişti. Süreç iyileşmesinin belirlenmesi de en az süreç performansı düşüklüklerinin belirlenmesi kadar önemli bir husustur.

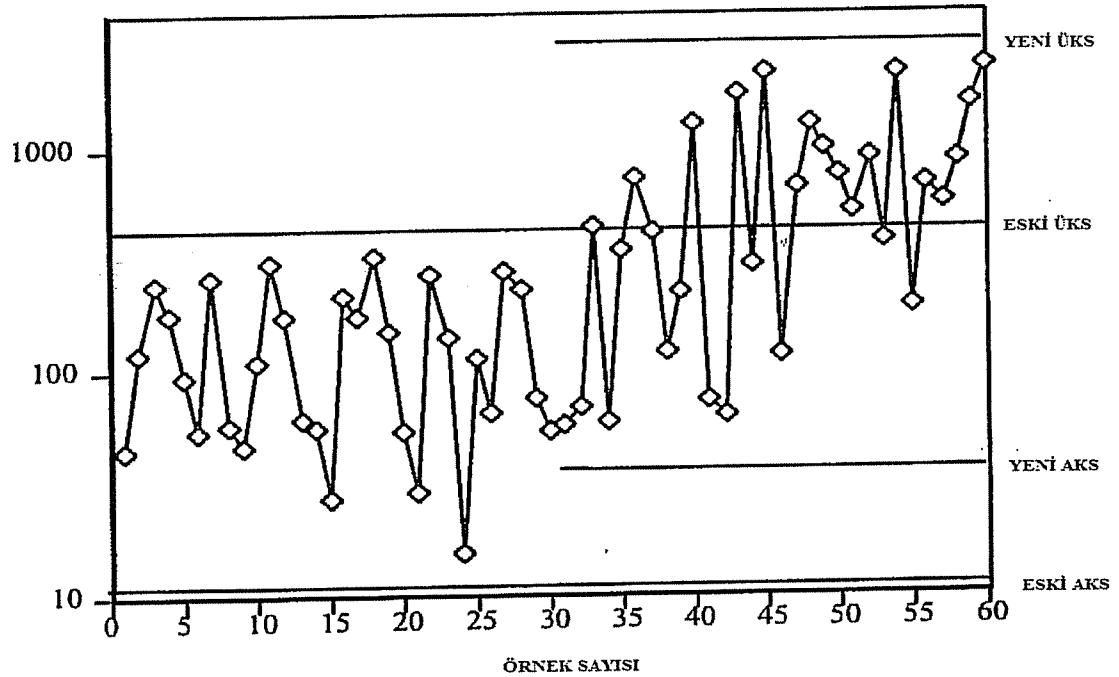
Yüksek kaliteli süreçlerde kusurlu oranı çok küçük olacağından süreç gelişimlerinin klasik Shewhart kontrol grafikleri ile gözlenebilmesi zordur. Herhangi bir süreçte, kusurlu oranında bir değişiklik olduğunda, iki ardışık kusurlu ürün arasında üretilen sağlam ürün sayısı da değişir. İki ardışık kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısının gözlemlenerek karar verilmesi, gelişimleri gözleyebilmek adına da yararlı bir yol olacaktır. İki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı azaldıkça süreç daha fazla kusurlu ürün üretmeye başlıyor demektir ve böyle bir durumda sürecin kontrol dışı olma

olasılığı artmıştır denilir. İki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısı artış eğiliminde ise süreç gelişme gösteriyordur.

Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiği, daha önceki bölümlerde belirtilen uygunsuzlukları azaltmasının yanında, süreç iyileşmesini belirleyebilme özelliği ile de, yüksek kaliteli süreçlerde Shewhart Kontrol Grafiklerine göre üstündür. Yanlış uyarı olasılığının ve süreç kusurlu oranının bilindiği veya tahmin edilebildiği durumlarda, bu tür kontrol grafiklerini uygulamak, kullanım kolaylığı açısından da avantajlı olacaktır.

Ele alınan süreç iyileşme gösterdiğinde, sağlanan bu iyileşmenin kullanılan BHÜS kontrol grafiğine de yansıtılması, grafikten daha sonraki zamanlarda da verim alınabilmesi açısından yararlı olacaktır. Bunun için, sağlanan iyileşmeye göre kontrol sınırları güncellenmelidir. Şekil 4.4' de bu durum grafik üzerinde gösterilmiştir.

BHÜS



Şekil 4.4: Süreç geliştiğinde ve bu gelişim sürdürüldüğünde BHÜS kontrol grafiğinde kontrol sınırlarının güncellenmesi

Birikimli hatasız ürün miktarı kontrol grafiği de aynı şekilde süreç gelişiminin belirlenmesi için kullanılabilir.

Her iki kontrol grafiğinin kullanımında da bir gözlem değerinin üst kontrol sınırı üstüne çıkması, gelişimi sağlayan özel nedenleri araştırmaya yetecek bir sebeptir. Bu durumda kusur veya kusurlu ürün çıkana kadar beklenmesine gerek yoktur.

4.8. Negatif Binom Kontrol Grafiği

Bu bölümde, bir kusurlu oluşuncaya kadar alınan sağlam ürün sayısını baz alarak grafik oluşturmak yerine, r adet kusurlu ürün oluşuncaya kadar alınan sağlam ürün sayısının baz alındığı bir kontrol grafiği ile sürecin incelenmesi ele alınacaktır. Bu çeşit bir veri artık, geometrik dağılım yerine geometrik dağılımın genel hali olan negatif binom dağılımına uygun olarak dağılacaktır. Bu grafiğe BHÜS-r kontrol grafiği denilmiştir.

4.8.1. Negatif binom kontrol grafiğinin kontrol sınırları

X, r-1 adet kusurlu ürün alındıktan sonra r. kusurlu ürün gözlenene kadar alınan sağlam ürün sayısıdır ve negatif binom dağılımının özelliklerini gösterir.

$X \sim \text{Negatif Binom}(r, p)$ olmak üzere X' in i gibi bir sayıya eşit olma olasılığı şu şekilde belirlenir;

$$P\{X = i\} = \binom{i-1}{r-1} p^r (1-p)^{i-r}, i = r, r+1, \dots$$

Geometrik rassal değişken (1,p) parametreleri ile negatif binomun özel bir halidir. Negatif binom rassal değişken, r adet (1,p) parametresi ile dağılmış bağımsız geometrik rassal değişkenin toplamı olarak da görülebilir. Bu yüzden, sunulan BHÜS-r kontrol grafiği BHÜS kontrol grafiğinin genelleştirilmiş hali olarak görülebilir.

X in birikimli dağılım fonksiyonu şu şekilde hesaplanır;

$$F(n, r, p) = P\{X \leq n\} = \sum_{i=r}^n \binom{i-1}{r-1} p^r (1-p)^{i-r}$$

Örneğin $r = 2$ ise;

$$F(n, 2, p) = p^2 \left[\frac{1 - (n-1)(1-p)^n - n(1-p)^{n-1}}{p^2} \right]$$

$$= 1 + (n-1)(1-p)^n - n(1-p)^{n-1}$$

olarak elde edilir. $r = 1$ olduğunda ise geometrik dağılım özelliklerini gösteren kontrol grafiğini oluşturur ve BHÜS kontrol grafiği kullanılır.

Kontrol sınırlarını oluşturmak için olasılık sınırları standart yoldan oluşturulabilir. Alt ve üst kontrol sınırları aşağıdaki birikimli dağılım fonksiyonlarının çözümü ile elde edilir.

$$F(\bar{ÜKS}, r, p) = \sum_{i=r}^{\bar{ÜKS}} \binom{i-1}{r-1} p^r (1-p)^{i-r} = 1 - \frac{\alpha}{2} = P(X < \bar{ÜKS})$$

$$F(AKS, r, p) = \sum_{i=r}^{AKS} \binom{i-1}{r-1} p^r (1-p)^{i-r} = \frac{\alpha}{2} = P(X < AKS)$$

$$F(OÇ, r, p) = \sum_{i=r}^{OÇ} \binom{i-1}{r-1} p^r (1-p)^{i-r} = \frac{1}{2} = P(X < OÇ)$$

Bu denklemler bilgisayar programları aracılığı ile çözülebilir. Çizelge 4.8' de BHÜS-1, BHÜS-2 ve BHÜS-3 kontrol grafikleri için bazı sayısal değerler verilmiştir.

Çizelge 4.8: $\alpha = 0,0027$ olduğunda BHÜS-1 BHÜS-2 ve BHÜS-3 kontrol grafikleri için kontrol sınırları

p	B.H.Ü.S-1 chart			B.H.Ü.S-2 chart			B.H.Ü.S-3 chart		
	ÜKS	OÇ	AKS	ÜKS	OÇ	AKS	ÜKS	OÇ	AKS
0,0001	66074	6932	13	91895	16786	S 10	114341	26746	21 18
0,0002	33035	3466	7	43522	8391	265	52817	13368	1060
0,0003	22023	2311	S	29487	5594	177	35959	8913	707
0,0004	16516	1733	4	22316	4196	133	27284	6685	531
0,0005	13212	1386	3	17953	3357	107	21990	5349	425
0,0006	11010	1155	3	14744	2797	89	17973	4457	354
0,0007	9437	991	2	12699	2398	77	15505	3820	304
0,0008	8257	867	2	11158	2098	67	13640	3343	266
0,0009	7339	770	2	9831	1865	60	11982	2971	237
0,0010	6605	693	2	8876	1678	54	10833	2674	213
0,0020	3301	347	1	4436	839	27	5414	1337	107
0,0040	1649	173	1	2222	420	14	2715	669	54
0,0060	1098	116	1	1479	280	10	1806	446	37
0,0080	823	87	1	11 10	210	S	1355	334	28
0,0090	731	77	1	986	187	7	1204	297	25
0,0100	658	69	1	886	168	6	1083	268	23
0,0200	328	35	1	441	84	4	539	134	12
0,0400	162	17	1	219	42	2	268	67	7
0,0500	129	1 4	1	175	34	2	213	54	6

4.8.2. Negatif binom kontrol grafiğinin bazı özellikleri

- 1) r nin seçimi öznel olabilir ve geleneksel Shewhart kontrol grafiklerindeki örnek büyüklüğü seçimine benzer. r değeri genelde küçük olmalıdır. Pratikte 2-5 arasında olması yeterlidir.
- 2) BHÜS- r kontrol grafiğinin kontrol sınırları p sıfıra yaklaştıkça çok hızlı bir şekilde artar.
- 3) Aynı p seviyesinde r değeri daha büyük olan grafiklerin kontrol sınırları daha büyüktür.
- 4) $p < 0,0001$ ve r çok büyük olduğunda BHÜS- r kontrol grafiği kullanımı uygunsuzdur. Bu durumda BHÜS kontrol grafiği kullanmak gerekir.

- 5) Herhangi bir gözlem değeri üst kontrol sınırı üstünde ise süreç iyileşmiş demektir. Herhangi bir nokta alt kontrol sınırı altında ise süreç bozulmuş demektir. BHÜS-r kontrol grafiği süreç gelişmelerini takip edebilmeye olanak sağlar.

BÖLÜM 5

BİRİKİMLİ HATASIZ ÜRÜN SAYISI KONTROL GRAFİĞİNİN EKONOMİK TASARIMI

5.1. Kontrol Grafiklerinde Ekonomik Tasarım

Kontrol grafikleri, bir sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olmasını ve bu kontrol durumunun devam ettirilmesini sağlaması özelliklerinin yanında, süreç yetenek analizi çalışmalarıyla süreç parametrelerinin tahmin edilmesini sağlaması özelliği ile de sık kullanılan ve etkili araçlardır. Kontrol grafiği kullanımı, grafik tasarımcısının belirli bir örnek büyüklüğü, örnekleme sıklığı ve kontrol sınırlarını seçmesi ile mümkündür. Bu parametrelerin seçimi ise kontrol grafiğinin tasarımı olarak tanımlanır.

Geleneksel olarak kontrol grafikleri yalnızca istatistiksel kriterlere göre tasarlanır ve çoğu zaman kontrol grafiği tasarlayanın ekonomik sonuçları göz ardı edilir. Pratikte en yaygın olarak kullanılan tasarım yaklaşımı, Shewhart (1939) tarafından önerilen örnek büyüklüğünün 5, kontrol sınırlarının 3 ve örnekleme aralığının 1 saat alındığı sezgisel yaklaşımdır.

İşin ekonomik boyutunda, örnekleme ve test etme maliyetleri, kontrol dışı uyarılarını araştırma maliyeti, bulunacak özel nedenlerin giderilmesi maliyeti ve kusurlu ürünlerin müşteriye gönderilmesi maliyeti (dışsal başarısızlık maliyeti) gibi maliyetler kontrol grafiği parametrelerinin seçiminden etkilenirler. Bu yüzden kontrol grafikleri tasarımını ekonomik bir bakış açısı ile irdelemek daha mantıklı olacaktır. Böylece, kontrol grafiği uygulaması sonucu süreçte yapılabilecek düzeltme faaliyetleriyle elde edilecek kazanç, grafiği oluşturmanın maliyeti ile kıyaslanabilecek ve grafiği oluşturup oluşturmama kararı bu kıyaslamaya göre verilebilecektir.

Maliyet, bir kontrol grafiğinin performansını ölçmede önemli bir ölçüttür. Bu yüzden kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı zengin bir araştırma alanıdır.

Kontrol grafiklerinde ekonomik tasarım ile ilgili literatüre bakıldığında, bu konuda birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. İlk olarak Duncan (1956) kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı üzerine çalışmıştır. Daha sonra Lorenzen ve Vance (1986) Duncan' ın sunduğu orijinal modeli genelleştirmiş ve birçok kontrol grafiği için doğrudan kullanılabilir bir hale getirmiştir. Lorenzen ve Vance tarafından geliştirilen bu yeni modelleme yaklaşımı ile, üretimin araştırma veya düzeltme aşamalarında devam etmesi ve/veya durması durumları da göz önünde bulundurulmuştur. McWilliams (1994) ile Surtihadi ve Rachavachari (1994), $\bar{X}$ kontrol grafiğinin Lorenzen ve Vance modeli ile ekonomik tasarımı üzerine çalışmışlardır. Montgomery ve diğerleri (1995) aynı yaklaşımla EWMA kontrol grafiğinin, Simpson ve Keats (1995) ise CUSUM kontrol grafiğinin tasarımı üzerine çalışmışlardır. Doğar ve Anagün (2002) kusurlu oranı kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı için bir model sunmuşlardır. Bu konuda çalışan diğer araştırmacılardan bazıları şunlardır; Montgomery (1980), Svoboda (1991), Ho ve Case (1994), Keats ve diğerleri (1997).

5.2. Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiğinin Ekonomik Tasarımı

Bu bölümde, hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiği için tasarım parametrelerinin seçiminin ekonomik bir bakış açısı ile yapılması üzerinde durulacaktır. Tasarım parametreleri olarak örnekleme aralığı ve kontrol sınırları ele alınacaktır. Tartışılacak olan modelin temeli Lorenzen – Vance' ın (L-V) sunduğu (1986) “Esnek Maliyet Modeli” yaklaşımına dayanmaktadır. Bu model ise, Duncan' ın 1956 yılında sunduğu ekonomik modelin genişletilmiş bir halidir. Aralarındaki fark, L-V modeli beklenen saatlik üretim maliyetlerinin en küçüklenmesi için uğraşırken, Duncan modelinin beklenen net geliri en büyükmek için uğraş vermesidir. Fakat Duncan, optimal çözüm için araştırma yaparken, beklenen net gelirin en büyüklenmesi amacını, beklenen kaybın en küçüklenmesi amacına dönüştürmüş böylece iki model de aynı amaçta (toplam maliyetin en küçüklenmesi) birleşmiştir.

Ele alınan modelde bir üretim çevrimi, üretimin başlamasından sürecin kontrol dışında olmasına yol açtığı tespit edilen özel nedenin yok edilmesine kadar geçen süre

olarak tanımlanmıştır. Bu süre, A_1 , A_2 , A_3 , A_4 ve A_5 olmak üzere 5 kısımdan oluşur. Bu kısımlar şöyle tanımlanabilir:

A_1 : Çevrimin başlamasından, özel nedenin oluşumuna kadar geçen süre

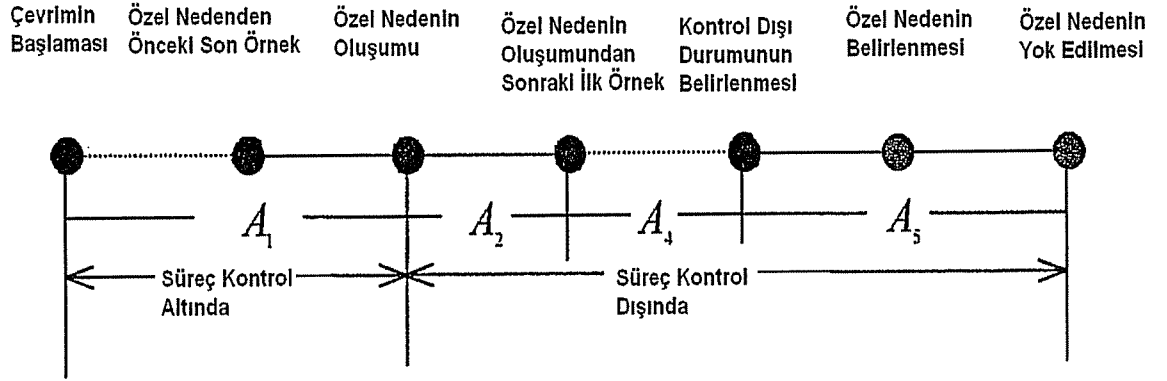
A_2 : Özel nedenin oluşumundan, sıradaki ilk örnek alınana kadar geçen süre

A_3 : Özel nedenin oluşumundan sonra alınan ilk örneği analiz etme ve grafiğe aktarma süresi

A_4 : Oluşturulan grafik kontrol dışı uyarısı verene kadar geçen süre

A_5 : Kontrol dışı durumunun belirlenmesinden, özel nedenin bulunması ve yok edilmesine kadar geçen süre

Maliyet modelleri kurulurken temel olarak bir üretim çevriminin bu beş parçasından yola çıkılmaktadır. Bu süreler, A_3 hariç, şekil üzerinde şöyle gösterilebilir (Xie ve diğerleri, 2002):



Şekil 5.1: Bir üretim çevriminin dört parçası

5.2.1. Parametreler, varsayımlar ve model

Maliyet modelinin oluşturulmasında kullanılan parametreler, yapılan varsayımlar ve kurulan model bu bölümde verilmiştir.

Kontrol grafiği tasarım parametreleri

l = Hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiği için tek yönlü kontrol sınırı

h = Örneklem aralığı

Maliyet ve süre parametreleri

E = Bir örneği örneklemek ve grafiğe işaretlemek için gereken süre

T_0 = Yanlış bir uyarının araştırılması için beklenen süre

T_1 = Özel nedenin bulunması için beklenen süre

T_2 = Sürecin düzeltilmesi için beklenen süre

C_0 = Süreç kontrol altında iken kalite maliyeti / saat

C_1 = Süreç kontrol dışında iken kalite maliyeti / saat ($C_1 > C_0$)

Y = Yanlış uyarı maliyeti

W = Özel nedenin bulunması ve onarılması maliyeti

a = Örnek başına sabit maliyet

b = Örneklerde alınan birimler için maliyet

Süreç parametreleri

$\lambda = 1$ / Sürecin kontrol altında olduğu ortalama süre

p_0 = Süreç kontrol altında iken beklenen kusurlu oranı

p_1 = Süreç kontrol dışında iken beklenen kusurlu oranı

Özel nedenlerin araştırılması süresi boyunca üretim devam ediyorsa $\rightarrow \delta_1 = 1$

Özel nedenlerin araştırılması süresi boyunca üretim devam etmiyorsa $\rightarrow \delta_1 = 0$

Sürecin düzeltilmesi süresi boyunca üretim devam ediyorsa $\rightarrow \delta_2 = 1$

Sürecin düzeltilmesi süresi boyunca üretim devam etmiyorsa $\rightarrow \delta_2 = 0$

En uygun tasarım parametrelerinin belirlenebilmesi için bulunması gereken parametreler

s = Süreç kontrol altında iken alınması beklenen örnek sayısı (üretilmesi beklenen toplam ürün sayısı)

τ = Özel nedenin oluşumundan önce alınan son örnekle özel nedenin oluşumu arasında geçen süre

ARL_1 = Süreç kontrol altında iken ortalama çalışma süresi

ARL_2 = Süreç kontrol dışında iken ortalama çalışma süresi

$B(C)$ = Beklenen toplam maliyet / saat

Çevrim süresini oluşturan ilk kısım olan A_1 (çevrimin başlamasından, özel nedenin oluşumuna kadar geçen süre) iki bileşenden oluşur. Bunlardan birincisi sürecin beklenen kontrol altında olma süresidir. Fakat eğer araştırma safhası boyunca üretim aksıyorsa, süreç yanlış uyarıların araştırılması için durdurulabilir. Bu durumda yanlış uyarıların araştırılması için harcanan süre de sürecin beklenen kontrol altında olma süresine eklenmelidir. Bu durumda A_1 için formülasyon şu şekilde olur (Xie ve diğerleri, 2001):

$$A_1 = \frac{1}{\lambda} + \frac{(1 - \delta_1)sT_0}{ARL_1}$$

Çevrim süresini oluşturan diğer zaman bileşenleri ise sade bir şekilde bulunabilir:

$$A_2 = h - \tau$$

$$A_3 = E$$

$$A_4 = h (ARL_2 - 1)$$

$$A_5 = T_1 + T_2$$

Varsayımlar

- 1) Süreç bilinen bir p_0 kusurlu oranı ile istatistiksel olarak kontrol altında başlar.
- 2) Bir çevrimde yalnızca bir özel neden oluşur ve bu özel neden süreç kusurlu oranının p_0 dan p_1 e çıkmasına neden olur.
- 3) Özel nedenlerin oluşumu arasında geçen süre λ parametresi ile üstel dağılır.
- 4) Örnek büyüklüğü 1 olarak alınır ($n = 1$). Bu yaklaşım sayesinde örneği almanın ve incelemenin maliyetinin sabit olduğu ve bilindiği varsayılır ($a+b$).
- 5) Daha önce de belirtildiği gibi alınan herhangi bir örnek yalnızca alt kontrol sınırının altında olduğu zaman süreç kötüleşmiş denilebiliyordu. Noktanın-üst kontrol sınırı üzerinde çıkması, iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısında artış olduğunu gösterdiğinden süreçte gelişme olduğu anlamına geliyordu. Bu nedenden dolayı, bu bölümde, yalnızca alt kontrol sınırı dikkate alınarak oluşturulan BHÜS kontrol grafiği (aşağı yönlü BHÜS kontrol grafiği) incelenecektir. Bu yaklaşım uygulama kolaylığı ve pratiklik getirecektir.
- 6) Her h saatlik üretimde bir örnek kontrol edilmektedir.
- 7) Hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiğinin temel yapısına uygun olarak, bir kusurlu ürün bulununcaya kadar alınan ardışık sağlam ürünler sayılacaktır.

Maliyet modeli

Model kurulurken amaç, tek yönlü BHÜS kontrol grafiği için kayıp fonksiyonu kullanılarak beklenen kaybı en küçükleme. Beklenen çevrim süresi, her çevrim için beklenen maliyet ve bunlardan yola çıkılarak hesaplanan saat başına beklenen maliyet formülasyonları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Beklenen Çevrim Süresi (B[T])} = \sum_{i=1}^5 A_i$$

$$B[T] = \frac{1}{\lambda} + \frac{(1 - \delta_1)sT_0}{ARL_1} - \tau + E + (h \cdot ARL_2) + T_1 + T_2 \quad (1)$$

Her Çevrim İçin Beklenen Maliyet (B[C_ç])

$$\begin{aligned}
 &= \frac{C_0}{\lambda} + C_1[-\tau + E + (h \cdot ARL_2) + (\delta_1 T_1) + (\delta_2 T_2)] + \frac{s \cdot Y}{ARL_1} + W \\
 &+ [(a + b) \times \frac{[\frac{1}{\lambda} - \tau + E + (h \cdot ARL_2) + (\delta_1 T_1) + (\delta_2 T_2)]}{h}]
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\text{Saat Başına Beklenen Maliyet (B[C])} = \frac{B[C_{\text{ç}}]}{B[T]}$$

Hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiği için örnekleme aralığı (h) ve kontrol sınırı (l) cinsinden saat başına beklenen maliyet ($B[C]$) değeri gerçekleştirilen matematiksel işlemlerden sonra aşağıdaki şekilde bulunmuştur:

$$B[C] = C(l, h) = C_0 + \frac{S_1}{D} + \frac{a + b}{h} + \frac{S_2}{D} \tag{3}$$

s (süreç kontrol altında iken alınması beklenen örnek sayısı) ise şu şekilde bulunur:

$$\begin{aligned}
 s &= \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot P(i \text{ ve } (i+1) \text{ örnekler arasında özel neden oluşması}) = \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot [1 - e^{-\lambda \cdot h \cdot (i+1)} - 1 + e^{-\lambda \cdot h \cdot i}] \\
 &= \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot [e^{-\lambda \cdot h \cdot i} - e^{-\lambda \cdot h \cdot (i+1)}] = \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot e^{-\lambda \cdot h \cdot i} (1 - e^{-\lambda \cdot h}) = (1 - e^{-\lambda \cdot h}) \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot e^{-\lambda \cdot h \cdot i} = \sum_{i=1}^{\infty} e^{-\lambda \cdot h \cdot i} = \sum_{i=0}^{\infty} e^{-\lambda \cdot h \cdot i} - 1 \\
 &= \frac{1}{1 - e^{-\lambda \cdot h}} - 1 = \frac{1}{e^{\lambda \cdot h} - 1}
 \end{aligned} \tag{4}$$

τ değeri yani bir örnek alındıktan sonra özel neden oluşana kadar geçen süre ise, özel nedenin i . ve $(i+1)$. örnekler arasında oluştuğu varsayımı altında şu şekilde bulunur;

$$\tau = \frac{\int_{hi}^{h(i+1)} \lambda(x-hi)e^{-\lambda x} dx}{\int_{hi}^{h(i+1)} \lambda e^{-\lambda x} dx} = \frac{-\lambda^{-1}e^{-\lambda x}(1+\lambda x) + (hi)e^{-\lambda x} \Big|_{hi}^{h(i+1)}}{-e^{-\lambda x} \Big|_{hi}^{h(i+1)}} = \frac{[1-(1+\lambda h)e^{-\lambda h}]}{\lambda(1-e^{-\lambda h})}$$

Yapılan sadeleştirmelerden sonra τ değeri ve ilgili parametrelerin değerleri şu şekilde bulunur:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} - \frac{h}{e^{\lambda h} - 1} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \lambda(C_1 - C_0)(-\tau + E + (h \cdot ARL_2) + T_1 + T_2) - \lambda C_1[(1 - \delta_1)T_1 + (1 - \delta_2)T_2] \\ &+ \frac{\lambda s Y}{ARL_1} - \frac{\lambda C_0(1 - \delta_1)sT_0}{ARL_1} + \lambda W \end{aligned} \quad (6)$$

$$D = 1 + \frac{(1 - \delta_1)sT_0}{ARL_1} + \lambda(-\tau + E + (h \cdot ARL_2) + T_1 + T_2) \quad (7)$$

$$S_2 = 1 + \lambda[-\tau + E + (h \cdot ARL_2) + (\delta_1 T_1) + (\delta_2 T_2)] \quad (8)$$

5.2.2. Eniyileme süreci

Lorenzen ve Vance ın 1986 yılında sunduğu en iyi tasarım parametrelerini bulma çözümü karışık ve bazı terimleri göz ardı eden bir yoldur (Newton Metodu, Fibonacci Araştırması gibi karmaşık yollar içermektedir). Fakat bu çözüm karmaşıklığına karşın kesin sonuçlar vermeyebilmektedir. Buna karşın Chung (1991) daha basit bir en iyileme süreci sunmuştur. Hiçbir terim göz ardı edilmeyerek, Lorenzen ve Vance' ın sunduğu metoda göre daha kesin, emin ve uygun bir çözüm sunmuştur. Burada kullanılan en iyileme modeli Chung' un sunduğu modeldir. Bu modelde iki teoremden yararlanılır. Bu teoremler şunlardır:

Teorem 1

$x > 0$ olmak üzere,

$$0 < \frac{1}{x} - \frac{1}{e^x - 1} < 1 \quad (9)$$

olur.

Teorem 2

$x > 0$ olmak üzere,

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{e^x - 1} \right) = \frac{1}{2} \quad (10)$$

olur.

Teorem 1 ve 2' nin kanıtları Ek 1' de verilmiştir.

Modeli geliştirmek için $\frac{1}{\lambda h} \approx s$ yaklaşımı kullanılmıştır. Teorem 1 ve 2 aracılığı ile $s = \frac{1}{e^{\lambda h} - 1}$ yerine $\left(\frac{1}{\lambda h} - \frac{1}{2} \right)$ kullanılabilir. Burada $\frac{1}{2}$ düzeltme faktörüdür. Bu yaklaşımın benimsenmesinin uygunluğu şu şekilde kanıtlanmıştır:

Denkleim 9' dan yola çıkılarak aşağıdaki sonuca varılabilir:

$$\frac{1}{\lambda h} - \frac{1}{\lambda h} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \quad 0 < \frac{1}{2} < 1 \quad (11)$$

Denklem 10'dan hareketle ise;

$$\lim_{\lambda h \rightarrow 0^+} \left(\frac{1}{\lambda h} - \frac{1}{e^{\lambda h} - 1} \right) = \frac{1}{2} \text{ ve } \lim_{\lambda h \rightarrow 0^+} \left(\frac{1}{\lambda h} - \frac{1}{\lambda h} + \frac{1}{2} \right) = \frac{1}{2} \quad (12)$$

olduğu görülmektedir.

$C(l, h)$ denkleminde tüm $\left(\frac{1}{e^{\lambda h} - 1} \right)$ değerleri $\left(\frac{1}{\lambda h} - \frac{1}{2} \right)$ ile değiştirilirse $\bar{C}$ değeri;

$$\begin{aligned} \bar{S}_1 = & \lambda(C_1 - C_0)(ARL_2 - \frac{1}{2})h + \{ \lambda(C_1 - C_0)(nE + T_1 + T_2) - \frac{\lambda Y}{2(ARL_1)} \\ & - \lambda C_1[(1 - \delta_1)T_1 + (1 - \delta_2)T_2] + \frac{\lambda C_0(1 - \delta_1)T_0}{2(ARL_1)} + \lambda W \} + \frac{Y - C_0(1 - \delta_1)T_0}{(ARL_1)h} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\bar{D} = \lambda(ARL_2 - \frac{1}{2})h + (1 - \frac{\lambda(1 - \delta_1)T_0}{2(ARL_1)} + n\lambda E + \lambda T_1 + \lambda T_2) + \frac{(1 - \delta_1)T_0}{(ARL_1)h} \quad (14)$$

$$\bar{S}_2 = \lambda(ARL_2 - \frac{1}{2})h + (1 + n\lambda E + (\lambda\delta_1 T_1) + (\lambda\delta_2 T_2)) \quad (15)$$

olmak üzere,

$$\bar{C} = C_0 + \frac{\bar{S}_1}{D} + \frac{a+b}{h} + \frac{\bar{S}_2}{D} \quad (16)$$

olarak elde edilir.

En uygun h (örnekleme aralığı) değerini bulmak için $\bar{C}$ 'in h ye göre türevi alındığında ve sıfıra eşitlendiğinde,

$$r_1 = \lambda(ARL_2 - 0.5) \left\{ (C_1 - C_0) \left(1 - \frac{\lambda(1 - \delta_1)T_0}{2ARL_1} \right) + \frac{\lambda Y}{2ARL_1} + \lambda C_1[(1 - \delta_1)T_1 + (1 - \delta_2)T_2] \right. \\ \left. - \frac{\lambda C_0(1 - \delta_1)T_0}{2ARL_1} \right\} \quad (17)$$

$$r_2 = 2\lambda(ARL_2 - 0.5) \left\{ \frac{C_0(1 - \delta_1)T_0 - Y}{ARL_1} - (a + b)(1 + \lambda E + \lambda \delta_1 T_1 + \lambda \delta_2 T_2) \right\} \quad (18)$$

$$r_3 = \frac{C_0(1 - \delta_1)T_0 - Y}{ARL_1} \left(1 - \frac{\lambda(1 - \delta_1)T_0}{ARL_1} + \lambda E + \lambda T_1 + \lambda T_2 \right) + \frac{(1 - \delta_1)T_0}{ARL_1} \{ \lambda(C_1 - C_0)(E + T_1 + T_2) - \lambda C_1[(1 - \delta_1)T_1 \\ + (1 - \delta_2)T_2] - \frac{\lambda Y}{2ARL_1} + \frac{\lambda C_0(1 - \delta_1)T_0}{2ARL_1} + \lambda W \} + \frac{(a + b)\lambda(ARL_2 - 0.5)(1 - \delta_1)T_0}{ARL_1} - (a + b) \cdot (1 + \lambda E + \lambda \delta_1 T_1 + \\ \lambda \delta_2 T_2) \left(1 - \frac{\lambda(1 - \delta_1)T_0}{2ARL_1} + \lambda E + \lambda T_1 + \lambda T_2 \right) \quad (19)$$

olmak üzere,

$$h(r_1 h^2 + r_2 h + r_3) = 0 \quad (20)$$

eşitliği elde edilir.

$h > 0$ olacağından, $r_1 h^2 + r_2 h + r_3 = 0$ olur. Böylece h 'ı veren eşitlik,

$$h = \frac{-r_2 + \sqrt{r_2^2 - 4 \cdot r_1 \cdot r_3}}{2r_1} \quad (21)$$

şeklinde bulunur. Genelde $r_1 > 0$ ve $r_3 < 0$ olur.

Tüm fonksiyonlarda sık sık kullanılan ARL_1 ve ARL_2 , kontrol sınırı l cinsinden bulunabilir. ARL değerinin hesaplanması ve hesaplama aşamasında kullanılan parametreler ile bu parametrelerin nasıl bulunduğu aşağıda açıklanmıştır (Xie ve diğerleri, 1997):

$B(P)$ = İki ardışık uyarı arasında grafiğe işaretlenecek ortalama nokta sayısı,

$B(BHÜS / Uyarı Yok)$ = Herhangi bir uyarının oluşmadığı süre boyunca alınacak iki kusurlu ürün arasındaki beklenen birikimli sağlam ürün sayısı,

$B(BHÜS / Uyarı Var)$ = Bir uyarının olduğu örnekte alınan beklenen birikimli sağlam ürün sayısı olmak üzere;

$$ARL = B(P) \times B(BHÜS / UyarıYok) + 1 \times B(BHÜS / UyarıVar) \quad (22)$$

olarak hesaplanır.

n , iki kusurlu ürün arasındaki birikimli sağlam ürün sayısı olmak üzere, olasılık değerleri geometrik dağılıma uygun olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$p(n) = (1 - p)^{n-1} p \quad (23)$$

$$P(X \leq n) = F(n) = \sum_{x=1}^n (1 - p)^{x-1} p = 1 - (1 - p)^n \quad (24)$$

Herhangi bir örneğe ait iki kusurlu arasındaki sağlam ürün sayısı verisinin alt kontrol sınırından büyük çıkması olasılığı (Tek yönlü BHÜS kontrol grafiğinde herhangi bir uyarı görülmemesi olasılığı) şu şekilde hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} P(BHÜS \geq AKS) &= 1 - P(BHÜS < AKS) = 1 - F(AKS - 1) \\ &= 1 - \sum_{i=1}^{AKS-1} (1 - p)^{i-1} p = (1 - p)^{AKS-1} \end{aligned} \quad (25)$$

Herhangi bir örneğe ait iki kusurlu arasındaki sağlam ürün sayısı verisinin alt kontrol sınırından küçük çıkması olasılığı (Tek yönlü BHÜS kontrol grafiğinde herhangi bir uyarı görülmesi olasılığı) ise $(1 - (1 - p)^{AKS-1})$ değeri olarak karşımıza çıkar.

Bu bilgiler verildikten sonra, yukarıda açıklanan parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller ve ARL değerini veren formül aşağıda gösterilmiştir.

$$B(BHÜS / Uyarı Yok) = \frac{\sum_{i=l}^{\infty} i(1-p)^{i-1} p}{(1-p)^{AKS-1}}$$

$$B(BHÜS / Uyarı Var) = \frac{\sum_{i=l}^{l-1} i(1-p)^{i-1} p}{1 - (1-p)^{AKS-1}} \quad (26)$$

$$B(P) = \frac{1}{1 - (1-p)^{AKS-1}}$$

olmak üzere, yukarıdaki eşitlikler Denklem 22' de yerine konulduğunda;

$$ARL = \frac{1}{1 - (1-p)^{AKS-1}} \times \frac{\sum_{i=l}^{\infty} i(1-p)^{i-1} p}{(1-p)^{AKS-1}} + \frac{\sum_{i=l}^{l-1} i(1-p)^{i-1} p}{1 - (1-p)^{AKS-1}} \quad (27)$$

olarak ortaya çıkar.

Denklem 27' nin düzenlenmesi ile ARL değerinin bulunmasını sağlayan formül aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$ARL = l + \frac{1-p}{p} + \frac{1}{p[1 - (1-p)^{l-1}]} \quad (28)$$

Süreç, p_0 kusurlu oranı ile kontrol altında ise, herhangi bir uyarı oluşmadan önce alınacak ortalama örnek sayısı;

$$ARL_1 = l + \frac{1-p_0}{p_0} + \frac{1}{p_0[1-(1-p_0)^{l-1}]} \quad (29)$$

olur.

Süreç kusurlu oranı p_1 e değiştiğinde ise bu değişimi belirleyebilmek için alınması gereken örnek sayısı;

$$ARL_2 = l + \frac{1-p_1}{p_1} + \frac{1}{p_1[1-(1-p_1)^{l-1}]} \quad (30)$$

olur.

Chung'ın çözüm yaklaşımı ve türetilen ARL değerleri temel alınarak, en iyi tasarım parametrelerinin bulunması algoritması şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Anlamlı bir araştırma aralığına ait bir l_0 değeri elde et ($l_a \leq l_0 \leq l_b$).
- 2) Bu l_0 değerini kullanarak, Denklem 29 ve 30 aracılığıyla, ARL_1 ve ARL_2 değerlerini hesapla.
- 3) Denklem 21' i kullanarak bir h_0 değeri hesapla.
- 4) $C(l, h)$ fonksiyonunu (Denklem 3) kullanarak bir maliyet değeri elde et.
- 5) 1 – 4 adımlarını tekrar ederek $C^* = \underset{l_a \leq l_0 \leq l_b}{\text{enk}} [C(l_0, h_0)] = C(l^*, h^*)$ değerini bul.
- 6) l^* ve h^* değerleri yaklaşık en küçük maliyet olan C^* değerini verir ve BHÜS kontrol grafiği için en iyi ekonomik tasarım parametrelerini oluşturur.

5.3. Kontrol Grafiklerinde Ekonomik Tasarımın Olumsuz Yönleri ve Uygulama Zorlukları

Maliyet, bir kontrol grafiğinin performansını değerlendirmeye yönelik önemli ölçütlerden bir tanesidir. Bu nedenle kontrol grafiklerinin ekonomik olarak tasarlanması önemli ve birçok avantaj sağlayan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kontrol grafiklerinde ekonomik tasarımın avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Woodall (1986, 1987), ekonomik olarak tasarlanmış kontrol grafiklerini, klasik istatistiksel tasarıma göre oluşturulmuş olanlara göre daha yüksek I. tip hata olasılığına sahip olması yönüyle eleştirmiştir. Bu durum, ekonomik tasarım ile oluşturulmuş kontrol grafiklerinin istatistiksel tasarıma göre oluşturulmalardan daha fazla yanlış uyarıya yol açacağını gösterir ki bu kullanıcının istemeyeceği bir durumdur. Kontrol grafiği çok fazla yanlış uyarı verdiğinde uygulayıcı bunları süreçte gerçek bozulmalar olarak algılayabilir ve süreci tamamen durdurma veya süreçte gereksiz ayarlamalar yapma yoluna gidebilir. Her iki durumda da kullanıcı gereksiz bir maliyete katlanmak durumunda kalabilir. Üstelik süreçte daha sık yeni düzenlemelerin yapılması, kalite karakteristiğinin değişkenliğini de arttırabilecektir.

Woodall aynı zamanda, kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımını, kusurlu bir ürünün müşteriye gitmesi maliyeti gibi sayısal olarak ölçülmesi zor olan bazı parametreler içerdiği için de, uygulama zorluğu açısından eleştirmiştir.

Bu olumsuzluklardan bazılarının üstesinden gelinebilir. Bunun bir yolu, ekonomik tasarımın, yanlış uyarı olasılığı (I. tip hata olasılığı- α), süreç kontrol dışında iken kontrol altında görülmesi olasılığı (II. tip hata olasılığı- β), ortalama çalışma süresi gibi bazı istatistiksel özellikler de göz önüne alınarak değerlendirilmesidir. Yapılan tasarım çalışması sonucunda, eğer bu özelliklerden herhangi biri arzu edilmeyen bir seviyede ise, bu, modelde bazı kısıtların da kullanılması gerektiği sonucunu verebilir. Maliyet fonksiyonunun I. ve II. tip hata olasılıkları, ortalama çalışma süresi veya diğer istatistiksel özellikler üzerine uygun kısıtlar gözetilerek eniyilenmesi önerilen bir yoldur. (Montgomery, 2009)

Saniga (1989) $\bar{X}$ ve R kontrol grafikleri için, bu şekilde bir ekonomik – istatistiksel tasarım çalışması sunmuştur. Saniga’ nın sunduğu bu ekonomik – istatistiksel tasarım, ekonomik tasarıma göre daha yüksek maliyetlidir fakat istatistiksel özellikler açısından daha iyi sonuç vermiştir. Saniga’ nın bu yaklaşımı pratikte kullanılması tavsiye edilen bir yaklaşımdır (Montgomery, 2009).

Kontrol grafiği tasarımı ekonomik modeller endüstri uygulamalarında çok az ele alınmış bir konudur (Saniga ve Shirland, 1977; Chiu ve Wetherill, 1975). Birçok kalite mühendisinin, istatistiksel süreç kontrolü çalışmalarının esas amacının, maliyetleri azaltması olduğunu iddia etmesine rağmen ekonomik tasarım modellerinin uygulamada böylesine az kullanılması şaşırtıcıdır.

Yöntemin pratikte az kullanılmasının iki nedeni vardır. Birincisi matematiksel modellerin ve bu modellerle ilişkili eniyileme süreçlerinin oldukça karmaşık olması ve uygulayıcının zor anlayacağı bir dilde anlatılmasıdır. Bu karmaşık modelleri çözmek için, her geçen gün daha fazla bilgisayar programına ve basitleştirilmiş eniyileme yöntemlerine ulaşılmaktadır. Bu çalışmada açıklanan Chung' un sunduğu eniyileme yöntemi bu basitleştirilmiş yöntemlere bir örnektir.

İkinci neden ise maliyet ve diğer model parametrelerinin tahmin edilmesindeki güçlölüktür. Maliyet parametrelerinin çok yüksek hassasiyetle tahmin edilmesi zorunlu olmasa bile kusurlu oranları gibi diğer süreç parametrelerinin tahmininin doğru bir şekilde yapılması önemlidir. Kullanıcı, duyarlılık analizi gibi yöntemlerle, modelin hangi parametrelerinin kritik öneme sahip olduğunu belirleyebilir (Montgomery, 2009).

BÖLÜM 6

BİRİKİMLİ HATASIZ ÜRÜN SAYISI KONTROL GRAFİĞİNİN EKONOMİK TASARIMI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Çalışmanın bu kısmında birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı üzerine bir uygulama çalışması sunulmuştur.

6.1. Uygulama Çalışması

Uygulama çalışması ARIKAN KRİKO ve MAKİNE SANAYİ TİCARET A. Ş. de yapılmıştır. Öncelikle üretim kapasitesi yüksek ve kusurlu oranı düşük olan bir üretim süreci belirlenmiştir. Daha sonra ise bu üretim sürecine ait, bir önceki bölümde belirtilen model parametrelerini belirlemeye yönelik bir veri toplama çalışması yapılmıştır. Veriler toplanırken işletmenin ilgili bölümlerine ilişkin maliyet kayıtlarından, bazı temel muhasebe kayıtlarından ve işletme çalışanlarından elde edilen bilgilerden yararlanılmıştır.

Belirlenen üretim sürecinde, krikolarda kullanılan sonsuz vida mil üretimi yapılmaktadır. Vida mil, krikonun aşağı ve yukarı indirilip kaldırılmasında kullanılan önemli ve üretim sürecinde hassas davranılması gereken bir parçadır. Parçanın üretim sürecinde ezdirme metodu ile diş çekilmektedir. Sonuçta ortaya 12 mm çapında ve 2 mm diş hatvesine sahip bir parça çıkmaktadır.

Vida milin üretildiği atölyede haftada 6 gün, günde 3 vardiya çalışmaktadır ve her bir vardiya 7,5 saatten oluşmaktadır.

Ürün 1 vardiyada 1400 adet olmak üzere günde 4200 adet üretilmektedir. Saatlik üretim miktarı ise,

$$\frac{3 \cdot 1400}{3 \cdot 7,5} = 187 \text{ adet/saat}$$

olarak bulunur.

Üretim süreci boyunca günde en az 1 adet, en fazla 3 adet kusurlu ürün ile karşılaşmaktadır. Kusurlu oranının bu derece düşük olması ele alınan sürecin yüksek kaliteli bir süreç olduğunun kanıtıdır. Kusurlu parçalar yeniden işlenmemekte, hurdaya çıkarılmaktadır. Kusurlu bir mil kullanılarak üretilen bir kriko gözden kaçırılarak müşteriye gittiğinde ve müşteriden şikâyet geldiğinde ise, hata müşteri kaynaklı olsa bile, ürün değişimi yapılmaktadır. 1 adet hatalı ürünün müşteriye gitmesinin üreticiye maliyeti, 1 adet krikonun satış fiyatı olmaktadır. Bu şekilde yılda ortalama olarak 60 adet ürün değiştirilmektedir. Bir adet krikonun satış fiyatı 10 TL, sadece ele alınan parça olan milin bu fiyat içerisindeki payı ise 0,6 TL dir.

Sürecin kontrolü için üretilen her 100 adet parçada 1 adet parça 20 saniyede kontrol edilmektedir. Gerçekleştirilecek uygulama çalışmasında, 2 kusurlu parça arasındaki sağlam parça sayısının bulunabilmesi için en sağlıklı yol, üretilen tüm parçaların kontrol edilmesi, %100 muayene ile çalışılmasıdır. Fakat ele alınan süreçte böyle bir yol izlenmemekte bunun yerine 100 adet parçada 1 adet parçanın örneklenerek kontrol edilmesi yolu izlenmektedir. Çalışmada, bu durumun yaratacağı olumsuzlukları yok etmek için süreçte % 100 muayene ile çalışıldığı varsayılacaktır.

Kontrol, parçanın dış üstü çapı ölçülerek yapılmakta ve çap değeri spesifikasyonlara uymayan parçalar kusurlu olarak ayrılmaktadır. Kontrol aleti olarak dijital kumpas ve geçer – geçmez johnson mastarı kullanılmaktadır. Ayrıca, her vardiya başında üretim 10 dakika durdurulmakta ve laboratuarda profil projektör, bir anlamda büyüteçle profilin uygunluğuna bakılmaktadır. Kullanılan dijital kumpasın değeri 324 TL’dir ve her yıl 43 TL kalibre bedeli vardır. Kullanım ömrü ise 5 yıldır. Geçer – geçmez mastarın değeri 540 TL’ dir, her yıl 65 TL kalibre bedeli vardır ve kullanım ömrü 5 yıldır. Profil projektör ise 65000 TL değerindedir, bakımı yoktur ve 50 yıl kullanım ömrüne sahiptir. Kalite kontrol çalışanları tarafından vardiyada 5 dakika süreç kontrolü yapılmaktadır. Alınan örneklerin kontrolünü ise operatör kendisi yapmaktadır. Operatörün aylık ortalama brüt maaşı 1100 TL, kalite kontrol biriminde çalışan kişilerin aylık ortalama brüt maaşı ise 1600 TL dir.

Geçmiş gözlem ve deneyimlere göre ayda ortalama olarak 1 defa sürecin parametreleri bozulmaktadır. Bakım – onarım ekibi sürecin akışını bozan sorunu 10 dakika süren bir araştırma sonucu anlamakta ve 1 saat süren bir düzeltme çalışması sonucunda da tezgah parametreleri yeni hale getirilmektedir. Onarım çalışması boyunca işçilik maliyetleri ve üretim kaybının getirdiği maliyet söz konusu olmaktadır. Süreci bozan özel nedenin araştırılması ve tezgah parametrelerinin uygun değerlerine getirilmesi (sürecin düzeltilmesi) süresi boyunca üretim durmaktadır. Bakım – onarım ekibinde toplam 5 kişi çalışmaktadır ve her bir çalışanın aylık ortalama brüt maaşı 1500 TL dir.

Elde edilen bu verilerden hareketle maliyet modelindeki parametrelerin sayısal değerleri bulunmuştur. Modelde kullanılan parametreler, bu parametrelerin sayısal değerlerinin hesaplanış şekilleri ve hesaplanmış değerler aşağıda gösterilmiştir:

1) Süreç kontrol altında iken kusurlu oranı (p_0)

Süreç kontrol altında iken 1 gün boyunca üretilen 4200 adet parçada en az 1, en fazla 3 adet parça kusurlu olarak çıkmaktadır. Çalışmada, 4200 adet parçada ortalama olarak 2 adet parçanın kusurlu olarak elde edildiği düşüncesi ile hareket edilecektir. Bu düşünceye göre süreç kontrol altında iken kusurlu oranı;

$$\frac{2}{4200} = 0,00047$$

olarak elde edilir.

2) Süreç kontrol dışı iken kusurlu oranı (p_1)

Ele alınan süreç, çok nadir olarak, tezgâh arızası, operatör hatası, malzeme kaynaklı bir hata... vb nedenlerle bozulma gösterdiğinde kontrol dışı olarak

çalışabilmektedir. Süreç kontrol dışı olarak çalıştığında, 1 günde üretilen 4200 adet üründe ortalama olarak 10 adet kusurlu ürün çıkabilmektedir. Buna göre süreç kontrol dışı iken kusurlu oranı;

$$\frac{10}{4200} = 0,0024$$

olarak elde edilir.

3) Bir örneği örneklemek ve grafiğe işaretlemek için gereken süre (E)

Bir örneği örneklemek ve grafiğe işaretlemek için gereken süre aşağıdaki işlem sonucu bulunabilir:

[(Örneklenen ürünün sağlam / kusurlu ayrımı için kontrol edilmesi süresi) · (Bir örnekteki ortalama sağlam ürün sayısı)] + Alınan örnek değerinin kayıt edilmesi süresi

Örneklenen 1 adet ürünün 20 saniyede kontrol edildiği bilinmektedir. Bir örnekte ortalama olarak 2100 adet sağlam ürün olduğu varsayılmıştır. Bunun nedeni, süreç kontrol atında iken 4200 adet üründe ortalama 2 adet kusurlu ürün alınması ve dolayısıyla 2 ardışık kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısının 2100 adet olmasıdır. Alınan örnek değerinin kayıt edilmesi ise çok az bir zaman aldığı için göz ardı edilecektir. Bu bilgiler ışığında bir örneği örneklemek ve grafiğe işaretlemek için gereken süre aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$20sn / ad et 2100a det = 42000sn = 700dk = 11,6 saat$$

4) Yanlış bir uyarının araştırılması için beklenen süre (T₀)

Süreç kontrol dışı olarak görüldüğünde, bu durumun nedeninin araştırılması için geçen süredir.

Daha önce de açıklandığı gibi bakım – onarım ekibi sürecin akışını bozan sorunu 10 dakika süren bir araştırma sonucu anlamaktadır.

5) Özel nedenin bulunması için beklenen süre (T_1)

Süreç kontrol dışı olduğunda bu durumu sağlayan özel nedenin araştırılması için geçen süredir. ($=T_0$)

Bu değer de, bakım – onarım ekibinin sürecin akışını bozan sorunu anlaması için gerekli araştırma süresine eşit olacağı için 10 dakika olarak alınacaktır.

6) Sürecin düzeltilmesi için beklenen süre (T_2)

Özel neden belirlendiğinde bu özel nedenin yok edilmesi için gereken süredir. (Tezgah bozuldu ise tamirat süresi, takım değişim süresi ... vb)

Bakım – onarım ekibi 1 saat süren bir düzeltme çalışması sonucunda tezgâh parametrelerini yeni hale getirmektedir.

7) Süreç kontrol altında iken saat başına kalite maliyeti (C_0)

Süreç kontrol altında iken saat başına kalite maliyeti aşağıdaki işlem sonucu bulunabilir:

(Kusurlu bir ürünün müşteriye gitmesi maliyeti) · (Süreç kontrol altında iken kusurlu oranı) · (1 saatte üretilen ürün sayısı)

1 adet hatalı ürünün müşteriye gitmesi sonucu üreticinin katlandığı maliyetin, 1 adet krikonun satış fiyatı (10 TL) olduğu daha önce belirtilmişti. Süreç kontrol altında iken kusurlu oranının 0,00047 ve 1 saatte üretilen ürün sayısının 187 olduğu da bilindiğine göre bu bilgiler ışığında süreç kontrol altında iken saatlik kalite maliyeti şu şekilde hesaplanır;

$$10 \cdot 0,00047 \cdot 187 = 0,88 \text{ TL}$$

8) Süreç kontrol dışı iken saat başına kalite maliyeti (C_1)

Süreç kontrol dışı iken saat başına kalite maliyeti aşağıdaki işlem sonucu bulunabilir:

$$(\text{Kusurlu bir ürünün müşteriye gitmesi maliyeti}) \cdot (\text{Süreç kontrol dışı iken kusurlu oranı}) \cdot (1 \text{ saatte üretilen ürün sayısı})$$

Süreç kontrol dışı iken kusurlu oranının 0,0024 olduğu bilindiğine göre, süreç kontrol dışında iken kalite maliyeti de 8. maddede yapılan işleme benzer bir işlem ile hesaplanabilir;

$$10 \cdot 0,0024 \cdot 187 = 4,5 \text{ TL}$$

9) Yanlış uyarı maliyeti (Y)

Yanlış uyarı maliyeti aşağıdaki işlem sonucu bulunabilir:

$$[(\text{Uyarının yanlış olduğu anlaşılıncaya kadar (T}_0 \text{ süresi boyunca) üretilebilecek ürün sayısı}) \cdot (\text{Bir ürünün satış fiyatı})] + \text{Yanlış uyarının araştırılması için işçilik maliyeti}$$

Uyarının yanlış olduğu anlaşılıncaya kadar (10 dakika boyunca) üretilebilecek ürün sayısı aşağıdaki işlem ile hesaplanır:

$$\frac{187 \text{ ürün} / \text{saat}}{6} = 31 \text{ ürün} / 10 \text{ dk}$$

Yanlış uyarının araştırılması için işçilik maliyeti ise şu işlem ile bulunur:

$$(\text{Bir bakım-onarım elemanının aylık maaşı} / 43200 \text{ dk}) \cdot T_0$$

Sayısal veriler yukarıdaki formülde yerine konulduğunda;

$$\frac{1500TL / ay}{43200dk} \cdot 10dk = 0,35TL$$

olarak elde edilir. Bu işlemdeki 43200 dakika bir aydaki dakika sayısıdır.

Sonuç olarak bir adet yanlış uyarının üreticiye maliyeti;

$$(31 \cdot 10) + 0,35 = 310,35 TL$$

olarak elde edilir.

10) Özel nedenin araştırılması ve yok edilmesi maliyeti (W)

Özel nedenin araştırılması maliyetini veren işlem aşağıdaki gibi gerçekleşir:

[(Özel neden bulununcaya kadar (T_1 süresi boyunca) üretilebilecek ürün sayısı) · (Bir ürünün satış fiyatı)] + Özel nedenin araştırılması için işçilik maliyeti

Özel neden bulununcaya kadar (10 dakika boyunca) üretilebilecek ürün sayısı aşağıdaki işlem ile hesaplanır:

$$\frac{187ürün / saat}{6} = 31 ürün / 10dk$$

Özel nedenin araştırılması için işçilik maliyeti ise şu işlem ile bulunur:

$$(Bir bakım-onarım elemanının aylık maaşı / 43200 dk) \cdot T_1$$

Sayısal veriler yukarıdaki formülde yerine konulduğunda;

$$\frac{1500TL / ay}{43200dk} \cdot 10dk = 0,35TL$$

olarak elde edilir.

Sonuç olarak özel nedenin araştırılması maliyeti yanlış uyarı maliyetinde olduğu gibi;

$$(31 \cdot 10) + 0,35 = 310,35TL$$

olarak elde edilir.

Özel nedenin yok edilmesi maliyetini veren işlem de aşağıdaki gibi gerçekleşir:

[(Özel neden yok edinceye kadar (T_2 süresi boyunca) üretilebilecek ürün sayısı) · (Bir ürünün satış fiyatı)] + Özel nedenin yok edilmesi için işçilik maliyeti

Özel neden yok edinceye kadar (1 saat boyunca) üretilebilecek ürün sayısı 187 adettir.

Özel nedenin yok edilmesi için işçilik maliyeti ise aşağıdaki işlem ile bulunur:

$$(\text{Bir bakım-onarım elemanının aylık maaşı} / 43200 dk) \cdot T_2$$

Sayısal veriler yukarıdaki formülde yerine konulduğunda;

$$\frac{1500TL / ay}{43200dk} \cdot 60dk = 2,08TL$$

Sonuç olarak özel nedenin yok edilmesi maliyeti;

$$(187 \cdot 10) + 2,08 = 1872,08TL$$

olarak elde edilir.

Yapılan tüm bu hesaplamalardan sonra, özel nedenin araştırılması ve yok edilmesi maliyeti, özel nedenin araştırılması maliyeti ve özel nedenin yok edilmesi maliyetinin toplamı olarak şu şekilde elde edilir;

$$310,35 \text{ TL} + 1872,08 \text{ TL} = 2182,43 \text{ TL}$$

11) Örnek başına sabit maliyet (a)

Süreçten alınan her bir örnek için sabit maliyet, her bir örnekleme için işçilik ve test aletleri maliyetlerinin toplamı olarak elde edilebilir.

Her bir örnekleme için işçilik maliyeti;

(Her bir örnekleme için saniye başına işçilik maliyeti) · (1 ürün için örnekleme süresi) ·

$$(\text{Bir örnekteki ortalama sağlam ürün sayısı}) = \frac{1100\text{TL}}{2592000\text{sn}} \cdot 20\text{sn} \cdot 2100\text{ürün} = 18\text{TL}$$

olarak elde edilir. Bu işlemde, 2592000 sn bir aydaki saniye sayısıdır.

Her bir örnekleme için test aletlerinin maliyeti ise;

Test aletlerinin maliyeti · (Bir örneğin incelenmesi süresi / Test aletlerinin kullanım ömrü)

işlemi sonucu bulunur.

Test aletlerinin maliyeti;

$$\text{Dijital kumpasın maliyeti} = 324 \text{ TL} + (43 \text{ TL} \cdot 5 \text{ yıl}) = 539 \text{ TL}$$

$$\text{Geçer – geçmez mastarın maliyeti} = 540 \text{ TL} + (65 \text{ TL} \cdot 5 \text{ yıl}) = 865 \text{ TL}$$

$$\text{Profil projektör maliyeti} = 65000 \text{ TL}$$

olarak elde edilir.

Bu bilgiler ışığında, her bir örnekleme için test aletlerinin maliyeti ise aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$\left[(539TL + 865TL) \cdot \left(\frac{20sn \times 2100a \det}{155520000sn} \right) + \left[65000TL \cdot \left(\frac{20sn \cdot 2100a \det}{155520000sn} \right) \right] \right] = 2,1 \text{ TL}$$

Burada ki 155520000 saniye 5 yıldaki, 1555200000 saniye ise 50 yıldaki saniye sayısıdır. Buna göre örnek başına sabit maliyet;

$$18 \text{ TL} + 2,1 \text{ TL} = 20,1 \text{ TL}$$

olarak elde edilir.

12) Örneklerde alınan birimler için maliyet (b)

Örneklenen birimler kontrol edildikten sonra tekrar kullanıldığı için bu değer 0 (sıfır) olarak alınmıştır.

13) 1 / sürecin kontrol altında olduğu ortalama süre (λ)

Ortalama olarak ayda 1 defa süreç parametreleri bozulmakta yani süreç kontrol dışına çıkmaktadır. Buna göre sürecin kontrol altında olduğu ortalama süre ve buna bağlı olarak λ değeri;

$$24 \text{ gün} \cdot 22.5 \text{ saat} = 540 \text{ saat}$$

$$\lambda = \frac{1}{540\text{saat}} = 0,00185$$

olarak elde edilir.

14) Özel nedenlerin araştırılması süresi boyunca üretim devam ediyor mu ($\delta_1 = 1, 0$)?

Özel nedenlerin araştırılması süresi boyunca üretim devam etmediğinden,

$$\delta_1 = 0$$

olur.

15) Sürecin düzeltilmesi süresi boyunca üretim devam ediyor mu ($\delta_2 = 1, 0$)?

Sürecin düzeltilmesi süresi boyunca üretim devam etmediğinden,

$$\delta_2 = 0$$

olur.

Özet olarak, maliyet ve süre parametrelerine verilen değerler aşağıdadır;

Bir örneği örneklemek ve grafiğe dökmek için gereken süre (E) = 700 dk = 11,6 saat

Yanlış bir uyarının araştırılması için beklenen süre (T_0) = 10 dk = 0,16 saat

Özel nedenin bulunması için beklenen süre (T_1) = 10 dk = 0,16 saat

Sürecin düzeltilmesi için beklenen süre (T_2) = 60 dk = 1 saat

Süreç kontrol altında iken saat başına kalite maliyeti (C_0) = 0,88 TL/saat

Süreç kontrol dışında iken saat başına kalite maliyeti (C_1) = 4,5 TL/saat

Yanlış uyarı maliyeti (Y) = 310,35 TL

Özel nedenin bulunması ve onarılması maliyeti (W) = 2182,43 TL

Örnek başına sabit maliyet (a) = 20,1 TL

Örneklerde alınan birimler için maliyet (b) = 0 TL

Süreç parametrelerine verilen değerler ise şu şekildedir;

1 / Sürecin kontrol altında olduğu ortalama süre (λ) = 0,00185

Özel nedenlerin araştırılması süresi boyunca üretim devam etmiyor $\rightarrow \delta_1 = 0$

Sürecin düzeltilmesi süresi boyunca üretim devam etmiyor $\rightarrow \delta_2 = 0$

Süreç Kontrol Altında İken Kusurlu Oranı (p_0) = 0,00047

Süreç Kontrol Dışı İken Kusurlu Oranı (p_1) = 0,0024

6.2. Modelin Çözümü ve Sonuçlar

Maliyet, süre ve süreç parametreleri belirlendikten sonra, MATLAB yazılımı kullanılarak bir program yazılmıştır. Hazırlanan bu program ile, ilgilenilen sürece ait parametreler kullanılarak, BHÜS kontrol grafiği için en uygun tasarım parametreleri ve bu tasarım parametreleri kullanıldığı zaman elde edilecek en iyi saatlik çevrim maliyeti belirlenmiş, elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Daha sonra ise değişik p_1 (süreç kontrol dışında iken üretilmesi beklenen kusurlu oranı) ve p_0 (süreç kontrol altında iken üretilmesi beklenen kusurlu oranı) değerlerine göre en uygun tasarım parametreleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir. Son olarak bu tablolardan elde edilen bilgiler yorumlanmıştır.

Program yazılırken, daha önceki bölümde açıklanan en iyi tasarım parametrelerinin bulunması algoritması temel alınmıştır. 1 ile 1000 arasındaki tüm alt kontrol sınırı değerleri için maliyet değerlerinin hesaplatılmasını ve en küçük maliyet değerini veren alt kontrol sınırı ile örnekleme aralığının seçilmesini sağlayan bir program oluşturulmuştur. Hazırlanan program EK 2' de verilmiştir.

Hazırlanan program ile belirlenen en uygun kontrol grafiği tasarım parametreleri ve bu tasarım parametreleri kullanıldığı zaman elde edilecek en uygun saatlik çevrim maliyeti aşağıda verilmiştir;

En küçük maliyet değeri (C^*) = 11,68 TL / saat.

Oluşturulacak BHÜS kontrol grafiği için en uygun alt kontrol sınırı değeri (l^*) = 404.

En uygun örnekleme aralığı değeri (h^*) = 2,8161 saat.

En uygun tasarım parametreleri (l^* ve h^*) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman, süreç kontrol altında iken ortalama çalışma süresi değeri ($ARL1_{opt}$) = 14859 adet.

En uygun tasarım parametreleri (l^* ve h^*) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman, süreç kontrol dışı iken ortalama çalışma süresi değeri ($ARL2_{opt}$) = 1491 adet.

En uygun tasarım parametreleri (l^* ve h^*) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman oluşacak yanlış uyarı olasılığı (α^*) = 0,1726.

En uygun tasarım parametreleri (l^* ve h^*) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman oluşacak süreç kontrol dışında iken kontrol altında görülmesi olasılığı (β^*) = 0,3797

Elde edilen bilgilere göre, ele alınan sürecin kontrolü için oluşturulacak BHÜS kontrol grafiğinin alt kontrol sınırı 404 olarak belirlenmeli ve süreçten yaklaşık olarak 2,8 saatte bir örnek alınmalıdır. Alınan örneklerde 2 ardışık kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayıları belirlenmeli ve bu değerler grafiğe işaretlenerek elde edilen sonuçlar yorumlanmalıdır. Şüphesiz ki bu yolla oluşturulan bir kontrol grafiğinde herhangi bir örnek değeri 404 ün altında olduğunda süreç kontrol dışı olarak değerlendirilecektir.

Elde edilen en uygun parametrelere göre bir istatistiksel süreç kontrolü çalışması yapıldığında, saatlik çevrim maliyeti yaklaşık olarak 12 TL olacaktır.

Bu şekilde oluşturulan bir kontrol grafiği kullanıldığı zaman ortalama olarak 14859 adet ürün alındıktan sonra yanlış uyarı oluşabilecektir. Süreç kontrol dışı olduğunda ise bu durum ortalama olarak 1491 adet ürün alındıktan sonra belirlenebilecektir.

Yine, yukarıdaki alt kontrol sınırı ve örnekleme aralığı parametreleri ile oluşturulacak bir kontrol grafiği kullanıldığı zaman yaklaşık % 17 olasılıkla yanıltıcı

sonuç (yanlış uyarı) elde edilebilecektir. Süreç herhangi bir nedenle bozulma gösterip kontrol dışına çıktığında ise bu durumun fark edilmemesi olasılığı yaklaşık olarak % 38 olacaktır.

Daha önce, süreç kontrol altında iken 1 gün boyunca üretilen 4200 adet parçada en az 1, en fazla 3 adet parçanın kusurlu olarak çıktığı belirtilmişti. Çizelge 6.1' de, süreç kontrol altında iken kusurlu oranının, ortalama değeri, en az değeri ve en çok değerine göre hesaplanmış en uygun kontrol grafiği tasarım parametreleri ve bu tasarım parametreleri kullanıldığı zaman elde edilecek en uygun saatlik çevrim maliyetleri gösterilmiştir.

Süreç kontrol altındayken kusurlu oranının (p_0) en az ve en çok değerleri;

$$\text{En az } p_0 = \frac{1}{4200} = 0,000238$$

$$\text{En çok } p_0 = \frac{3}{4200} = 0,000714$$

olarak hesaplanır.

Çizelge 6.1: Süreç kontrol altında iken kusurlu oranının, ortalama değeri ile birlikte en az ve en çok değerleri de kullanılarak hesaplanmış en uygun kontrol grafiği tasarım parametreleri ve en uygun saatlik çevrim maliyeti

p_0	p_1	l^*	h^*	ARL1*	ARL2*	C^*	α^*	β^*
0,000238	0,0024	403	2,8	50649	1491	11,7	0,0913	0,38
0,00047	0,0024	404	2,8161	14859	1491	11,68	0,1726	0,3797
0,000714	0,0024	406	2,826	7381	1491	11,65	0,2512	0,3779

6.3. Birikimli Hatasız Ürün Sayısı Kontrol Grafiğinin Ekonomik Tasarımı İle Klasik Tasarımının Karşılaştırılması

Aşağıda klasik tasarım ile oluşturulacak bir BHÜS kontrol grafiğinin alt kontrol sınırı değeri hesaplanmıştır. Hesaplama, yanlış uyarı olasılığı (α) ve kusurlu oranı (p) değerleri ekonomik tasarımda olduğu gibi alınmıştır.

$\alpha = 0,1726$, $p_0 = 0,00047$ olmak üzere;

$$\text{Alt kontrol sınırı} = \frac{\ln(1-(\alpha/2))}{\ln(1-p)} = \frac{\ln(1-(0,1726/2))}{\ln(1-0,00047)} = \frac{\ln(0,9137)}{\ln(0,99953)} = 192$$

olarak hesaplanır.

Klasik yolla hesaplanan alt kontrol sınırı ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman elde edilecek maliyet ve diğer değerler aşağıda belirtilmiştir. Belirtilen bu değerler ekonomik tasarım ile klasik tasarım arasında bir kıyaslama yapılmasına olanak sağlayacaktır. En uygun maliyet değeri ve kontrol grafiği tasarım parametreleri;

En küçük maliyet değeri (C) = 12,6107 TL / saat,

En uygun örnekleme aralığı değeri (h) = 2,4912 saat,

Klasik yolla hesaplanan tasarım parametreleri (l ve h) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman, süreç kontrol altında iken ortalama uygulama uzunluğu değeri (ARL_1) = 27094 adet,

Klasik yolla hesaplanan tasarım parametreleri (l ve h) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman, süreç kontrol dışı iken ortalama uygulama uzunluğu değeri (ARL_2) = 1740 adet,

Klasik yolla hesaplanan tasarım parametreleri (l ve h) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman oluşacak yanlış uyarı olasılığı (α) = 0,1726,

Klasik yolla hesaplanan tasarım parametreleri (l ve h) ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman oluşacak süreç kontrol dışında iken kontrol altında görülmesi olasılığı (β) = 0,6319

olarak belirlenir.

Görüldüğü gibi ekonomik tasarım ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman süreç kontrol dışında iken kontrol altında görülmesi olasılığı (II. Tip hata olasılığı – β) klasik tasarıma göre çok daha küçük olmaktadır. Saatlik çevrim maliyeti değerleri arasında da yaklaşık 1 TL fark olduğu görülmektedir. Bu durum, ekonomik tasarım ile oluşturulan kontrol grafiği kullanımının en uygun maliyeti sağlamanın yanında, klasik tasarıma göre daha küçük bir II. tip hata olasılığı sağlması ile de avantajlı olduğunu göstermektedir. Klasik tasarımla oluşturulan kontrol grafiğinde, süreç kontrol dışındayken ortalama çalışma süresi (ARL_2) değerinin ekonomik tasarıma göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da ekonomik tasarımla oluşturulan kontrol grafiklerinin daha düşük II. tip hata olasılığına sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Burada dikkat edilmesi gereken bir başka durum da, ekonomik tasarımla oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman süreç kontrol altında iken ortalama çalışma süresinin, yani süreç kontrol altında iken yanlış bir uyarı oluşana kadar alınan birim sayısının klasik tasarıma göre daha düşük olmasıdır. Bu durum, ekonomik tasarım ile oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman daha sık olarak yanlış uyarı alınacağını işaretidir. Klasik tasarımla alt kontrol sınırı oluşturulurken kullanılan yanlış uyarı olasılığının, ekonomik tasarımdakiyle aynı olduğu göz önünde bulundurulursa, bu sonucun şaşırtıcı olduğu görülecektir. Elde edilen ARL_1 değerlerine bakılarak, klasik tasarımla oluşturulan kontrol grafiği kullanıldığı zaman oluşacak gerçek yanlış uyarı olasılığının, ekonomik tasarıma göre daha düşük olacağı yorumu yapılabilir.

6.4. Değişik p_0 ve p_1 Değerleri İçin En İyi Tasarım Parametreleri

Bu bölümde, süreç kontrol altında iken kusurlu oranı (p_0) ve süreç kontrol dışı iken kusurlu oranı (p_1) parametrelerinin değişik değerleri için en uygun tasarım parametreleri (l^* ve h^*) ve bu tasarım parametreleri kullanılarak kontrol grafiği oluşturulduğunda elde edilecek en uygun ara parametre değerleri ($ARL1^*$, $ARL2^*$ ve C^*) hazırlanan program kullanılarak bulunmuştur. Diğer parametreler daha önce belirtilen değerleri ile kullanılmıştır. Parametreler,

$E = 700$ dk = 11,6 saat	$Y = 310,35$ TL
$T_0 = 10$ dk = 0,16 saat	$W = 2182,43$ TL
$T_1 = 10$ dk = 0,16 saat	$a = 20,1$ TL
$T_2 = 60$ dk = 1 saat	$b = 0$ TL
$C_0 = 0,88$ TL/saat	$\lambda = 0,00185$
$C_1 = 4,5$ TL/saat	$\delta_1 = 0 \quad \delta_2 = 0$

olarak alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3' de gösterilmiştir. Çizelgelerde, bu tasarım parametreleri ile oluşturulan bir kontrol grafiği kullanıldığı zaman, süreç kontrol altında olduğu halde grafiğin kontrol dışı uyarısı vermesi olasılığı (yanlış uyarı olasılığı - α^*) ve süreç kontrol dışında iken grafiğin kontrol altında göstermesi olasılığı (β^*) değerleri de görülebilmektedir.

Çizelge 6.2' de p_0 in sabit bir değerine karşılık p_1 in değişik değerlerine göre belirlenen parametre değerleri, Çizelge 6.3' de ise p_1 in sabit bir değerine karşılık p_0 in değişik değerlerine göre belirlenen parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'de ayrıca, ekonomik tasarım yöntemi kullanılmadan, sadece yanlış uyarı olasılığı ve kusurlu oranı değerleri aracılığıyla hesaplanan klasik alt kontrol sınırı değeri ve bu durumdaki β değeri de verilmiştir. Bu değerlerin de verilmesi hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı ve klasik

istatistiksel tasarımı arasında bir kıyaslama yapabilmemize olanak sağlayacaktır. Klasik tasarımda kullanılan α (yanlış uyarı olasılığı) değerleri, ekonomik tasarımda elde edilen α^* değerleri ile aynı olarak alınmıştır.

Çizelge 6.2: p_0 in sabit bir değerine karşılık p_1 in değişik değerlerine göre belirlenen parametre değerleri

p_0	p_1	I^*	h^*	ARL1*	ARL2*	C^*	α^*	β^*	$I(\text{klasik})$	$\beta(\text{klasik})$
0,0005	0,001	973	1,4724	8167	3580	18	0,385	0,3781	427,5175	0,652639
0,0005	0,002	486	2,44	11771	1790	12,76	0,2154	0,3787	227,8488	0,634986
0,0005	0,003	323	3,36	15768	1193	10,5248	0,1487	0,3801	154,4795	0,63057
0,0005	0,004	242	4,26	19854	894,6	9,27	0,1135	0,3806	116,8186	0,628636
0,0005	0,005	194	5,14	23929	715,6	8,46	0,092	0,3801	94,15967	0,626901
0,0005	0,006	161	6,02	28167	596,3	7,89	0,0769	0,3818	78,39782	0,627642
0,0005	0,007	138	6,9	32338	511	7,47	0,0662	0,382	67,30357	0,62766
0,0005	0,008	121	7,77	36455	447	7,14	0,0582	0,3814	59,04884	0,627345
0,0005	0,009	108	8,64	40490	397,3	6,88	0,0521	0,3801	52,77742	0,626187
0,0005	0,01	97	9,5	44760	357,5	6,67	0,0469	0,381	47,44679	0,627002
0,0005	0,02	49	18,2	86364	178,5	5,66	0,0237	0,3792	23,83558	0,630438
0,0005	0,03	33	26,9	128000	118,8	5,3	0,0159	0,3773	15,95955	0,634032
0,0005	0,04	25	35,6	169650	89	5,12	0,0119	0,3754	11,93256	0,639999
0,0005	0,05	20	44,4	213490	71	5,01	0,0095	0,3774	9,520253	0,645951
0,0005	0,06	17	53,2	252950	59	4,94	0,008	0,3716	8,014039	0,647915
0,0005	0,07	14	62	310630	50,7	4,88	0,0065	0,3893	6,508958	0,670462
0,0005	0,08	13	71	336260	44,2	4,84	0,006	0,3677	6,007516	0,658669
0,0005	0,09	11	80	402910	39,3	4,81	0,005	0,3894	5,005009	0,685426

Çizelge 6.3: p_1 in sabit bir değerine karşılık p_0 in değişik değerlerine göre belirlenen parametre değerleri

p_0	p_1	l^*	h^*	ARL1*	ARL2*	C^*	α^*	β^*	$l(\text{klasik})$	$\beta(\text{klasik})$
0,0001	0,05	20	44,37	5277900	71	5,01	0,0019	0,3774	9,50404	0,646488
0,0002	0,05	20	44,37	1323200	71	5,01	0,0038	0,3774	9,508086	0,646354
0,0003	0,05	20	44,37	589730	71	5,01	0,0057	0,3774	9,512136	0,64622
0,0004	0,05	20	44,37	332650	71	5,01	0,0076	0,3774	9,516192	0,646085
0,0005	0,05	20	44,37	213490	71	5,01	0,0095	0,3774	9,520253	0,645951
0,0006	0,05	20	44,37	148680	71	5,01	0,0113	0,3774	9,440536	0,648598
0,0007	0,05	20	44,37	109540	71	5,01	0,0132	0,3774	9,456512	0,648066
0,0008	0,05	20	44,37	84100	71	5,01	0,0151	0,3774	9,469517	0,647634
0,0009	0,05	20	44,37	66635	71	5,01	0,017	0,3774	9,480543	0,647268
0,001	0,05	20	44,37	54126	71	5,01	0,0188	0,3774	9,439736	0,648624
0,002	0,05	20	44,38	13915	71	5,01	0,0373	0,3774	9,403636	0,649826
0,003	0,05	20	44,4	6360	71	5,01	0,0555	0,3774	9,36669	0,651059
0,004	0,05	20	44,4	3678	71	5,01	0,0733	0,3774	9,31594	0,652756
0,005	0,05	20	44,4	2420	71	5,01	0,09	0,3774	9,185746	0,65713
0,006	0,05	20	44,4	1728	71	5,01	0,108	0,3774	9,224334	0,65583
0,007	0,05	20	44,5	1305	71	5,01	0,1249	0,3774	9,17989	0,657327
0,008	0,05	20	44,5	1027	71	5,01	0,1415	0,3774	9,135446	0,658827
0,009	0,05	20	44,6	834	71	5,01	0,1578	0,3774	9,090697	0,660341

p_0 : Süreç kontrol altında iken beklenen kusurlu oranı

p_1 : Süreç kontrol dışında iken beklenen kusurlu oranı

l^* : Hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiği için en uygun tek yönlü kontrol sınırı

h^* : En uygun örnekleme aralığı

ARL1* : En uygun tasarım parametreleri ile kurulan grafik için süreç kontrol altında iken ortalama çalışma süresi

ARL2* : En uygun tasarım parametreleri ile kurulan grafik için süreç kontrol dışında iken ortalama çalışma süresi

C^* : En iyi beklenen toplam maliyet / saat

α^* : En uygun tasarım parametreleri ile kurulan grafik için yanlış uyarı olasılığı (Süreç kontrol altındayken kontrol dışı görülmesi olasılığı)

β^* : En uygun tasarım parametreleri ile kurulan grafik için süreç kontrol dışına çıktığında kontrol altında görülmesi olasılığı

$l(\text{klasik})$: Klasik tasarımla kurulan grafik için alt kontrol sınırı değeri

β (klasik) : Klasik tasarımla kurulan grafik için süreç kontrol dışına çıktığında kontrol altında görülmesi olasılığı

Çizelge 6.2'ye göre, klasik yolla oluşturulan hatasız ürünlerin birikimli toplamı kontrol grafiğinde alt kontrol sınırı, her zaman ekonomik tasarım ile oluşturulan alt kontrol sınırı değerinin altında olmaktadır. Bu düşük alt kontrol sınırı değerinden dolayı, sürecin kontrol dışına çıktığı durumlarda bile kontrol altında görülmesi olasılığı (β) çok yüksek değerlerde seyredecektir. Bu durum tablodan da açıkça görülmektedir. Ekonomik tasarım ile oluşturulan grafiklerde, özellikle p_1 değerinin yüksek olduğu durumlarda, alt-kontrol sınırı değeri daha düşük olacaktır. p_1 değerinin yüksekliğinden dolayı süreç kontrol dışına çıktığında bu kontrol dışılık durumu daha büyük olasılıkla fark edilebilecektir. Ayrıca, p_1 değeri arttıkça kontrol sınırı değerinin azalması süreç kontrol altındayken ortalama çalışma süresini (ARL_1) da arttıracaktır.

Çizelge 6.2'den elde edilebilecek başka bir bilgi de, p_0 değeri sabitken p_1 değerinin arttığı yani alt kontrol sınırı değerinin azaldığı durumlarda, süreç kontrol altındayken ortalama çalışma süresinin (ARL_1) artması dolayısıyla yanlış uyarı olasılığının (α) da azalacağıdır. Bu, normal bir durumdur çünkü alt kontrol sınırı değeri azaldıkça, daha az örnek değeri alt kontrol sınırının altında çıkacak ve süreç kontrol altında olduğunda kontrol dışı görülmesi olasılığı azalacaktır. Ekonomik tasarımla oluşturulan grafiğin, süreç kontrol dışına çıktığında bu kontrol dışılık durumunu belirleyebilmesi olasılığının p_1 değeri arttıkça arttığı çizelgeden gözlemlenmişti. Bu durumla paralel olarak süreç kontrol dışında iken ortalama çalışma süresi (ARL_2) değeri de p_1 değeri arttıkça azalmaktadır.

Çizelge 6.3' e göre, klasik yolla oluşturulan alt kontrol sınırı değerleri p_0 değeri arttıkça azalmaktadır. Bu yüzden süreç kontrol dışına çıktığında bunun anlaşılamaması olasılığı olan β değeri de büyük değerlere taşınmaktadır. Bu durum bize klasik yolla kurulan birikimli hatasız ürün kontrol grafiğinin, süreç kusurlu oranı çok düşük değerlerde olduğunda kullanılmasının daha anlamlı olacağını göstermektedir. Süreç kontrol altındayken ortalama çalışma süresi (ARL_1) değerinin de, süreç kontrol altındayken kusurlu oranı değeri (p_0) arttıkça, alt kontrol sınırı değeri sabit kalsa bile,

azaldığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni süreç kontrol altındayken kusurlu oranı yüksek değerlerde seyrettiğinde, yanlış bir uyarı oluşması olasılığının artmasıdır. Yanlış uyarı olasılığının (α) artması durumu da Çizelge 6.3' den gözlemlenebilmektedir. p_1 değeri nispeten yüksek bir değer seçildiğinden dolayı ARL_2 değerlerinin çok düşük seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Klasik tasarımla oluşturulan kontrol grafiğinin süreç kontrol dışına çıktığında bu kontrol dışılık durumunu yakalayamaması olasılığının (β), ekonomik tasarımla oluşturulan grafiğe oranla, p_0 ın her değerinde çok daha büyük olduğu Çizelge 6.3' de görülmektedir.

6.5. Modelin Duyarlılık Analizi

EK 3' de verilen çizelgede, değişik maliyet, süre ve süreç parametreleri kullanılarak bulunan en uygun ekonomik tasarım parametreleri ve en iyi saatlik çevrim maliyetleri verilmiştir. Çizelge oluşturulurken, diğer parametreler sabit tutularak, her seferinde bir maliyet, süre veya süreç parametresinin (p_0 ve p_1 hariç) değişik seviyeleri alınmış, en iyi ekonomik tasarım parametreleri ve saatlik çevrim maliyetleri, oluşturulan bu maliyet, süre ve süreç parametreleri birleşimleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge aracılığı ile modelin duyarlılık analizinin yapılabileceği açıktır. Görüldüğü gibi, saatlik çevrim maliyeti (C^*) değeri en fazla, λ (1/sürecin kontrol altında olduğu ortalama süre), C_0 (süreç kontrol altındayken kalite maliyeti) ve C_1 (süreç kontrol dışıyken kalite maliyeti) parametrelerinin değişiminden etkilenmektedir. Diğer maliyet ve süre parametrelerinin değişimlerinden ise çok az miktarda etkilenmektedir. En uygun kontrol sınırı değerinin (l^*) ise, parametrelerin değişiminden etkilenmediği anlaşılmaktadır. Çizelgeden ayrıca, en uygun örnekleme aralığı (h^*) değerinin, en fazla, λ , C_0 ve C_1 parametrelerinin değişiminden etkilendiği gözlemlenebilmektedir. a (örnek başına sabit maliyet) ve b (örneklerde alınan birimler için maliyet) parametrelerinin ise örnekleme aralığını çok az miktarlarda etkilediği görülmektedir. λ değerindeki % 100 oranında bir artış, C^* değerinde yaklaşık % 33 oranında artış, h^* değerinde ise yaklaşık % 45 oranında azalış meydana getirmektedir. C_0 değerinde % 33 oranında bir artış meydana geldiğinde, C^* değeri yaklaşık % 6 azalmakta ve h^* değeri yaklaşık % 18 artmaktadır. C_1 değerindeki % 33 artış ise, C^* değerinde yaklaşık % 29 oranında artışa,

h^* değerinde ise yaklaşık % 24 oranında azalışa yol açmaktadır. Bir örneği örneklemek ve grafiğe işaretleme için gereken süre (E), yanlış bir uyarının araştırılması için beklenen süre (T_0), özel nedenin bulunması için beklenen süre (T_1) ve sürecin düzeltilmesi için beklenen süre (T_2) gibi süre parametrelerinin değişimlerinin, C^* , h^* ve l^* değerlerini yok denecek kadar az miktarda etkilediği görülmektedir. Özel nedenin araştırılması ve sürecin düzeltilmesi süreleri boyunca üretimin devam edip etmemesinin (δ_1 ve δ_2) ise en iyi tasarım parametreleri ve maliyet değerini etkilemediği açıktır. Diğer taraftan, yanlış uyarı maliyeti (Y) ve özel nedenin bulunması ve onarılması maliyeti (W) parametrelerinin C^* , h^* ve l^* üzerinde çok az etkisinin olduğu sonucuna da ulaşılabilmektedir.

Maliyet, süre ve süreç parametrelerinin değişik seviyelerine göre en uygun tasarım parametrelerinin ve bu tasarım parametrelerine bağlı saatlik çevrim maliyetlerinin sunulduğu çizelge ayrıca, kullanıcıya kendi maliyet, süre ve süreç parametrelerine göre en uygun tasarım parametrelerini seçebilmesi için de yardımcı olacaktır.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, istatistiksel süreç kontrolü ve istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinden biri olan kontrol grafikleri genel hatları ile incelendikten sonra yüksek kaliteli süreçler ve Shewhart Kontrol Grafikleri'nin bu tür süreçlerin incelenmesi için kullanımındaki uygunsuzluklar açıklanmıştır. Bu uygunsuzluklardan biri de Shewhart Niteliksel Ölçüler Kontrol Grafikleri'nin, kusurlu oranı çok düşük süreçler için kullanımında alt kontrol sınırı değerinin sıfırdan küçük çıkması ve dolayısıyla süreçte oluşabilecek olası iyileşmelerin görülememesi durumudur. Süreçte oluşan iyileşmelerin görülememesi, bu iyileşmelerin kaynağının araştırılıp devam ettirilmesi ve dolayısıyla sürecin her geçen gün biraz daha geliştirilmesi fırsatını yok edecektir. Oysaki sürekli gelişim ihtiyacı, günümüzün gelişen teknolojisinde, firmalar arası rekabette en önemli unsurlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uygunsuzluklar nedenleri ile birlikte belirtildikten sonra yaklaşık sıfır hatalı süreçler için daha uygun ve yeterli bir kontrol grafiği tekniği olan birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin oluşturulması ve yorumlanması üzerinde durulmuştur. Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin kontrol sınırları belirli bir yanlış uyarı olasılığı ve kusurlu oranı değerine bağlı olarak oluşturulur. Bu tür kontrol grafiklerini diğer kontrol grafiği tekniklerinden ayıran bir diğer özelliği ise, alınan örneklerdeki ardışık iki kusurlu ürün arasındaki sağlam ürün sayısının veri alınarak oluşturulmasıdır. Bu tür kontrol grafiklerinin sayesinde, klasik kontrol grafiği tekniklerinde olduğu gibi yalnızca süreç kötüleşmeleri değil aynı zamanda süreçteki iyileşmeler de gözlemlenebilmekte böylece bu iyileşmelerin neden kaynaklandığı belirlenerek sürecin gelişiminin devamı sağlanabilmektedir. Böylece, bu kontrol grafiklerinin kullanımı ile yaklaşık sıfır hatalı süreçlerde Shewhart Niteliksel Ölçüler Kontrol Grafikleri'nin kullanımındaki uygunsuzluklar ortadan kalkarken, aynı zamanda, süreç gelişimini sağlayıcı veya devam ettirici önlemler alınabilmektedir.

Birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiği ve bu kontrol grafiklerinin yaklaşık sıfır hatalı süreçler açısından Shewhart Kontrol Grafikleri'ne göre üstünlükleri incelendikten sonra kontrol grafiklerinde ekonomik tasarım ve birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda Lorenzen ve Vance' ın (1986) sunduğu ekonomik tasarım maliyet modeli ve Chung'un (1991) sunduğu en iyileme süreci açıklanmış ve kullanılmıştır. Daha sonra, kontrol grafiklerinde ekonomik tasarımın olumsuz yönleri ve uygulamada karşılaşılan zorluklar açıklanmıştır. Son olarak ise açıklanan maliyet modelinin ve en iyileme sürecinin kullanıldığı, Arıkan Kriko A. Ş. de yapılan uygulama çalışması sunulmuş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlardan ve yapılan karşılaştırmalardan görülmektedir ki, ekonomik tasarım ile oluşturulan birikimli hatasız ürün sayısı kontrol grafiğinin kullanılması, klasik tasarımına göre daha düşük saatlik çevrim maliyeti sağlamakla beraber daha düşük II. tip hata olasılığı da sağlamaktadır. Dikkat edilmesi gereken bir konu ise ekonomik tasarım ile oluşturulacak kontrol grafiklerinden klasik tasarıma göre daha yüksek yanlış uyarı olasılığı elde edileceğidir. Kullanıcı için önemli olan düşük maliyetle çalışmak ve süreç kontrol dışına çıktığında bu durumu daha kısa sürede fark etmekse ekonomik tasarımı seçmelidir. Bunun karşılığında ise fazla sayıda yanlış uyarı ile karşılaşabilecektir. Fakat kullanıcı yanlış uyarının nispeten daha az olacağı ve incelenen süreçte daha az sayıda kesintiye neden olacak klasik tasarımı kullanmak isterse bu sefer de daha fazla maliyete katlanmak zorunda kalacaktır. Bu durumda hangi yöntemin uygulanması gerektiğine kullanıcı gerekli ödünleşmeleri yaparak karar verebilir.

Kontrol grafiklerinin ekonomik tasarım ile oluşturulmasının avantajlarının yanında bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bunlardan biri, yukarıda belirtildiği gibi, yüksek yanlış uyarı olasılığı, bir diğeri ise sayısal olarak ölçülmesi zor olan bazı parametreler içermesidir. Kullanılacak kontrol grafiğinin en uygun maliyeti sağlamanın yanında I. ve II. tip hata olasılıkları veya ortalama çalışma süresi gibi istatistiksel özellikleri de en uygun seviyede taşınması isteniyor ise ekonomik – istatistiksel tasarım yöntemi kullanılmalıdır. Maliyet modeline bazı istatistiksel özellikler ile ilgili eklenen kısıtlar ile bu istatistiksel özelliklerin de uygun değerlerinin bulunması sağlanabilecektir.

Bir üretim sürecinde, kusurlu ürün üretimine neden olan hatalar önem derecelerine göre sınıflara ayrılabilir (A, B, C, türü hatalar gibi). Maliyet modeline bu hata türlerinin de katılımı sağlanabilir. Örneğin özel nedenin araştırılması ve yok edilmesi süresi boyunca üretimin durdurulup durdurulmaması kararının herhangi bir hatanın türüne göre verilmesini sağlayacak kısıtlar modele eklenebilir. Modeldeki maliyet veya süre parametrelerinin hatanın türüne göre seçilmesi de söz konusu olabilecektir. Maliyet modelinin hata türleri de göz önüne alınarak oluşturulması önerilen bir diğer konudur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akın, B., 1996, ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol İPK Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, ISBN: 978975540117 , İstanbul.
- Anagün, A. S., 1996, “Kalite Eğitim Dökümanı”, 1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı Yayını, Sayı: 8, Eskişehir.
- Burnak, N., 1997, Toplam Kalite Yönetimi, T. C. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekam Yayın, No : TS – 97 – 008 – NB, Eskişehir.
- Calvin, T. W., 1983, Quality control techniques for ‘zero-defects’. IEEE Transactions on Components, Hybrid and Manufacturing Technology, 6, 323- 328.
- Chiu W.K., 1975, Economic design of attribute control charts, Technometrics, 17, 81-87.
- Chung K.J., 1991, A simplified procedure for the economic design of control charts: A unified approach, Engineering Optimization, 17, 313-320.
- Doğar A. ve Anagün A.S., 2002, Kusurlu oranı kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı için bir matematiksel model, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(1), 101-114,.
- Duncan A.J., 1956, The economic design of XM charts used to maintain current control of a process, Journal of the American Statistical Association, 51, 228-242.
- Feigenbaum, A. V., 1961, Total Quality Control, McGraw-Hill, New York.
- Goh,T.N.,1987a, A control chart for very high yield processes. Quality Assurance, 13, 18-22.

- Goh, T.N., 1987b, A charting technique for control of low-defective production, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 4, 53- 62.
- Grant, E. L. and Leavenworth R. S., 1996, *Statistical Quality Control*, McGraw-Hill, New York.
- Hansen, L. B., 1963, *Quality Control: Theory and Applications*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Ho, C. and Case. K. E., 1994, Economic design of control charts: a literature review for 1981 - 1991, *Journal of Quality Technology*, 26(1), 39-53.
- Işığçok E., 2004, *Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol*, Ezgi Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Kobu, B., 1987, *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Lorenzen T.J. and Vance L.C., 1986, The economic design of control charts: A unified approach, *Technometrics*, 28, 3-10.
- McWilliams T.P., 1994, Economic, statistical, and economic – statistical $\bar{X}$ chart designs, *Journal of Quality Technology*, 26, 227-238.
- Montgomery D. C., 1980, The economic design of control charts: A review and literature survey, *Journal of Quality Technology*, 12, 75 – 87.
- Montgomery D.C., 1982, Economic design of a $\bar{X}M$ control chart, *Journal of Quality Technology*, 14, 1272-1284.
- Montgomery D.C., Torng J.C., Cochran J.K. and Lawrence F.P., 1995, Statistically constrained economic design of the EWMA control chart, *Journal of Quality Technology*, 27, 250-256.

- Montgomery, D. C., 2009, Statistical Quality Control: A Modern Introduction, Wiley, New York.
- Oktay E., 1998, Kalite Kontrol Grafikleri – Shewhart, Cusum ve Ewma Kontrol Grafiklerinin Şeker Sanayine Uygulanması Üzerine Bir Deneme, Şafak Yayınevi, Erzurum.
- Ryan, T. P., 2000, Statistical Methods for Quality Improvement, Wiley, New York.
- Saniga, E. and Shirland, L., 1977, Quality control in Practice-A survey, Quality Progress, 10, 30-33.
- Saniga, E., 1989, Economic statistical control-chart designs with an application to X- and R charts, Technometrics, 31, 313-20.
- Simpson, J.R. and Keats, J.B., 1995, Sensitivity study of the CUSUM control chart with an economic model, International Journal of Production Economics 40 (1) 1-19.
- Summers, D. C. S., 1997, Quality, Prentice-Hall, New Jersey.
- Surtihadi, J. and Rachavachari M., 1994, Exact economic design of XM charts for general time in-control distributions, International Journal of Production Research, 32, 2287-2302.
- Svoboda, L., 1991, Economic design of control charts: a review and literature survey (1979-1989), Statistical Process Control in Munufacturing, Marcel Dekker, New York.
- TSE, 1993, İstatistiksel Süreç Kontrolü Eğitim Notları, Ankara TSE Kalite Yayınları No:4.06/2B.
- Woodall, W. H., 1986, Weaknesses of the Economic Design of Control Charts,

Technometrics, 28, 408–410.

Xie, M. and Goh, T. N., 1992, Some procedures for decision making in controlling high yield processes, *Quality and Reliability Engineering International* ,8, 355-360.

Xie, M., Goh, T.N. and Xie W., 1997(a), A study of economic design of control charts for cumulative count of conforming items, *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 26, 1009-1027.

Xie, M. and Goh, T. N., 1997(b), The use of probability limits for process control based geometric distribution, *International Journal of Quality and Reliability Management* ,14, 64-73.

Xie, M., Tang, X. Y. and Goh T. N., 2001, On Economic Design of Cumulative Count of Conforming Chart, *International Journal of Production Economics*, 72, 89-97.

Xie, M., Goh, T. N. and Kuralmani V., 2002, *Statistical Models and Control Charts for High Quality Processes*, Kluwer Academic Publisher.

Yatmazoğlu, B., 1999, Regresyon Kontrol Grafiğinin Markov Zincirleriyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 68 s (yayınlanmamış).

EKLER

Ek.1. Teorem 1 ve Teorem 2'nin Kanıtları

Ek.2. Maliyet Modelinin Çözümü İçin Hazırlanan MATLAB Programı

Ek.3. Değişik Maliyet, Süre ve Süreç Parametrelerine Göre En Uygun Ekonomik
Tasarım Parametreleri ve En İyi Saatlik Çevrim Maliyetleri

Ek.1.

Teorem 1'in kanıtı:

1. teorem şu şekilde kanıtlanır:

e^x için Taylor serisi,

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \text{ olmak üzere;}$$

$$\text{a) } \frac{1}{x} - \frac{1}{e^x - 1} = \frac{1}{x} - \frac{1}{x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots} > 0 \text{ olur.}$$

$$\text{b) } \frac{1}{x} - \frac{1}{e^x - 1} = \frac{e^x - 1 - x}{x(e^x - 1)} = \frac{\frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots}{x(x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots)} = \frac{\frac{x}{2!} + \frac{x^2}{3!} + \dots}{x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots} < 1 \text{ olur.}$$

Teorem 2'nin kanıtı:

2. teorem şu şekilde kanıtlanır:

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{e^x - 1} \right) = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\frac{x}{2!} + \frac{x^2}{3!} + \dots}{x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots} = \frac{1}{2}$$

Ek.2.

```
p0=0.00047
p1=0.0024
c0=0.88
c1=4.5
Y=310.35
W=2182,43
a=20.1
b=0
E=11.6
T0=0.16
T1=0.16
T2=1
lambda=1/540
Tho1=0
Tho2=0
e=2.718281828

for li=1:1000,

ARL1(li)=li+((1-p0)/p0)+(1/(p0*(1-(1-p0)^(li-1))));
ARL2(li)=li+((1-p1)/p1)+(1/(p1*(1-(1-p1)^(li-1))));
r1(li)=lambda*(ARL2(li)-0.5)*((c1-c0)*(1-(lambda*(1-
Tho1)*T0)/(2*ARL1(li))));
r2(li)=2*lambda*(ARL2(li)-0.5)*(((c0*(1-Tho1)*T0)-Y)/ARL1(li))-
((a+b)*(1+(lambda*E)+(lambda*Tho1*T1)+(lambda*Tho2*T2)));
r3(li)=(((c0*(1-Tho1)*T0)-Y)/ARL1(li))*(1-(lambda*(1-
Tho1)*T0)/ARL1(li)+(lambda*E)+(lambda*T1)+(lambda*T2))+((1-
Tho1)*T0)/ARL1(li))*((lambda*(c1-c0)*(E+T1+T2))-(lambda*c1*((1-
Tho1)*T1)+((1-Tho2)*T2)))-((lambda*Y)/(2*ARL1(li)))+((lambda*c0*(1-
Tho1)*T0))/(2*ARL1(li)))+(lambda*W))+((a+b)*lambda*(ARL2(li)-0.5)*(1-
Tho1)*T0)/ARL1(li))-
((a+b)*(1+(lambda*E)+(lambda*Tho1*T1)+(lambda*Tho2*T2)))*(1-(lambda*(1-
Tho1)*T0)/ARL1(li)+(lambda*E)+(lambda*T1)+(lambda*T2)));
h(li)=(-r2(li)+(r2(li)^2-4*r1(li)*r3(li))^0.5)/(2*r1(li));
s(li)=1/((e^(lambda*h(li)))-1);
to(li)=(1/lambda)-(s(li)*h(li));
```

```

S1(li)=(lamda*(c1-c0)*(-to(li)+E+(h(li)*ARL2(li))+T1+T2))-
(lamda*c1*((1-Tho1)*T1)+((1-Tho2)*T2))+((lamda*s(li)*Y)/ARL1(li))-
((lamda*c0*(1-Tho1)*s(li)*T0)/ARL1(li))+lamda*W;
D(li)=1+(((1-Tho1)*s(li)*T0)/ARL1(li))+lamda*(-
to(li)+E+(h(li)*ARL2(li))+T1+T2));
S2(li)=1+(lamda*(-to(li)+E+(h(li)*ARL2(li))+(Tho1*T1)+(Tho2*T2)));
C(li)=c0+(S1(li)/D(li))+(((a+b)/h(li))*(S2(li)/D(li)));
alfa(li)=1-((1-p0)^(li-1));
beta(li)=(1-p1)^(li-1);

```

```

Copt=min(C);

```

```

deger=Copt;

```

```

    if Copt==C(li);
        lopt=li;
        hopt=h(li)
        ARL1opt=ARL1(li)
        ARL2opt=ARL2(li)
        alfaopt=alfa(li)
        betaopt=beta(li)
    end
end

```

```

C'

```

```

Copt

```

```

lopt

```

```

hopt

```

```

ARL1opt

```

```

ARL2opt

```

```

alfaopt

```

```

betaop

```

Parametre Değerleri														En İyi Ekonomik Tasarım Parametreleri			
P_1	P_2	λ	E (saat)	T_0 (saat)	T_1 (saat)	T_2 (saat)	δ_1	δ_2	C_0 (TL/saat)	C_1 (TL/saat)	a (TL)	b (TL)	Y (TL)	W (TL)	C (TL)	I^*	h^* (saat)
0,0005	0,0005	0,00155	11,5	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
21	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	6,59	194	8,77
22	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,75	194	4,82
23	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	10,6	194	3,48
E1	0,0005	0,0005	8	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,48	194	5,11
E2	0,0005	0,0005	10	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,46	194	5,13
E3	0,0005	0,0005	12	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
T ₀₁	0,0005	0,00155	11,5	0,2	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,14
T ₀₂	0,0005	0,00155	11,5	0,4	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,14
T ₀₃	0,0005	0,00155	11,5	0,6	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,14
T ₁₁	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,2	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,14
T ₁₂	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,4	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,14
T ₁₃	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,6	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,14
T ₂₁	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1,5	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
T ₂₂	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	2	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
T ₂₃	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	2,5	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
δ ₁	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	1	1	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
δ ₂	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	1	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
δ ₃	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	1	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
δ ₄	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	0,55	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	8,45	194	5,15
C ₀₁	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	1,5	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	7,93	194	6,05
C ₀₂	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	2	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	7,47	194	7,11
C ₀₃	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	3	4,5	20,1	0	310,35	2152,43	6,44	194	11,3
C ₁₁	0,0005	0,0005	11,5	0,15	0,15	1	0	0	0,55	6	20,1	0	310,35	2152,43	11,04	194	3,84

C ₁	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	8	20.1	0	310.35	2182.43	14.2	194	2.9
C ₂	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	10	20.1	0	310.35	2182.43	17.07	194	2.42
a1	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	25	0	310.35	2182.43	8.56	194	6.2
a2	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	30	0	310.35	2182.43	8.64	194	7.3
a3	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	40	0	310.35	2182.43	8.75	193	9.46
b1	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	1	310.35	2182.43	8.48	194	5.36
b2	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	2	310.35	2182.43	8.5	194	5.58
b3	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	3	310.35	2182.43	8.52	194	5.8
Y1	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	0	330	2182.43	8.45	194	5.15
Y2	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	0	350	2182.43	8.45	194	5.15
Y3	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	0	400	2182.43	8.45	194	5.15
W1	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	2TL	310.35	2300	8.48	194	5.15
W2	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	3TL	310.35	2500	8.53	194	5.15
W3	0.0005	0.005	0.00155	11.5	0.15	0.15	1	0	0	0.88	4.5	20.1	4TL	310.35	3000	8.65	194	5.15