

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

STANDART $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI İLE İKİ
AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R
DİYAGRAMLARININ PERFORMANSLARININ ARL
(AVERAGE RUN LENGTH) YARDIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

SÜNDÜS KUMPAS

2501030204

TEZ DANIŞMANI:
DOÇ. DR. NECDET ÖZÇAKAR

İSTANBUL, 2006

**STANDART $\bar{X}$ -R DİYAGRAMALRI İLE İKİ AŞAMADA
ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARININ
PERFORMANSLARININ ARL (AVERAGE RUN LENGTH)
YARDIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
SÜNDÜS KUMPAS**

ÖZ

Bu tez çalışmasında, istatistiksel proses kontrol yöntemlerinden biri olan kontrol diyagramları, kontrol diyagramlarının performans ölçümü ve karşılaştırılması anlatılmaktadır. Kontrol diyagramlarından Standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramları ve iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramları üzerinde durulmuştur. Bunun yanında iki aşamalı $\bar{X}$ -R diyagramları ile ilgili literatür çalışması yapılmıştır. Diyagramların performans ölçümünde ise bir performans göstergesi olan ve prosesteki değişimlerin saptanmasında kullanılan ARL (ortalama koşum uzunluğu) anlatılmıştır ve standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramları ile iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarının ARL hesabı gösterilmiştir. Sonuç olarak, iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarının proses sapmalarını daha hızlı tayin ettiği gözlemlenmiştir.

ABSTRACT

In this thesis, control charts, which is one of the statistical process control methods, performance measurement and comparing of control charts is explained. Standart Shewhart $\bar{X}$ -R charts and $\bar{X}$ -R charts with two stage sampling are emphasized and analyzed. Furthermore, literature study of $\bar{X}$ -R chart with two stage sampling is done. In performance measurement, ARL is described as a performance indicator. Besides this, ARL computing of standart Shewhart $\bar{X}$ -R chart and $\bar{X}$ -R charts with two stage sampling is indicated. In conculusion, $\bar{X}$ -R chart with two stage sampling detect faster off-target condition than standart Shewhart $\bar{X}$ -R chart.

ÖNSÖZ

Kalite günümüz dünyasının vazgeçilmez olgularından birisi haline gelmiştir. Artık insanlar gereksinimlerini karşılamak için daha kaliteli ve ucuz mallar arayışına girmektedir. İşletmeler tüketiciyi tatmin edebilmek için kaliteli üretim yapmak, bunu yaparken de en ekonomik en kullanışlı ürünü geliştirmek zorundadır. Bu aşamada işletmeler için önemli olan maliyetlerdir. İstenilen kalite düzeyinde mamul üretebilmek ve aynı zamanda maliyetleri kontrol altında tutabilmek için, yaygın olarak kullanılan istatistiksel proses kontrol yöntemleridir. Bu yöntemlerin kullanımı, üretim sırasında meydana gelen değişimlerin zamanında saptanarak ıskarta oranının düşürülmesini ve maliyetlerin azaltılmasına olanak verir.

Bu çalışmanın amacı, istatistiksel kalite kontrolde yaygın bir kullanıma sahip olan kontrol diyagramlarının bir proseste meydana gelen değişimleri tayin edebilme yeteneğini (performansını) ölçmek ve ölçüm sonuçlarına göre kontrol diyagramlarını karşılaştırmaktır. Bu çalışmada, Standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramı ile iki aşamada örnekleme $\bar{X}$ -R diyagramının performansları bir proses verileri ile ölçülerek bu proseste meydana gelen sapmayı en hızlı bulan diyagram tayin edilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	I
ÖNSÖZ.....	II
TABLolar LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1. KALİTE, KALİTE KONTROL VE İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL.....	3
1.1. KALİTE	3
1.1.1. KALİTENİN TANIMI.....	3
1.1.2. KALİTENİN BOYUTU.....	5
1.1.3. KALİTEYİ OLUŞTURAN TEMEL UNSURLAR.....	6
1.1.4. KALİTEYE ULAŞMADA GEREKLİ AŞAMALAR (KALİTE ÇEMBERİ).....	8
1.1.5. KALİTE KAVRAMININ ZAMAN İÇİNDEKİ GELİŞİMİ	11
1.2. KALİTE KONTROL	12
1.2.1. KALİTE KONTROLÜN TANIMI.....	13
1.2.2. KALİTE KONTROLÜN TARİHSEL GELİŞİMİ	14
1.2.3. KALİTE KONTROL UYGULAMALARI.....	17
1.2.4. KALİTE KONTROLÜN AMAÇLARI VE YARARLARI	20
1.2.5. KALİTE KONTROL ORGANİZASYONU.....	21
1.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL.....	22
1.3.1. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL KAVRAMI	23
1.3.2. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜN UYGULAMA ALANLARI.....	25
1.3.2.1. KABUL ÖRNEKLEMESİ.....	25
1.3.2.2. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL	27
BÖLÜM 2. KONTROL DİYAGRAMLARI	32

2.1. KONTROL DİYAGRAMLARININ TEMELİ.....	32
2.2. KONTROL DİYAGRAMLARININ YAPISI	33
2.3. KONTROL DİYAGRAMLARININ OLUŞTURULMASI	33
2.3.1.ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜ VE ÖRNEKLEME SIKLIĞININ BELİRLENMESİ.....	35
2.3.2. KONTROL LİMİTLERİNİN SEÇİLMESİ.....	35
2.3.3. KONTROL LİMİTLERİ, SPESİFİKASYON LİMİTLERİ VE DOĞAL TOLERANS LİMİTLERİ.....	36
2.3.4. KONTROL DİYAGRAMLARINDAKİ ÖRNEKLERİN YORUMU	37
2.3.5. KONTROL DİYAGRAMLARININ YORUMLANMASI İLE İLGİLİ PRATİK UYGULAMALAR.....	39
2.4. KONTROL DİYAGRAMLARININ AMAÇLARI VE FAYDALARI	40
2.5. KONTROL DİYAGRAMLARININ TİPLERİ	41
2.5.1. ÖLÇÜLEBİLİR DEĞİŞKENLER İÇİN KONTROL DİYAGRAMLARI ...	43
BÖLÜM 3. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$-R DİYAGRAMI	52
3.1. GİRİŞ	52
3.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMI İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	53
3.2.1. DEĞİŞKEN ÖRNEKLEME ARALIKLIĞINA SAHİP $\bar{X}$ DİYAGRAMLARI	53
3.2.2. DEĞİŞKEN ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜNE (VSS) SAHİP $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI	57
3.2.3. DEĞİŞKEN ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜNE VE ÖRNEK ARALIĞINA SAHİP (VSSI) $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI.....	62
3.2.4. DEĞİŞKEN PARAMETRELİ (VP) $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI.....	65
3.2.5. ÇİFT ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ KONTROL DİYAGRAMLARI.....	69
3.2.6. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI.....	73

BÖLÜM 4. KONTROL DİYAGRAMLARINDA PERFORMANS	
ÖLÇÜMÜ VE KARŞILAŞTIRILMASI	75
4.1. KONTROL DİYAGRAMLARINDA PERFORMANS ÖLÇÜMÜ.....	75
4.1.1. ARL (AVERAGE RUN LENGTH) YARDIMI İLE PERFORMANS	
ÖLÇÜMÜ	80
4.1.1.1. STANDART SHEWHART $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARINDA ARL	87
4.1.1.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARINDA ARL.....	89
4.2. KONTROL DİYAGRAMLARININ PERFORMANSLARININ	
KARŞILAŞTIRILMASI.....	91
BÖLÜM 5. UYGULAMA.....	98
5.1. İNCELENEN FİRMA VE PROSES İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	98
5.2. PROSESTEN ALINAN VERİLERİN KONTROL DİYAGRAMLARI İLE	
ANALİZİ.....	98
5.3. UYGULAMA 1	100
5.3.1. STANDART $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI	100
5.3.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI	107
5.4. UYGULAMA 2	113
5.4.1. STANDART $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI	113
5.4.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI	120
BÖLÜM 6. SONUÇ.....	127
KAYNAKÇA	129
EKLER.....	136

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1-1 Kalitede Kimlik Değişiminin Kilometre Taşları -----	12
Tablo 1-2 Kalite ve Kalite Kontrolün Zaman İçindeki Gelişimi -----	16
Tablo 1-3 Kalite Kontrol Departmanı -----	22
Tablo 2-1 Kontrol Diyagramlarında Örneklerin Yorumlanması-----	38
Tablo 2-2 Ölçülebilir Değişkenler İçin Kontrol Diyagramlarının 3-Sigma Limitine Göre Kontrol Limitlerinin Hesaplanması -----	50
Tablo 4-1 Bir Kontrol Diyagramının Güç Fonksiyonu Tablosu -----	76
Tablo 4-2 Wheeler'in Örneğine Ait Güç Fonksiyonu Tablosu -----	84
Tablo 4-3 Wheeler'in Örneğine Ait P_L Değerleri -----	85
Tablo 4-4 Tayin Kurallarının Farklı Şekillerde Kullanılmasıyla Elde Edilen ARL Değerleri (n=4)-----	86
Tablo 4-5 Çift Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı ile Standart Shewhart $\bar{X}$ Diyagramının Karşılaştırılması (n=3) -----	93
Tablo 4-6 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ -R Diyagramı ile Standart Shewhart $\bar{X}$ -R Diyagramının Karşılaştırılması (n=3) -----	94
Tablo 4-7 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ -R Diyagramı ile Standart Shewhart $\bar{X}$ Diyagramının Karşılaştırılması(n=5)-----	95
Tablo 5-1 Gözlem Değerleri -----	100
Tablo 5-2 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar	101
Tablo 5-3 Gözlem Değerleri -----	108
Tablo 5-4 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar	109
Tablo 5-5 Gözlem Değerleri -----	114
Tablo 5-6 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar	115

Tablo 5-7 Gözlem değerleri ----- 121

Tablo5-8Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar122

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1 Dizayn Kalitesi İçin En Uygun Kalite Derecesinin Saptanması-----	7
Şekil 1-2 Uygunluk Kalitesini Etkileyen Maliyet Unsurları -----	8
Şekil 1-3 Kalite Çemberinin Fonksiyonları -----	9
Şekil 1-4 Bir Mamulün Üretim Aşamalarında Kalite Kontrolünün Yeri -----	19
Şekil 1-5 Kalite Kontrolden Sorumlu Departmanlar -----	21
Şekil 1-6 İstatistiksel Kalite Kontrolün Uygulanması -----	24
Şekil 1-7 İstatistiksel Kalite Kontrol ve Bileşenleri-----	25
Şekil 1-8 Kabul Örnekleme Aşamaları -----	26
Şekil 1-9 İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi-----	28
Şekil 1-10 Bir Üretim Prosesinde Oluşabilecek Hataların Nedenleri -----	29
Şekil 1-11 Değişimin Özel ve Genel Nedenleri-----	30
Şekil 2-1 Bir Kontrol Diyagramının Teorik Temeli-----	33
Şekil 2-2 Kontrol limitleri, Doğal Tolerans Limitleri ve Spesifikasyon Limitleri ---	37
Şekil 2-3 Kontrol Diyagramlarının Tipleri -----	42
Şekil 3-1 Değişken Örnekleme Aralıklı $\bar{X}$ Diyagramı-----	54
Şekil 3-2 Standart ve Uyarlanabilir Tek Taraflı Shewhart Diyagramları İçin Bekleme Zamanı Fonksiyonu -----	56
Şekil 3-3 Standart ve Uyarlanabilir Çift Taraflı Shewhart Diyagramları İçin Bekleme Zamanı Fonksiyonu -----	57
Şekil 3-4 Üç Durumlu Uyarlanabilir Örnek Büyüklüğüne Sahip $\bar{X}$ Kontrol Diyagramları-----	60
Şekil 3-5 VSSI $\bar{X}$ Diyagramı -----	64
Şekil 3-6 VSSI R Diyagramı -----	65

Şekil 3-7 $V_p \bar{X}$ Diyagramı -----	68
Şekil 3-8 $V_p R$ Diyagramı -----	69
Şekil 3-9 Çift Örneklemeli Kontrol Şeması -----	70
Şekil 3-10 $DS \bar{X}$ Kontrol Diyagramı -----	72
Şekil 4-1 Altgrupların Kontrol Diyagramlarının Gücü Üzerine Etkisi -----	77
Şekil 4-2 $\bar{X}$ Diyagramı İçin Çalışma Karakteristiği Eğrisinin Temeli -----	78
Şekil 4-3 3σ Kontrol Limitli $\bar{X}$ Diyagramı İçin OC Eğrisi -----	79
Şekil 4-4 3σ Kontrol Limitli R Diyagramı İçin OC Eğrisi -----	80
Şekil 4-5 Farklı Örnek Büyüklükleri ve Sapma Değerleri İçin ARL Grafiği -----	83
Şekil 4-6 Tayin Kurallarının ARL Üzerine Etkisi -----	87
Şekil 5-1 Kendinden Yağlamalı Burçlar-----	99
Şekil 5-2 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı-----	103
Şekil 5-3 R Kontrol Diyagramı -----	104
Şekil 5-4 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı -----	109
Şekil 5-5 İki Aşamada Örneklemeli R Diyagramı-----	110
Şekil 5-6 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı-----	117
Şekil 5-7 R Kontrol Diyagramı -----	118
Şekil 5-8 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı -----	122
Şekil 5-9 İki Aşamada Örneklemeli R Diyagramı-----	123

SEMBOLLER LİSTESİ

μ	=	Proses ortalaması
σ	=	Proses standart sapması
δ	=	Proses ortalamasındaki sapmanın büyüklüğü
γ	=	Proses standart sapmasındaki sapmanın büyüklüğü
Z	=	Standardize örnek ortalaması
R	=	Örnek aralığı
W	=	Standardize örnek aralığı
n_0	=	İki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramının ilk örnek büyüklüğü
n	=	Örnek büyüklüğü
k	=	$\bar{X}$ diyagramı için kontrol limitleri katsayısı
k_1	=	Çift örneklemeli diyagramlarda ikinci aşama için kontrol limiti
k_R	=	R diyagramı için üst kontrol limiti katsayısı
w	=	$\bar{X}$ diyagramı için uyarı limitleri katsayısı
w_R	=	R diyagramı için uyarı limiti katsayısı
α	=	Tip 1 hata (üretici riski)
β	=	Tip 2 hata (tüketici riski)
$\Phi(.)$	=	Z için kümülatif standart normal dağılım
$F_w(.)$	=	W için kümülatif dağılım fonksiyonu
t	=	Zaman
L	=	Proseste meydana gelen bir sapmanın tayinine kadar alınan altgrup sayısı

GİRİŞ

Son zamanlarda dünyada hızlı değişiklikler olmakta ve bu değişiklikler tek tek veya toplu olarak birbirlerini ve işletmeleri yakından etkilemektedir. Tarih boyunca tüm gelişmelerin temelini teknolojideki gelişmeler oluşturmıştır. Teknolojideki bu hızlı gelişmeler ekonomik, sosyal ve siyasal yaşamda da bir çok değişikliklere neden olmuştur. Bu bağlamda insanların yaşam biçimleri birbirinden etkilenmeye başlamış, gereksinimleri artmış ve çeşitlenmiştir. İnsanlar bu gereksinimlerini tatmin edebilmenin yollarını aramış, gelişen teknoloji sayesinde ulaşım faaliyetlerini gerçekleştirebilmişlerdir. Kimi zaman gidip aldıkları ve kimi zamanda emirlerine amade buldukları malları satın almışlar ve böylece ekonomik ve sosyal yaşamda gelişmelere neden olmuşlardır. Bu durum küreselleşmeye neden olmuştur.

Ülkeler arasındaki sınırların kalkması ve dünyanın artık global bir köy haline gelmesi mamul üreten firmaların sadece kendi ülke sınırları içerisindeki firmalarla değil, tüm dünya çapında rekabet etmelerini zorunlu hale getirmiştir. Eskiden belirli ülkelerin malına olan talep, günümüzde kaliteli ve ucuz mala talep şekline dönüşmüştür. Devletlerin tüketiciyi koruyan kanunlar çıkarması ve tüketicilerin de bilinçlenmesi, açılan davalarla firmaların çok ağır maddi kayıplara uğramaları ve prestijlerini yitirmeleri kalitenin önemini oldukça arttırmıştır.

Kalitenin rekabette ana unsur olmasıyla birlikte kusurlu ürün üretimini en aza indirmek amaç haline gelmiştir. Bununla birlikte gerçekleştirilen faaliyetlerin daha sık bir şekilde kontrol edilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu amaca yönelik olarak proses kontrolü ve bunun hangi yolla uygulanacağı önem kazanmıştır. Bunun için istatistik yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Proses kontrolünde ve geliştirilmesinde çok sık kullanılan istatistik yöntemlerden biri kontrol diyagramlarıdır. Kontrol diyagramları, özellikler için ve ölçülebilir değişkenler için kontrol diyagramları olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu çalışmada kontrol diyagramları ve kontrol diyagramlarının performans ölçümü konuları ele alınmıştır. Bir performans ölçüm aracı olan ARL (average run length-

ortalama koşum uzunluğu) yardımı ile proseste meydana gelen sapmaların tayin edilmesi ve diyagramların performanslarının karşılaştırılması üzerinde durulmuştur.

Birinci bölümde, kalite, kalite kontrol ve istatistiksel kalite kontrolün tanımları açıklanmış ve bu kavramların fonksiyonları üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, bir kontrol diyagramının temeli ve yapısı açıklanmış, kontrol diyagramlarının oluşturulma aşamaları genel şekliyle anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, iki aşamada örnekleme $\bar{X}$ ve R diyagramı açıklanmış ve bu diyagramla ilgili yapılan literatür taraması üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde, kontrol diyagramlarında performans ölçümü ve kontrol diyagramlarının performanslarının karşılaştırılması hakkında bilgi verilmiştir. Standart Shewhart ve iki aşamada örnekleme $\bar{X}$ ve R diyagramlarında ARL ile performans ölçümü açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, konu ile ilgili uygulama çalışmasına yer verilmiştir.

BÖLÜM 1. KALİTE, KALİTE KONTROL VE İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL

Bu bölümde kalite, kalite kontrol ve istatistiksel kalite kontrol kavramlarının tanımı, tarihsel gelişimi, amaç ve fonksiyonları üzerinde durularak birbirleriyle ve diğer kalite kavramlarıyla aralarındaki ilişkiler anlatılacaktır.

1.1. KALİTE

Kalite kavramı insanların ve sistemlerin hata yapması ve mükemmele ulaşma isteği gerçeğinden ortaya çıkmıştır. Latince nasıl oluştuğu anlamına gelen “Qualis” kelimesinden türemiş ve “Qualitas” kelimesiyle ifade edilmiştir (Çevrimiçi 1). Günümüzde kalite kavramıyla oldukça sık karşılaşılmaktadır. Kalite artık işletmelerin varlıklarını sürdürebilmelerinin, büyüüp gelişmelerinin temel koşulu olarak görülmektedir.

1.1.1. KALİTENİN TANIMI

Çeşitli mesleki yayınlarda, endüstride ve günlük yaşantımızda kalite ve bununla ilgili konularda bir kavram birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Dolayısıyla kalitenin evrensel olarak kabul görmüş bir tanımını yapmak oldukça zordur (Kobu, 1998: 471).

Bu nedenle farklı birçok kaynakta kalitenin değişik tanımlarına rastlanmaktadır (Çevrimiçi 1):

- Kalite; belirlenen şartlar altında ve belirli bir zaman süresi içinde istenilen fonksiyonları yerine getirebilme kabiliyetidir.
- Kalite, bir ürünün kullanım uygunluğunu belirleyen özelliklerin tümüdür.
- Kalite, herhangi bir ürünün sınıfının özelliklerinin insan topluluklarının istek potansiyelini karşılayabilme derecesidir.
- Kalite, önceden tespit edilmiş olan spesifikasyonlara yada standartlara göre üretim yapma olgusudur.

Kalitenin tanımı, kalite konusunda uzman kuruluşlar tarafından da farklı şekilde yapılmıştır. Amerikan Kalite Kontrol Derneği (ASQC) tarafından yapılan tanıma göre; bir mal yada hizmetin belirli bir gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan özelliklerin tümüdür. Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonun (EOQC) tanımına göre kalite; bir malın yada hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesidir. Japon Sanayi Standartları (JIS) tarafından yapılan tanıma göre kalite; ürün yada hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerini karşılayan bir üretim sistemidir (Tekin, 1996 : 64) .

Garvin ise kaliteyi tanımlarken beş farklı yaklaşım öne sürmüştür (Evans ve Lindsay, 1989: 7)

1. **Genel tanım:** Bir ürünün özellik ve karakteristiklerinin karşılaştırılmasıdır.
2. **Ürüne dayalı tanım:** Kalite bir ürünün özelliklerindeki ve ölçülebilir değişkenlerindeki farklılıkları yansıtır.
3. **Tahmine dayanan tanım :** Kalite müşterinin isteğine bağlı olarak belirlenir.
4. **Üretime bağlı tanım :** Kalite üretim çıktılarının spesifikasyonlara olan uygunluğudur.
5. **Değere dayalı tanım :** Kalite maliyet ve değerlere bağlı olarak belirlenir.

Bu tanımların yanısıra bir mamulün kalitesinin tanımlanmasında etkili olan birtakım faktörler vardır, bu faktörler şunlardır (Tekin, 1996 : 65) :

1. **Dizayn Kalitesi:** Mamulün tüketicilerin ihtiyacını karşılayabilme derecesini ifade eder.
2. **Pazara Yönelik Kalite:** Mamulün pazardaki tüketici taleplerini karşılayabilme derecesini gösterir.
3. **Uygunluk Kalitesi:** Üretilen bir mamulün kendisi için önceden tasarlanan kalite düzeyine uyma derecesini ifade eder.
4. **Tüketici Tercihi:** Aynı mamulü üreten değişik firmaların mamulleri arasından tüketicinin tecrübelerine dayanarak tercihini yapmasını ifade etmektedir.

5. **Bir mamulün biçim, boyut, renk gibi fiziki ve fonksiyonel özellikleri** mamulün kalitesini belirlemektedir.
6. **Ekonomik olarak mamulün kullanılabileceği süre** mamulün kalitesini etkilemektedir.
7. **Bir mamule ilişkin dizayn ve imalat maliyetleri mamulün kalite düzeyini** ortaya koymaktadır.
8. **Mamulün üretiminde kullanılan teknoloji düzeyi kaliteyi** tayin etmektedir.

Tüm bu tanımlardan sonra kalitenin, ancak mamulün fonksiyonuna , diğer bir deyişle hizmet ettiği amaca göre bir anlam taşıyabileceği söylenebilir. Dolayısı ile kaliteyi çok genel olarak AMACA UYGUNLUK DERECEŚİ olarak tanımlamak mümkündür (Kobu, 1987: 13).

1.1.2. KALİTENİN BOYUTU

Bir ürünün kalitesi birçok yoldan değerlendirilebilir. Kalitenin boyutlarını ayırt etmek gerçekten önemlidir. Garvin 1987 yılında kalitenin boyutuna ait 8 farklı komponent bulmuştur, bunlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Montgomery, 2001: 2) :

- **Performans:** Potansiyel müşteriler bir ürünün sahip olduğu fonksiyonların ne kadarını gerçekleştirebileceğiyle yani performansıyla ilgilenirler.
- **Güvenirlilik:** Ürünün ne kadar sıklıkla fonksiyonlarını yitireceğidir ve ne kadar sürede bakım gerektireceğiyle ilgilidir.
- **Süreklilik:** Bu bir ürünün verimli olarak çalıştığı hizmet ömrüdür.
- **Elverişlilik:** Bu özellik bir ürünün hızlı ve ekonomik olarak tamir edilebilme özelliğidir.
- **Estetik:** Bir ürünün görüntüsü yani rengi, şekli ve stili müşteriler tarafından gözönüne alınan bir faktördür.
- **Özellikler:** Müşteriler genellikle bir ürünün temel özellikleri yanısıra ekstra özellikleriyle de ilgilenirler.
- **İsim, Marka:** Müşteriler genellikle bir ürünün kalitesiyle ilgilenirken o ürünün geçmişten gelen itibarına da gözönünde bulundururlar.

- **Standarda Uygunluk** : Ürünün üzerinde yazan özelliklere uygunluk göstermesidir.

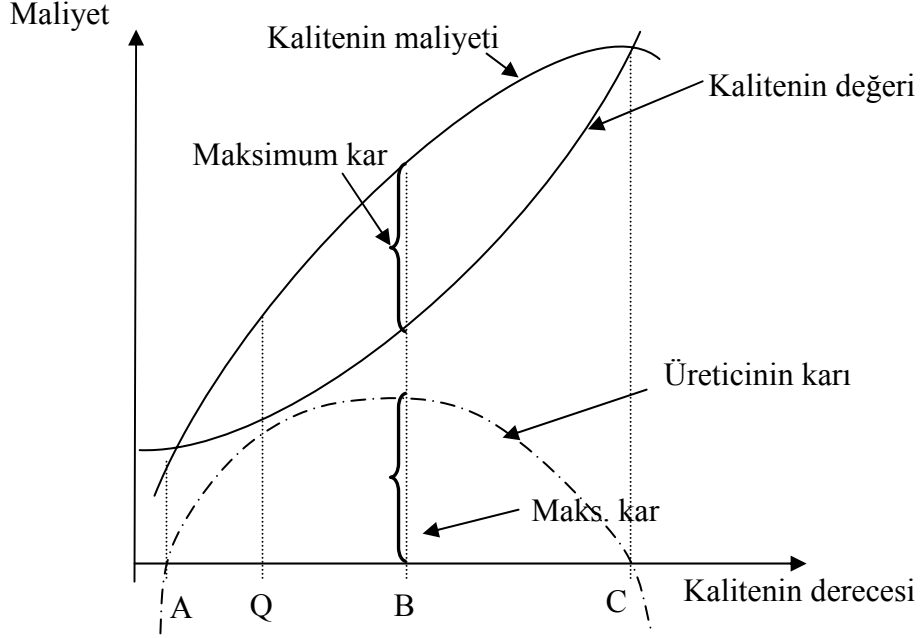
Kalitenin bu boyutları birbirinden bağımsızdır; yani bir ürün bir kalite boyutunda olağanüstü yüksek , başkasında ise düşük kalitede olabilir.

1.1.3. KALİTEYİ OLUŞTURAN TEMEL UNSURLAR

Bir ürüne ait herhangi bir kalite özelliğinin gerçekleşmesinde pek çok faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Tüketicilerin bilinç seviyesi, piyasadaki rekabet, pazarlama politikası, kullanılan hammadde ve yarı mamul gibi çok sayıda faktör kalitenin meydana getirilmesinde etkili olmaktadır. Ancak iki önemli bileşen kaliteyi olumlu veya olumsuz olarak oldukça etkilemektedir (Çevrimiçi 1) :

1. Tasarım kalitesi :

Ürünün veya hizmetin tasarım kademesinde gerçekleştirilen tasarım kalitesi, ürün veya hizmetin performansı, güvenilirliği, kullanılabilirliği vb. ile ilgilidir (Akkurt, 2002: 17). Mamulün fiziksel yapısı, performans özellikleri ile beraber tasarlanır. Boyut, ağırlık, hacim, dayanıklılık gibi fiziksel nitelikler ile renk, koku ve görünüş gibi estetik özellikler bir mamulün tasarım kalitesini belirlemektedir. Ayrıca tasarım aşamasında mamulün, kullanım kolaylığı, güvenliği, ömrü ve bakım periyotları gibi çeşitli faktörler de gözönüne alınmaktadır (Çevrimiçi 1). Dizayn kalitesinin saptanmasında, biri kalitenin değerini, öbürü maliyetini oluşturan iki parasal faktör arasında en uygun noktanın bulunmasına çalışılır. Aşağıdaki şekilde en uygun dizayn kalitesinin üretici açısından karın maksimum değerini aldığı B noktasında bulunduğu görülmektedir. Tüketici başlangıçta malın artan kalitesine değer verir, fakat kalite düzeyi ihtiyacının üstüne çıkınca aynı isteği göstermez (Kobu, 1998: 472).



Şekil 1-1 Dizayn Kalitesi İçin En Uygun Kalite Derecesinin Saptanması

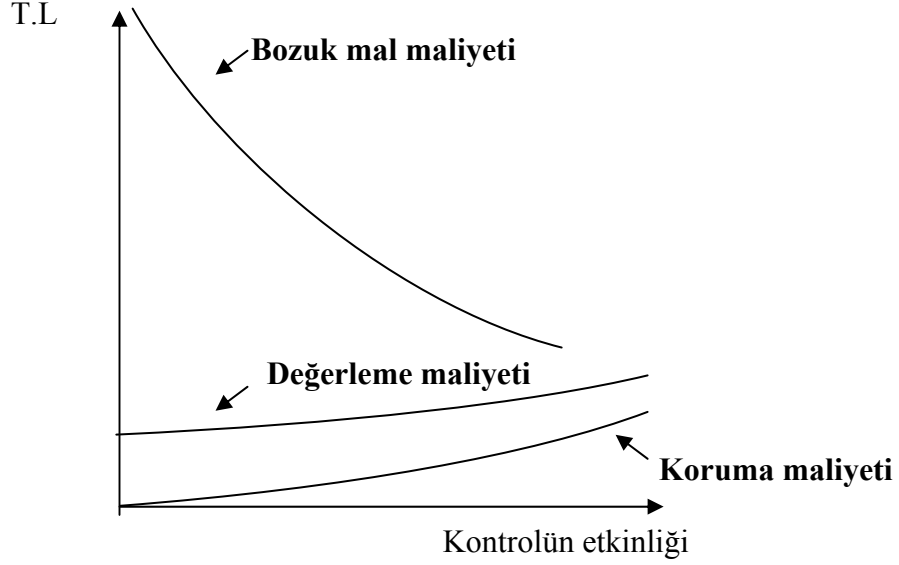
Sonuç olarak, yüksek tasarım kalitesinin elde edilmesi, kalitenin tüketici açısından değeri ile üreticiye olan maliyeti arasındaki optimum noktanın bulunması ile sağlanabilmektedir.

2. Uygunluk Kalitesi :

Teknolojik tasarım ve üretim kademesi ile ilgili olan uygunluk kalitesi, tasarım sırasında belirlenen hususların hayata geçirilip geçirilemeyeceği ile ilgilidir. Uygulama kalitesi üretim için kullanılan donanımın durumu ve kapasitesi, teknik personelin kalifikasyonu ve deneyimi, iş organizasyonu gibi faktörler tarafından etkilenmektedir (Akkurt , 2002: 17).

Belli bir düzeydeki uygunluk kalitesinin gerçekleştirilmesinde değişimleri şekildeki grafikte görülen maliyetler arasında denge kurulmasına çalışılır. Grafikten de anlaşılacağı gibi kontrolün etkinliği arttıkça, değerlendirme ve koruma maliyeti yavaş yavaş yükselmekte, buna karşılık bozuk mal maliyetinde hızlı bir düşme kaydedilmektedir (Kobu, 1998: 472).

Günümüzde kalite kontrol anlayışında temel ilke "kusurlu parçalar geçmez" kuralı yerine "Başlangıçta doğru imal et" şeklinde belirlenmiştir. Bu nedenle uygunluk kalitesinin en düşük maliyette gerçekleşmesi işletmeler açısından büyük önem taşımaktadır (Çevrimiçi 1).

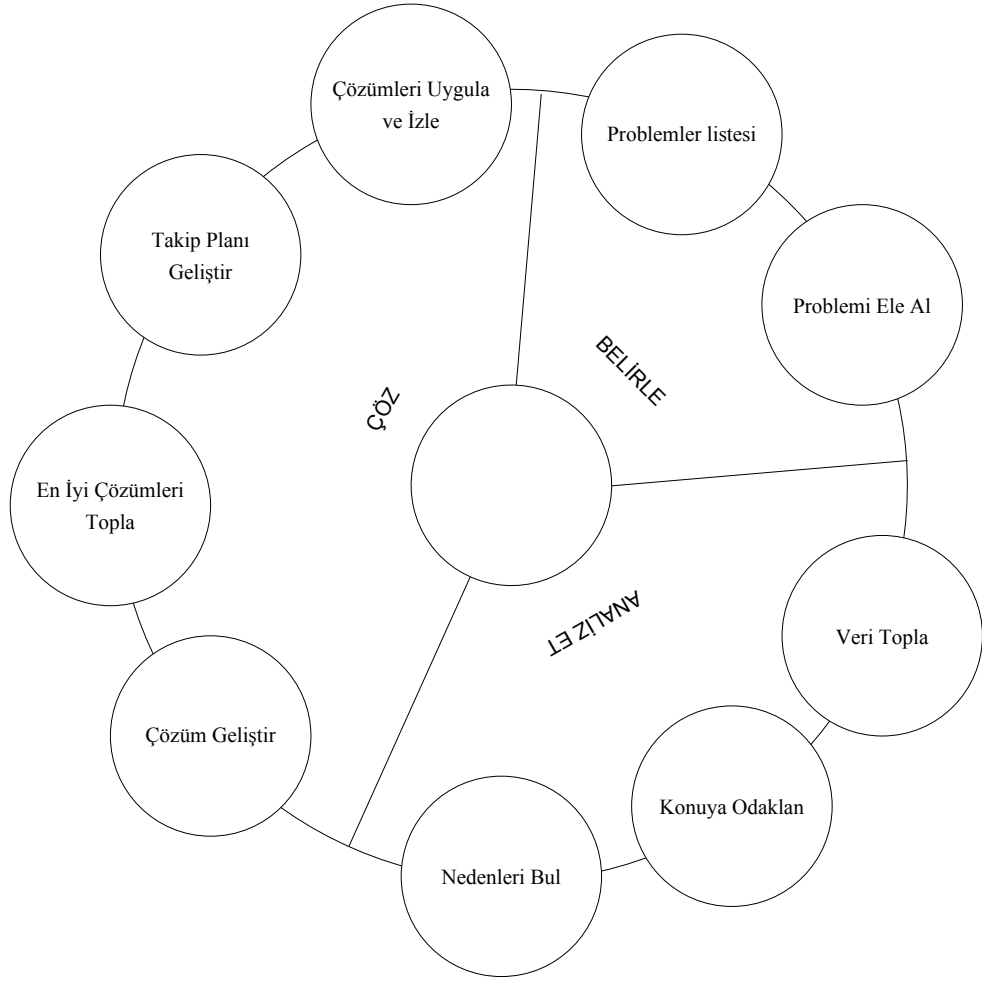


Şekil 1-2 Uygunluk Kalitesini Etkileyen Maliyet Unsurları

1.1.4. KALİTEYE ULAŞMADA GEREKLİ AŞAMALAR (KALİTE ÇEMBERİ)

Kalite çemberi, tüketici ihtiyaçlarının belirlenmesinden yola çıkarak, ürünün daha amaca uygun, daha beklentilere cevap verebilen, daha kaliteli olabilmesi için yapılacak üretim teknikleri, tasarım değişiklikleri ve geliştirme işlemlerinin tümünden oluşan bir sistemdir (Çevrimiçi 1) .

Kalite çemberinin üç temel fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonlar: kalite problemlerini belirlemek, analiz etmek ve bu problemlere çözüm bulmaktır. Şekil 1-3 bir kalite çemberinin işleyişini göstermektedir (Evans ve Lindsay , 1989: 127).



Şekil 1-3 Kalite Çemberinin Fonksiyonları

Kaliteye ulaşmak için kalite çemberinde yer alan aşamalar aşağıdaki sıralanmaktadır (Çevrimiçi 1):

- **Piyasa araştırması:** İmalatçı için alıcı veya tüketicinin ne istediğini bilmek onun satınalacağı kalite düzeyinde nasıl bir mal üretilmesini gerektiğini saptamak piyasa araştırması ile mümkün olur.
- **Ürün geliştirme:** Piyasa araştırmasının sonucunda ortaya çıkan kalite standartlarına dayalı olarak bir ürün geliştirilecektir. Ürün geliştirme ve dizayn çalışmalarında yer alan personel, piyasa araştırmasından elde edilen bilgilerin üretilen mala aktarılmasından sorumludurlar.

• **İmalat mühendisliği:** Malın imalatına başlamadan önce, planlama ve hazırlık çalışması yapmak gereklidir. Bu çalışma imalat biçiminin seçimi, makine ve araçların sağlanması, işlem koşullarının hazırlanması, personelin seçimi ve eğitilmesini içermektedir.

• **Satınalma:** Önceden saptanan özellikler ve standartlara uygun bir biçimde hammadde ve diğer girdilerin en ekonomik şekilde zamanında ve kusursuz olarak sağlanmasına yönelik yapılan çalışmalar satınalma faaliyetlerini oluşturmaktadır.

• **Üretim:** Amaçlanan kalitede malın, tasarımına, dizaynına uygun ve koordineli bir şekilde imalatının tamamlanmasına yönelik çalışmalardır. İmalatta kaliteyi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler makineler, araçlar, hammaddeler, operatörler ve gözetmenlerle ilgili olup, imalatın her aşamasında yer almaktadırlar. Sonucu etkileyen bu faktörlerin durumunun yeterli kaliteye ulaşmak için bilinmesi gerekmektedir.

• **Denetim:** Üretilen ürün veya verilecek hizmetin kalitesinin amaçlanan şekilde olup olmadığı bütün aşamalarda yapılacak olan denetim ile saptanmaktadır. Ürünün bütün bu denetim sonuçlarına göre kabul veya red edilmesi söz konusu olmaktadır. Üretimdeki aşamaların durumuna göre, denetim 3'e ayrılmaktadır:

a) Başlangıç denetimi (Hammadde, girdiler vs.).

b) İşlem denetimi (İlk parça denetimi, ara denetim, operatör denetimi, son parça denetimi, sıra denetimi) .

c) Final denetimi (Tüketiciye ulaşmadan önce hatalı malların tespiti) .

• **Pazarlama:** İmalatı yapılan malın denetimlerden sonra piyasaya sunulmasından önce söz konusu malın özelliklerinin ve kullanım alanlarının tüketiciye tanıtılması gerekmektedir. Bu amaca yönelik faaliyetler pazarlama

faaliyetleri olarak adlandırılmaktadır. Pazarlama faaliyetlerinin hedef alınan malın piyasasında yoğunlaştırılması gerekmektedir.

- **Servis:** Herhangi bir malı satın alan tüketici belirli bir garanti süresinin verilmesini tercih etmektedir. Malın kullanımı sırasında tüketicinin şikayetleri problemleri olabilmektedir. Bu durumda çabuk ve etkili bir servise ihtiyaç duyulacağı açıktır.

1.1.5. KALİTE KAVRAMININ ZAMAN İÇİNDEKİ GELİŞİMİ

Kalite konusu tarih boyunca insanoğlu tarafından sürekli incelenmiş bir konu olmuştur. Birinci dünya savaşının ortaya çıkardığı koşullar, imalat sistemini eskiye göre daha karmaşık hale getirmiş ve kalite işleminin bu alanda uzmanlaşmış kişiler tarafından yerine getirilmesi zorunlu olmuştur.

İkinci dünya savaşının daha güç olan koşulları, büyük miktarlarda ve düzenli kalitede malzeme gerektirmiş ve bunun sonucu olarak “istatistiksel kalite kontrolü aşamasına ulaşılmıştır (Tekin, 1996: 70).

İkinci dünya savaşından sonraki yıllarda teknolojinin gelişmesi ve üretim sürecinin karmaşık hale gelmesi muayeneciler ve karar alanlar arsında geri besleme mekanizmasını zorunlu hale getirmiştir. Bunun sonucunda “Toplam Kalite Yönetimi” kavramı ortaya çıkmıştır. Toplam kalite kontrolü “ ilk defa Faigenbaum tarafından kullanılmıştır. Ishikawa toplam kalite kontrolü anlayışını daha da geliştirerek Japon kalite hareketi ile bütünleştirmiş “Toplam kalite yönetimi” yaklaşımını ortaya koymuştur. Tablo 1-1’ de kalitede kimlik değişiminin kilometre taşları yer almaktadır (Tekin, 1996: 71-72).

Tablo 1-1 Kalitede Kimlik Değişiminin Kilometre Taşları

Belirleyici Özellikler	Muayene	İstatistiksel Kalite Kontrol	Toplam Kalite Kontrol	Toplam Kalite Yönetimi
Temel prensip	Meydana çıkarma	Kontrol	Koordinasyon, Firma	Süreç ve insan odaklılık
Kaliteye bakış açısı	Çözülmesi ve gereken bir problem	Çözülmesi ve izlenmesi gereken bir problem	Tasarım aşamasında oluşan unsur kalitesizlik ise ortaya çıkmadan önlenmesi gereken bir problem	Koşulsuz müşteri tatmini
Vurgu	Standart ürün	Muayenenin azaltıldığı standart ürün	Tüm üretim hattında kalitesizliğin önlenmesi	Tüm süreçlerde kalitenin paylaşılan vizyon olması
Metot	Örnekleme ve ölçme	İstatistiksel araçlar ve teknikler	Programlar ve sistemler	Yönetim anlayışı ve yönetim sistemi
Kalite Uzmanlarının rolü	Muayene çeşitleme hesaplama	Meseleyi tespit ve istatistiksel metotların uygulanması	Kalitenin ölçümü planlaması ve program dizaynı	Kalitenin oluşmasında sinerjinin sağlanması
Kaliteden kim sorumlu	Muayene departmanı	Üretim ve mühendislik bölümü	Üst yönetim tüm bölümler	Üst yönetim, tüm bölümler ve tüm bireyler
Temel yaklaşım	Kalitede muayene	Kalitede kontrol	Kalitede yapılanma	Yaratılan kalite

1.2. KALİTE KONTROL

İşletmelerde üretim yönetiminin önemli vasıtalarından biri de üretim kalite kontrolüdür. Günümüzde tüm işletmelerde kalite kontrol bir ürün veya hizmetin değerlendirilmesinde önemli bir faktör haline gelmiştir. Ürün ve hizmetin kalitesi en küçük işletmeden en büyüğüne kadar büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle işletmelerdeki kalite kontrol departmanları ürünün sürekliliği açısından sistemin can damarı olarak nitelendirilmektedir.

1.2.1. KALİTE KONTROLÜN TANIMI

Bir ürün yada hizmetin kalitesinin geliştirilmesi ve devam ettirilmesi için yapılan aktiviteler ve teknikler kalite kontrol olarak adlandırılır. Kalite kontrol aşağıdaki aktivitelerin integrasyonunu içerir (Besterfield, 1994: 3):

- 1) Gerekli olan spesifikasyonların araştırılması.
- 2) Ürün yada hizmetin spesifikasyonlarına uygun dizayn edilmesi.
- 3) Amaçlanan spesifikasyonlara uygun üretim ve kurulum.
- 4) Spesifikasyonlara uygunluğunun sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi için muayene.
- 5) İhtiyaç duyulan spesifikasyon değişimi için veri elde etmek amacıyla mevcut durumun gözden geçirilmesi.

Kalite konusunda uzman kişi ve kuruluşlar ise kalite kontrol terimini farklı şekillerde tanımlamışlardır (Çevrimiçi 2) :

Juran'ın tanımına göre, “Kalite kontrol, istatistiksel metot araçlarına dayandırılan kalite spesifikasyonlarının yerleştirilmesi ve başarılı olabilmesi için ortalamaların istatistiksel kalite kontrol parçalarıyla toplam olarak ele alınmasıdır.” Daha sonraları Juran 1974’de bu tanımı revize ederek, “Kalite Kontrol, bizim kalite performansını ölçerek standartlardan farkını karşılaştırdığımız bir işlemdir” şekline getirdi. Amerikan Ulusal Standartlarının tanımına göre; “Kalite Kontrol; bir ürünün veya hizmet kalitesinde verilen ihtiyaçları karşılayan operasyonel teknikler ve aktivitelerdir. Ayrıca bu teknik ve aktivitelerin uygulanmasıdır”.

Kalite kontrolü sadece muayene veya fabrikanın belirli bir bölümünde sürdürülen faaliyetler olarak düşünmemek gerekir. Kalite kontrolü, işçisinden genel müdürüne kadar tüm personelin sorumluluk taşıdığı ve imalatın her aşamasında yer alan faaliyetler topluluğudur Kalite kontrolün bu önemli özelliğini vurgulamak için “Toplam kalite Kontrol” kavramını ilk ortaya atan Feigenbaum’un verdiği tanım şöyledir “Tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile işletme organizasyonu içindeki çeşitli ünitelerin; kalitenin yaratılması, yaşatılması ve

geliştirilmesi yolundaki çabalarını birleştirip koordine eden etkili sisteme Toplam Kalite Kontrolü denir” (Kobu, 1987: 15).

1.2.2. KALİTE KONTROLÜN TARİHSEL GELİŞİMİ

Kalite kontrolün tarihi imalat sanayi kadar eskiye dayanır. (Besterfield, 1994: 3). Kalite kontrol uygulaması, 1900’lü yıllarda nihai ürünün iyi, kötü olarak tasnifi ile başlamıştır .

1924 yılında W.A Shewhart, ürün değişimini kontrol etmek amacı ile Bell telefon laboratuvarlarında kontrol diyagramlarını geliştirerek istatistiksel kalite kontrol kavramını ortaya çıkarmıştır. Bundan sonra H. F. Dodge ve H. G. Romig % 100 denetim yerine kabul örneklemesini geliştirdi. 1930 yıllarında istatistiksel kalite kontrol metotları yaygın olarak Western Electric firmasında kullanılmaya başlandı (Montgomery, 2001: 11).

1946 yılında American Society for Quality Control (ASQC) adlı bir kalite organizasyonu kuruldu. Bu organizasyon kalite kontrol faaliyetlerinin tüm üretim tiplerinde kullanılması ve kalite kontrolün geliştirilmesi için çalıştı. (Besterfield, 1994: 3).

1950 yılında Amerika ‘da kalite kontrol dersleri veren Deming ve Juran, Japonya ‘ya giderek Japonları istatistiksel kalite kontrol kavramıyla tanıştırmışlar ve Japonlar bu konuda büyük başarı göstererek kalite kontrole kavramına büyük katkılar sağlayan standartları geliştirmişlerdir (Evans ve Lindsay, 1989 :1).

1950' lerde ise sadece üretim, muayene ve kalite kontrol bölümlerinin değil, her bölümün kalite kontrolden sorumlu olduğu **Toplam Kalite Kontrol** kavramı geliştirilmiştir. Kalite kontrol kavramına 1960' larda (Japon bilim adamı ve kalite uzmanı) Ishikawa tarafından yeni bir boyut eklenmiş ve "**Firma Çapında Kalite Kontrol**" denilmiştir. Burada hem tüm bölümler hem de tüm çalışanlar kaliteden sorumlu tutulmuşlardır (Çevrimiçi 1) .

1980 'lerin sonunda ise otomotiv sektörü istatistiksel kalite kontrol teknikleri üzerinde durmaya ve tedarikçilerin bu teknikleri kullanmalarını talep etmeye başlamıştır (Besterfield, 1994: 4).

1990 'larda Toplam Kalite Kontrol ile benzerlik gösteren, ancak ondan nicelik bakımından farklı olan Toplam Kalite Yönetimi yöntemi geliştirilmiştir. Toplam Kalite Kontrolde olduğu gibi kalite kontrol faaliyetlerini, ürünü meydana getiren tasarım, teknolojik tasarım, üretim, pazarlama gibi tüm kademelere yaymakla beraber burada esas fikir, kusurlu parçaların üretimi gerçekleşmeden meydana gelmesini sağlamaktır.

Kalite kontrol kavramı dünya çapında bir kavram haline gelmiş olup, standartlarla düzenlenmekte ve sürdürülmektedir. Bu standartlar ISO 9000 kalite sistemi olarak tüm dünyada kalite sistemi için bir model oluşturmaktadır.

Kalite, kalite kontrol ve istatistik kalite kontrolün zaman içindeki gelişimini Tablo 1-2 ayrıntılı bir biçimde göstermektedir (Montgomery, 2001: 9).

Tablo 1-2 Kalite ve Kalite Kontrolün Zaman İçindeki Gelişimi

1700-1900	Kalite tamamen bir ustanın çabalarıyla belirlenmektedir.
1875	Frederick W. Taylor'un öncülüğünü yaptığı "Bilimsel Yönetim" yaklaşımı en yüksek verimliliği sağlayabilecek şekilde insanları geliştirmeyi ön plana çıkartmaktadır.
1901	İngiltere'de standartlaşma için gerekli ilk laboratuvarlar kuruldu.
1907-1908	AT&T ürünlerin ve malzemelerin sistematik muayenesine başladı.
1919	İngiltere'de Technical Inspection Association kuruldu ve bu daha sonra Institute of Quality Assurance adını aldı.
1920' ler	AT&T Bell laboratuvarları kalite, muayene, test ve ürün güvenilirliğini ön plana çıkartan kalite departmanı kurdu.
1924	W.A. Shewhart Bell laboratuvarlarında kontrol diyagramı kavramını geliştirmiştir.
1928	Kabul örnekleme yöntemi Bell Laboratuvarlarında H.F.Dodge ve H.G. Romig tarafından geliştirildi.
1931	W.A. Shewhart üretimde istatistik yöntemlerin kullanımına yer verdiği "Economic Control of Quality of Manufactured Product" adlı kitabını yayımladı.
1938	W.E. Deming Shewart'ı kontrol diyagramları üzerine seminer vermesi için ABD'ye çağırır.
1942	İngiltere'de istatistik yöntemler ve kalite kontrol üzerine bakanlık kuruldu.
1942-1946	Sektörde istatistik kalite kontrol üzerine eğitim seminerleri verildi.
1946	American Society for Quality Control (ASQC) kuruldu.
1946-1949	Deming Japonya'ya istatistik kalite kontrol seminerleri vermek üzere davet edildi.
1948	G.Taguchi deneysel tasarım konusu çalışmalarına ve uygulamalarına başladı.
1950	K.Ishikawa neden-sonuç diyagramlarını tanıttı.
1951	A.V. Feigenbaum ilk kitabı olan "Total Quality Control" u çıkarttı.
1954	Joseph M.Juran kalite yönetimi ve geliştirilmesi konusunda seminer vermek üzere Japonya'ya davet edildi.
1960	Ishikawa tarafından kalite kontrol çemberi kavramı geliştirildi.
1970' ler	İngiltere'de British Quality Association kuruldu.
1975-1978	Kuzey Amerika'da kalite çemberleri uygulanmaya başladı ve böylelikle TKY hareketi başlamış oldu.
1980' ler	İstatistik proses kontrol yöntemleri geliştirildi.
1988	Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü verildi.
1989	Motorola'nın 6-sigma uygulaması gündeme geldi.
1990' lar	ISO 9000 sertifikası için çalışmalar hız kazandı.
1998	The American Society for Quality Control ismi, kalite geliştirme alanında daha geniş bir tanımın anlaşılması için American Society for Quality'ye dönüştü.

1.2.3. KALİTE KONTROL UYGULAMALARI

Kalite kontrolü, bütçe, üretim ve maliyet kontrolü gibi üretim yöneticisinin etkili bir aracıdır ve üretimin her aşamasına uygulanır. Üretimin çeşitli safhalarındaki kalite kontrol uygulamaları şöyle sıralanabilir (Tatar, 1982: 98) :

1. **Planlama** : Üretim faaliyetinin ilk aşamasıdır. Bu aşamada üretimi planlanan mamulün kalitesi göz önünde bulundurulur. Teknik yönden kalite unsurları üzerinde incelemeler yapılarak model tespitine gidilecektir.
2. **Üretim Safhasında Kalite Kontrolü**: Üretim safhasında kalite kontrolü iş hacminin en geniş ve en önemli olduğu safhadır. Hammadde, yarımamul ve mamuller kalite yönünden denetlenir. Tespit edilen standartlara uygunluğu araştırılır.
3. **Paketleme ve Depolama**: Mamulün üretim safhasındaki kalite kontrolü tamamlandıktan sonra paketleme safhasındaki kalite kontrolü yapılır. Paketleme faaliyetleri nitelik ve nicelik bakımından gözden geçirilir. Kabul edilen standartlara uygunluğu denetlenir.
4. **Yan Ürünlerin Kalite Kontrolü**: İşletmede üretim faaliyeti sonucu meydana gelen artıkların belirli bir esas ve kaliteye göre değerlendirilmesi önemli bir konudur. Bu safhada yapılan kalite kontrolünün ekonomik değeri işletme için büyüktür.
5. **Kalite Raporları**: Üretim kalitesinin standartlara uygunluk derecesi yöneticiye bir rapor halinde verilir. Bu raporda ayrıca kalitenin geliştirilmesi ve gelişme hızı konusunda verilecek kararlara yardımcı olacak doneler bulunur.
6. **Etkili Bir Kalite Kontrolü İçin Gerekli Şartlar** :
 - Yönetimin bir kalite kontrol politikasının olması
 - Tam ve açık olarak ifade edilmiş standart, tolerans ve spesifikasyon sistemleri

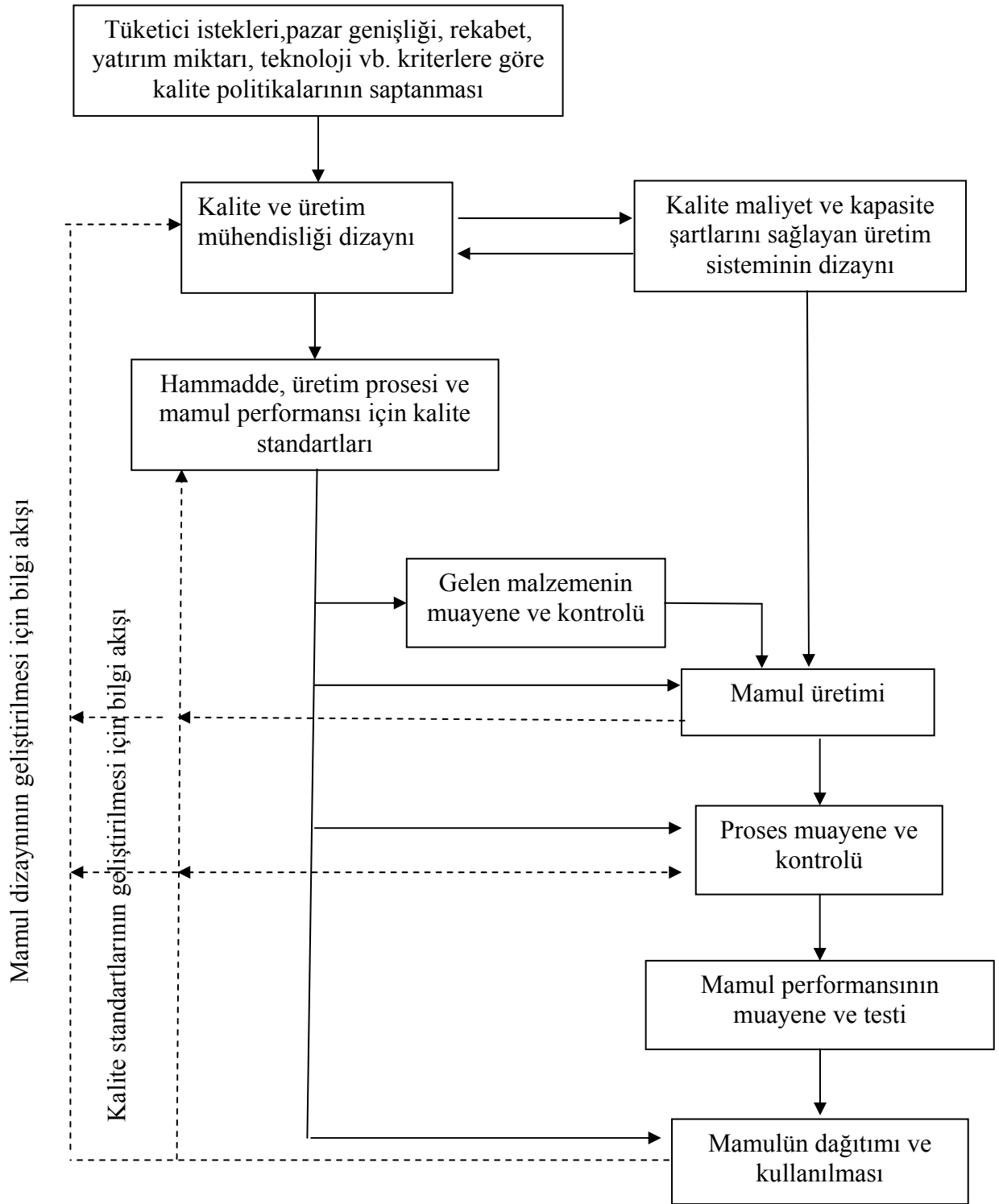
- İyi düzenlenmiş kontrol teknik ve metotları
- Hassas kalite kontrol teçhizat ve araçları
- Numune alma ve kalite kontrolü için ölçme araçlarının planlaması ve gerekli kayıtların sağlanması
- İhtiyaca uygun sayı ve nitelikte personel
- İyi ve etkili bir organizasyon

7. Kalite Kontrolünde İzlenecek Usul ve İşlemler Aşağıda Belirtilmiştir :

- Kalitenin amacı tespit edilir.
- Kalite standartları belirlenir.
- Mamullerin kalite planları hazırlanır.
- Model araştırması yapılır.
- Malzeme ve aletler gözden geçirilir.
- Kaliteyi etkileyen üretim araçları kontrol edilir.
- Üretim araç ve imkanlarının tespit edilmiş kalite ve kalite şartlarına uygunluğu hesaplanır.
- Kalite kontrol eğitimi ve haberleşme sistemleri belirlenir.
- Üretimin kalite ve maliyet analizleri yapılır.

Bir mamulün üretim aşamalarında kalite kontrolünün rolü Şekil 1-4’de açık bir şekilde anlatılmıştır. Buna göre önce kalite ve üretimi ilgilendiren veriler toplanır ve kalite politikası belirlenir. Bu verilere uygun üretim sistemi dizayn edilir. Hammadde, proses ve mamul için kalite standartları belirlenir. Gelen malzemeler kontrol edildikten sonra üretime geçilir. Üretim sırasında belirli yöntemlere göre proses kontrol edilir. Üretilen mamulün son kontrolü yapılarak spesifikasyonlara uygunluğu test edilir ve satışa gönderilir.

Kesikli çizgiler geri beslemeyi göstermektedir. Bu faaliyetler gerçekleştirilirken elde edilen sonuçlar geri besleme bilgisi olarak dizayn aşamasına gönderilmektedir (Kobu, 1998: 470).



Şekil 1-4 Bir Mamulün Üretim Aşamalarında Kalite Kontrolünün Yeri

1.2.4. KALİTE KONTROLÜN AMAÇLARI VE YARARLARI

Bir işletmede etkili bir kalite kontrol uygulaması sonunda gerçekleşmesi istenen amaçlar şöyle sıralanabilir (Kobu, 1998: 481) :

1. Mamul kalite düzeyinin yükseltilmesi
2. Mamul dizaynının geliştirilmesi
3. İşletme maliyetinde azalma
4. Iskarta, işçilik ve malzeme kayıplarında azalma
5. Üretim hattındaki dar boğazların giderilmesi
6. Personel moralinin yükselmesi
7. Tüketicinin parasının karşılığını aldığını görerek memnun olması
8. Ülke ekonomisine olumlu katkılar
9. İşletmenin prestijinin artması
10. İşçi işveren ilişkilerinde düzelmeye

Kalite kontrolün yararları ise iki açıdan, müşteri ve firma açısından değerlendirilebilir.

Müşteri için,

- Kullanım uygunluğu
- Güvenlik

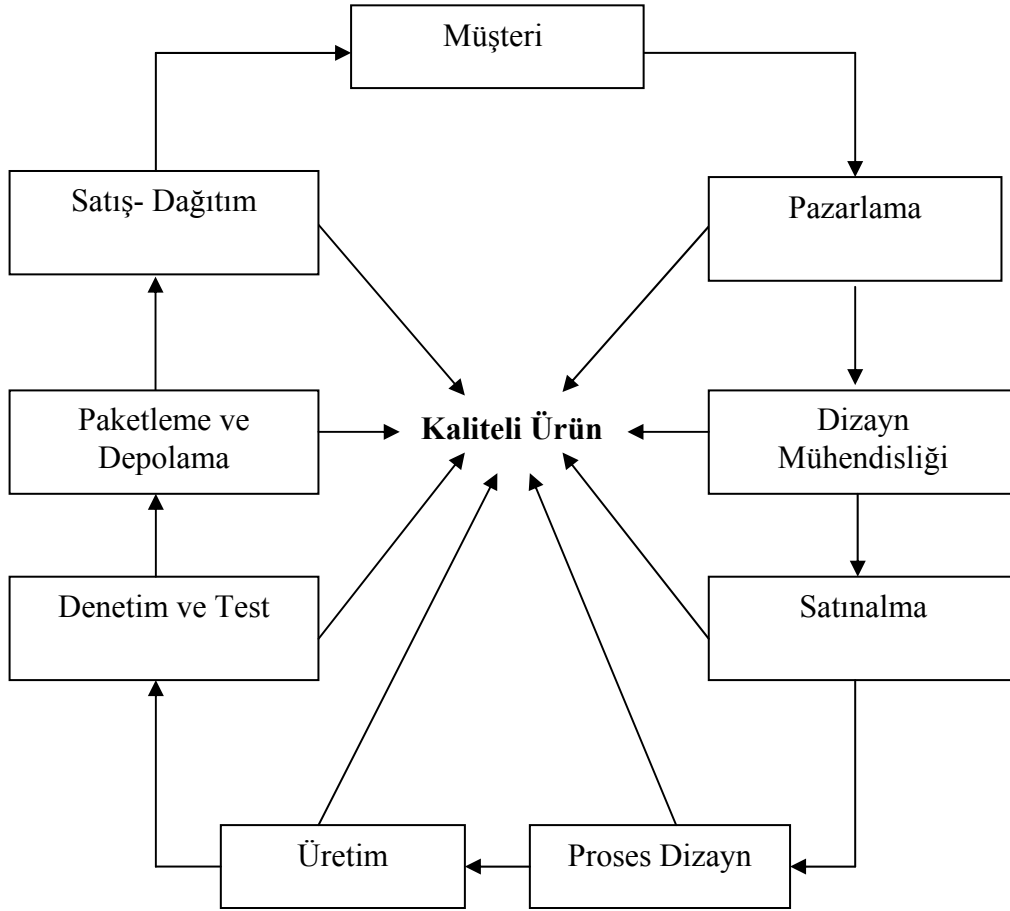
Firma için,

- Düşük maliyet
- Karın artması
- Rekabet gücünün artması
- Verimin artması
- Kaynakların optimum kullanımı
- Güvenirlilik

Sonuç olarak iyi bir kalite kontrol sistemi, hem firma açısından hem de müşteriler açısından iki taraflı tatmin sağlayarak sağlıklı ürünlerin üretilmesine imkan verecektir.

1.2.5. KALİTE KONTROL ORGANİZASYONU

İşletmelerde kaliteden sorumlu olacak ve tüm kalite faaliyetlerini planlayıp koordine edecek bir kalite kontrol departmanına ihtiyaç duyulur. Şekil 1-5’ de kalite kontrol departmanının yapısı, görev ve sorumlulukları anlatılmaktadır (Çevrimiçi 1).



Şekil 1-5 Kalite Kontrolde Sorumlu Departmanlar

Kaliteden sorumlu olan departman sadece kalite kontrol departmanı değildir. Kalite ve kalite kontrol faaliyetleri işletmelerdeki bir çok departmanı ilgilendirmektedir. Kalite kontrolden sorumlu olan departmanlar aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Bunlar : pazarlama, dizayn mühendisliği, satınalma, proses dizayn, üretim, denetim, paketleme depolama ve satış- dağıtımdır (Besterfield, 1994: 5-6).

Tablo 1-3 Kalite Kontrol Departmanı

Kalite Kontrol Departmanı	
Sorumluluk Alanı	Tüm fabrika
Organizasyon	Raporlar direk olarak fabrika idaresine gitmektedir.
İçerdiği Bölümler	Denetim planlaması Giriş denetimi İşlem denetimi Nihai denetim
Sorumluluk	Kalite politikasına uyacak şekilde imal edilen ürünlerin kalitesinin kalite gereklerine uyup uymadığını gözlemek ve şirket için optimal kalite maliyeti sağlamak için çalışmak
Görevleri	Kalite gereğini yerine getirecek malların teslimi ile ilgilenmek. Malların kalitesi ve maliyetlerindeki gelişmeleri izlemek ve analiz etmek. Malın kalitesi ile kalitesi arasında uyumsuzluk olması durumunda kabul edilebilir uyum için önlem almak. Yeni ve değişik dizaynları ve imalat metotlarını sürdürmek, ilgili kısımların dikkatini eksikliklere çekmek ve kalite maliyetlerini düşürecek gelişmeler önermek. Kalite gerekleri ve imalat kararları arasında koordinasyonu sağlamaya yardımcı olmak ve bu amaç için gerekli çalışmaları uygulamak. Denetim araçlarının ölçümü ve kontrolünden sorumlu olmak.

1.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL

İstatistiksel kalite kontrol, üretimin tüm safhalarına uygulanabilen, kalite kontrol ve istatistik yöntemlerin birleştirilmesi ile meydana gelmiştir. Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kalite Kontrolde dahil olmak üzere tüm kalite kontrol faaliyetlerini içerir.

1.3.1. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL KAVRAMI

Tüm üretim sistemlerinde değişkenlikler (uygunsuzluk) sistemin kontrol altına alınması için bir kalite analiz ve kalite kontrol sisteminin kurulmasını gerektirir. Kontrol ve analize ihtiyaç duyulmasının nedeni, aşağıda belirtilen iki temel çelişkiden dolayıdır (Adam ve Ebert, 1989: 539) :

- Her üretim sisteminde uygunsuzlukların meydana gelmesi; üretimden elde edilen çıktıların birbirine benzememesi.
- Ürün kalitesi aynı olduğunda üretim ve ürün kullanımının çok ekonomik olması.

Yukarıda anlatılan bu nedenler ürünlerin istatistiksel olarak kontrol edildiği bir sistemin (istatistiksel kalite kontrolün) kurulmasını sağlamıştır.

İstatistik kalite kontrolü, istatistik ilke ve metotlarını ürünlere uygulamak suretiyle genel minimum ve maksimum değişme sınırlarını belirlemek , kontrol dışı bünyesel olmayan arızı sebepleri tespitle ortadan kaldırmak için kullanılan kontrol ölçü ve usullerinin tümüne verilen isimdir (Tatar, 1982: 102).

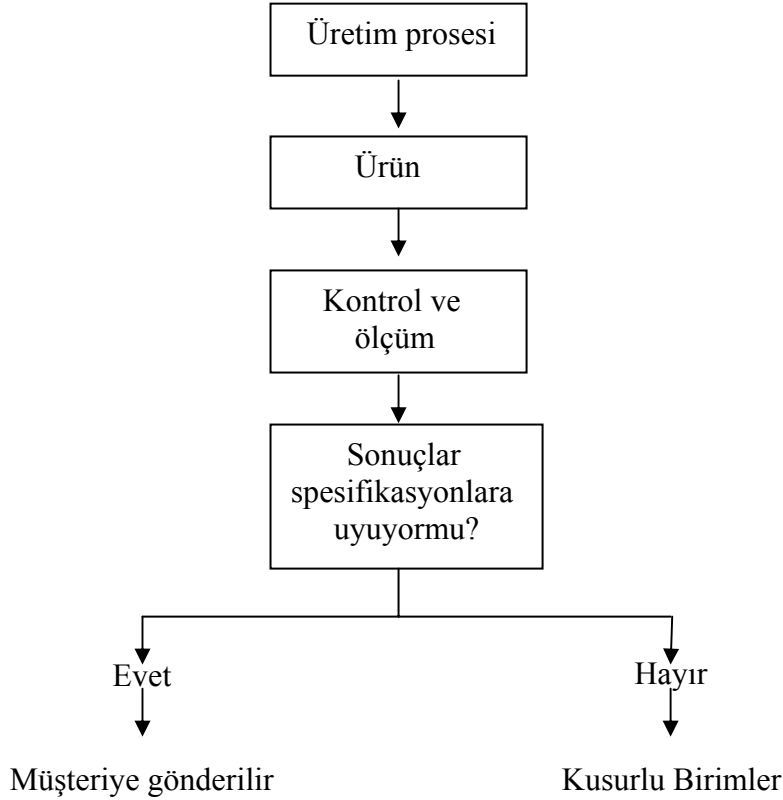
İstatistik kalite kontrol tüm kalite faaliyetlerinin temelini oluşturur ve kalite kontrol ve istatistik yöntemlerinin birleştirilmesi ile meydana gelmiştir. İstatistik verilerin toplanması, analizi, sunulması ve yorumlanması ile ilgili ilkeleri ve yöntemleri içeren, bu işlemlerin sonuçlarını olasılık ilkelerine göre objektif bir şekilde değerlendiren bir bilim dalıdır (Akkurt, 2002: 12).

İstatistiksel Kalite kontrolün kökeni, 1916 yılında C. N. Frazee'nin Bell telefon laboratuvarlarında ilk kez kontrol problemlerini çözerken istatistiksel kavramları kullanmasına dayanır. Frazee çalışma karakteristiği ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir (Dhillon, 1985: 76) .

Bugün uygulanan istatistik kalite kontrol tekniklerinin oluşmasına büyük katkısı olan, Shewhart, Dodge ve Romig tarafından örnekleme metotları, kontrol diyagramları ve kabul planları geliştirilmiştir (Gaither, 1994: 737). Aynı zamanda

Deming, Juran ve Feigenbaum kalitenin iyileştirilmesinde kullanılan istatistik yöntemlerin geliştirilmesine katkısı olan isimlerdir.

İstatistiksel kalite kontrol, gönderilen ürünlerin arzu edilen kalite spesifikasyonlarına uygunluğunu sağlamasına rağmen bir takım eksiklikleri vardır. İstatistik kalite kontrol daima proses bitiminde yani bitmiş ürünlere uygulanır. Son ürüne uygulandığı için proses sırasında meydana gelen problemleri yakalamamıza izin vermez (Çevrimiçi3). Şekil 1-6 istatistiksel kalite kontrolün uygulamasını göstermektedir.

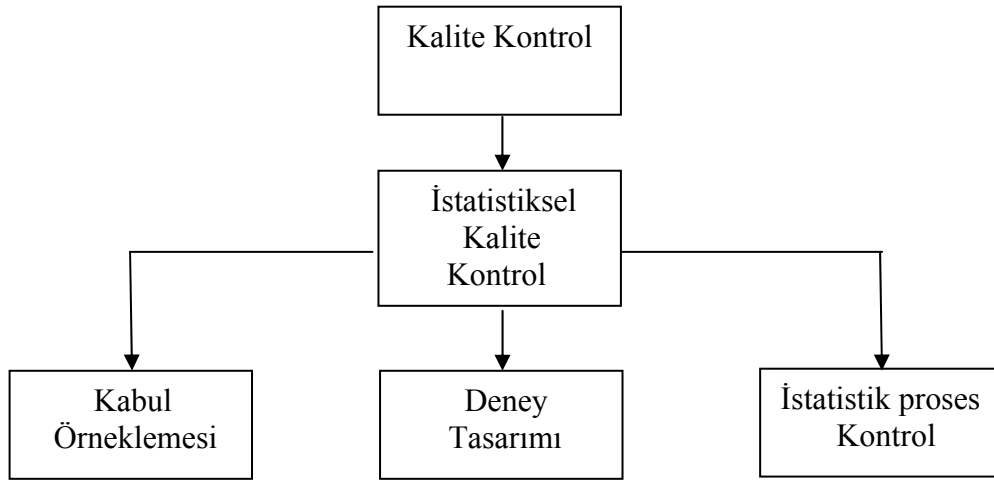


Şekil 1-6 İstatistiksel Kalite Kontrolün Uygulanması

Sonuç olarak, kalite kontrole istatistik ilkelerin uygulanması ile, hem kalite kontrol işlemleri bilimsel temellere dayandırılmış, hem de verilerin analizi ve yorumlanmasına dayanarak ürün kontrolü yapılmış olur.

1.3.2. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜN UYGULAMA ALANLARI

İstatistiksel teknikler, kalite kontrolde üç büyük alanda kullanılmaktadır. Bunlar kabul örnekleme, istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımıdır (Montgomery, 2001: 16).



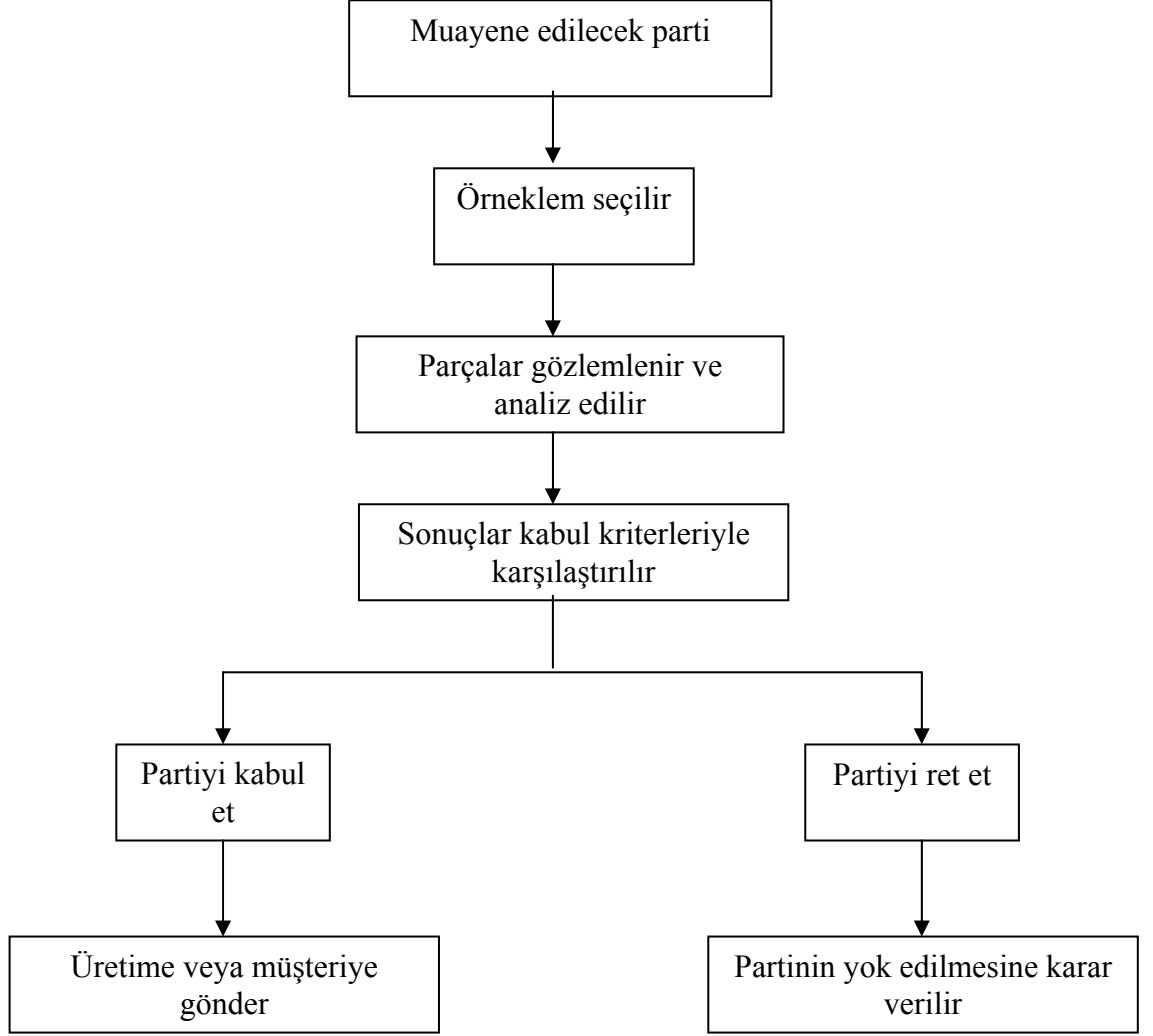
Şekil 1-7 İstatistiksel Kalite Kontrol ve Bileşenleri

İstatistik, istatistiksel proses kontrolde kritik proses parametrelerini izlemek ve prosesin kaliteli ürün vermesi için gerekli olan seviyede çalışmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Kabul örneklemesinde ise kabul edilebilir partilerden kabul edilemeyen sayıda kusurlu parça içeren partileri ayırmak için kullanılır (Dilworth, 1992: 631).

1.3.2.1. KABUL ÖRNEKLEMESİ

İstatistiksel kalite kontrolün en önemli aşamalarından biri ürünlerin ve hammaddelerin muayenesidir. Muayenede yaygın olarak kullanılan yöntem kabul örneklemesidir. Kabul örneklemesinin amacı, ürün ve hammaddelerin belirlenen kalite spesifikasyonlarına dayanarak kabul yada red kararının verilmesidir. Bu metot, istatistiksel olarak rasgele örnek almaya ve bir partinin kabulü veya reddine karar

vermek için bir karar mekanizması kullanmaya dayanır. Şekil 1-8 kabul örneklemesinin aşamalarını göstermektedir (Evans ve Lindsay, 1989: 381).



Şekil 1-8 Kabul Örnekleme Aşamaları

Bir hammadde veya son ürüne ait parti alınır. Parti birimlerinin kalite karakteristikleri kontrol edilir ve sonuçlar kabul kriterleriyle karşılaştırılır. Eğer sonuçlar kriterlere uygunsa parti kabul edilir ve müşteriye veya üretime gönderilir, aksi takdirde parti reddedilir.

Kabul örnekleme iki noktada gerçekleştirilir; hammadde ve son ürünlere uygulanır. Hammaddeye uygulanan kontrol, giriş kontrol olarak adlandırılır ve hammaddeler tedarikçiden alınır alınmaz gerçekleştirilir. Son ürüne uygulanan kontrol ise, çıkış

kontrol olarak adlandırılır ve ürünler müşteriye gitmeden önce üretimden çıkar çıkmaz gerçekleştirilir (Montgomery, 200: 15)

Kabul örnekleme bir takım avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır (Dhillon, 1985: 83-84) .

Avantajlar :

- Muayene sırasında daha az zarar.
- İlerlemeler için daha güçlü motivasyon sağlar, çünkü sadece kusurlu birimlerin geri döndürülmesi yerine tüm parti reddedilir.
- Daha az maliyete neden olur, çünkü tüm birimlerin küçük bir kısmı kontrol edilir.
- Daha az kontrolöre ihtiyaç duyulacağı için işe alım ve eğitim problemlerini kolaylaştırmaya yardım eder.
- %100 muayeneye göre daha az kontrol hatası meydana gelir.
- Tekdüzelik problemini azaltır.

Dezavantajları :

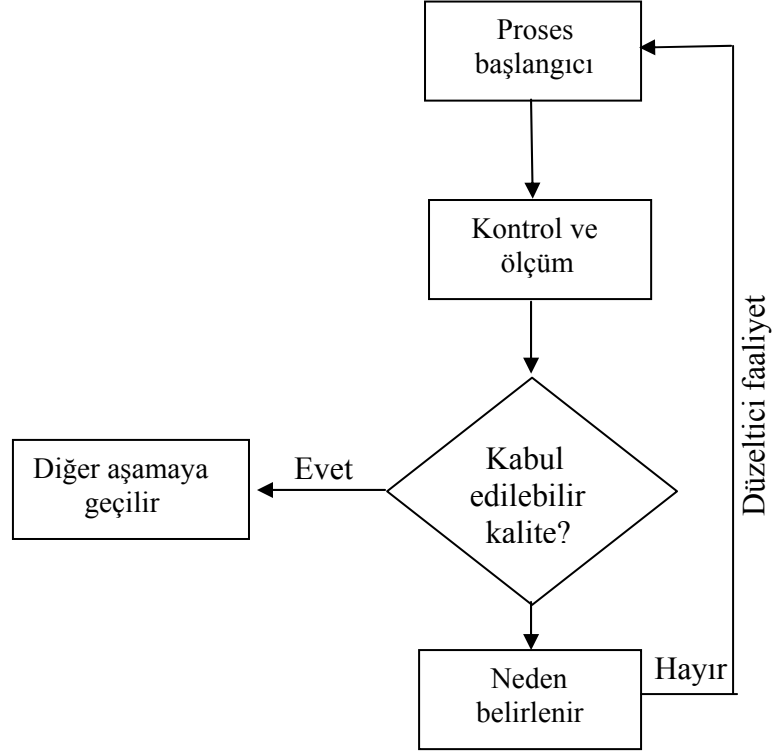
- Kaçınılmaz bir riske sahiptir; iyi birimleri içeren parti reddedilebilir ve kötü birimleri içeren parti kabul edilebilir.
- Daha fazla yönetimsel iş ve maliyet söz konusudur.
- Üretilmiş ürünler hakkında daha az bilgi sağlar.

1.3.2.2. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

İstatistiksel proses kontrol, istatistik ve olasılık kullanarak prosesin istatistiksel kontrol durumunu belirlemek ve sürdürmek için gerçekleştirilen kontrol tekniğidir. Uygunsuzlukları kontrol etmeye bir yaklaşım olan istatistiksel proses kontrol, proses devam ederken meydana gelen rastgele varyasyonları tayin etmek ve elimine etmek için kullanılır (Adam ve Ebert, 1989: 542) .

İstatistiksel proses kontrol kalite kontrol içinde çok önemli bir yere sahiptir. Bunun nedeni istatistiksel proses kontrolün, prosesin doğru bir şekilde çalışmasını ve bunun

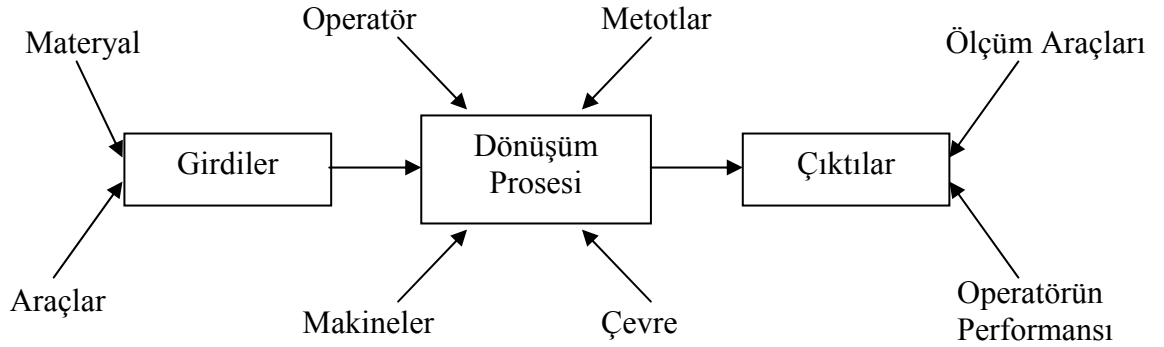
sürdürülmesini sağlaması ve böylece kusurlu birimlerin üretiminin minimize edilmesidir (Dilworth, 1992: 632).



Şekil 1-9 İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi

Şekil 1-9 İstatistiksel proses kontrol sistemini göstermektedir. İstatistiksel proses kontrolde proses boyunca istatistiksel kontroller gerçekleştirilerek erken evrelerde ürün kalitesinin bozulmasına neden olabilecek problemlerin oluşması engellenir. Kontroller ve ölçümler sonucu spesifikasyonlara uyum halinde, bir sonraki aşamaya geçilir; spesifikasyonlara uygunluk yoksa bu uygunsuzluğun nedeni belirlenir ve bununla ilgili düzeltici faaliyetler gerçekleştirilir.

Bir üretim prosesinde değişikliğe neden olabilecek birçok neden bulunur. Bu değişimler giriş materyallerinde, dönüşüm prosesinde ve çıktıların ölçümlerinde meydana gelebilir. Bu değişimlerin nedenleri Şekil 1-10'da gösterilmiştir (Evans ve Lindsay, 1989: 226).



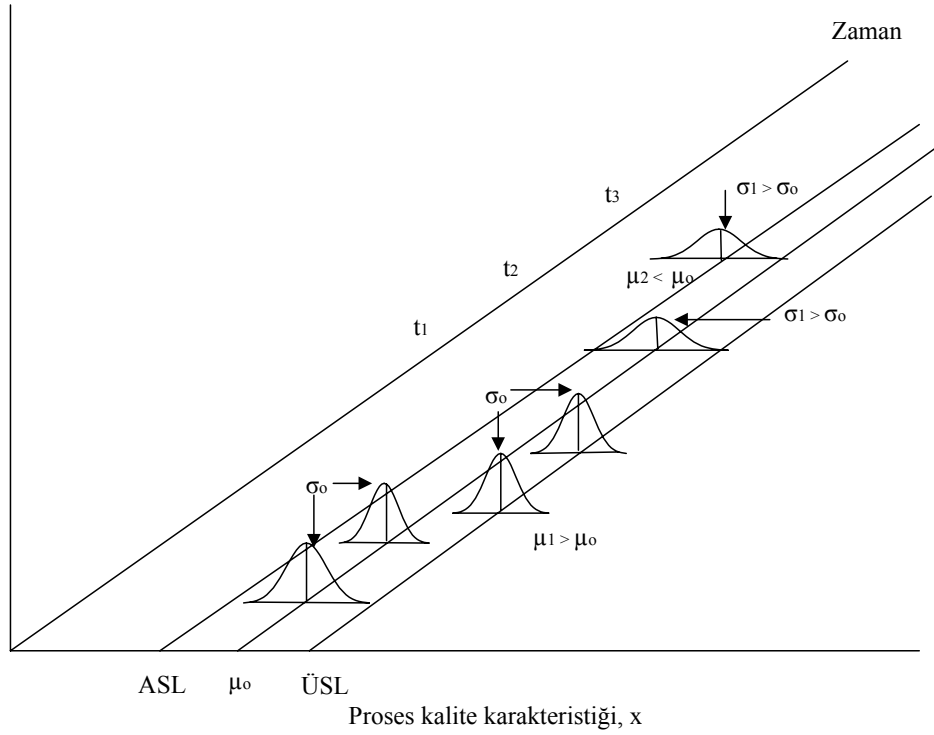
Şekil 1-10 Bir Üretim Prosesinde Oluşabilecek Hataların Nedenleri

İstatistiksel proses kontrol teknikleri ürün karakteristiklerinin dağılımındaki değişiklikleri tayin etmeyi amaçlar. Bu değişiklikler “genel” ve “özel” olarak sınıflandırılan nedenlerin yol açtığı değişikliklerdir (Ateinsa, Ang ve Tang, 1996: 1).

Genel Nedenler : Genel nedenler tüm üretim prosesini etkileyen ve beklenen nedenlerdir. Genel nedenler, istatistiksel kontrol altında olan bir procesteki bir çok değişimin kaynağıdır ve sabit bir sistemin rasgele nedenleri gibi davranırlar (Heizer, Render 1996: 110-111). Genel nedenlerin procesteki etkileri bir kurala bağlanamaz tesadüfi olarak ortaya çıkarlar ve bunların tespit edilip giderilmeye çalışılması hem teknik hem ekonomik açıdan mümkün değildir (Kobu, 1998: 515). Hammadde yapısındaki değişimler, makine titreşimleri, operatör ve çevre koşulları genel nedenler arasındadır.

Bir proceste sadece genel değişim nedenleri mevcutsa, proses istatistiksel olarak kontrol altındadır ve proses davranışları belirtilen derecelerde tahmin edilebilir (Ateinsa, Ang ve Tang, 1996: 1)

Özel Nedenler : Üretim prosesinde gözlenen değişimlerin yaklaşık % 15’ i özel nedenlerden diğer bir deyişle giderilebilir nedenlerden (assignable causes) dolaydır ve özel nedenler prosese özgü olmayan harici faktörlerden ileri gelir. Bu faktörler farklı tedarikçilerden alınan hammaddeler, operatörler arasındaki farklar alet aşınmaları ve hatalı ayarlanmış ekipmanlar sayılabilir (Evans ve Lindsay, 1989: 227).



Şekil 1-11 Değişimin Özel ve Genel Nedenleri

Şekil 1-11 değişimlerin özel (giderilebilir) ve genel (rastgele) nedenlerini göstermektedir. Şekle göre, proses t_1 zamanına kadar kontrol altındadır ve bu zamana kadar proses genel nedenlerin etkisindedir. Bu durumda proses ortalaması ve standart sapması kontrol değerleri (μ_0 ve σ_0) içindedir. t_1 zamanında bir giderilebilir neden meydana gelir. Giderilebilir nedenin etkisiyle proses ortalaması μ_0 değerinden μ_1 değerine değişir. t_2 zamanında başka bir giderilebilir neden oluşur ve ortalama aynı kalırken standart sapma σ_0 değerinden σ_1 değerine değişir. t_3 zamanında diğer bir giderilebilir neden mevcuttur, bu durumda hem ortalama hem de standart sapma kontrol dışı değerlere sahiptir (Montgomery, 2001: 155).

Özel nedenlerin var olması kabul edilemeyen kalite seviyelerine neden olur ve uygun olmayan ürünlerin üretimi söz konusudur. Bu durum prosesin istatistiksel olarak kontrol dışı olduğunun göstergesidir. Özel nedenlerden ileri gelen değişimlerin saptanmasında istatistiksel araçlar kullanılır ve bunlar vasıtasıyla kontrol dışı durum düzeltilebilir.

Bu bilgiler dahilinde istatistiksel proses kontrol, proseste sapmalara neden olarak uygunsuz ürün oluşumuna yol açan özel nedenleri tayin etmek ve bunlar yaygınlaşmadan gerekli önlemleri almak için gerçekleştirilen yöntemlerdir.

İstatistiksel proses kontrolün istatistiksel kalite kontrole göre avantajı, sık sık yapılan örneklemler sayesinde proses problemlerini erken aşamada tespit etme şansını artırarak kayıpları azaltmaktır (Çevrimiçi 3).

İstatistiksel proses kontrol yedi temel kalite aracı ile uygulanabilmektedir (Montgomery, 2001: 154):

1. Histogram
2. Çetele Diyagramı
3. Pareto diyagramı
4. Neden-Etki Diyagramı
5. Hata Odaklı Diyagramı
6. Serpilme Diyagramı
7. Kontrol Diyagramı

Bu yöntemler sayesinde ürün kalitesi ve verimliliği artırılmış, zarar azaltılmış ve müşteri tatmini sağlanarak kar maksimize edilmiş olur.

BÖLÜM 2. KONTROL DİYAGRAMLARI

Dr. Walter Shewhart tarafından geliştirilmiş olan kontrol diyagramları istatistiksel proses kontrolünde kullanılan en yaygın kalite araçlarıdır.

2.1. KONTROL DİYAGRAMLARININ TEMELİ

Kontrol diyagramları bir üretim prosesinin istatistiksel durumunu değerlendirmek için kullanılan bir grafik metottur. En genel şekliyle bir kontrol diyagramı, kronolojik olarak (gün-gün, saat-saat) bir ürünün kalite karakteristiğini istenilen limitlerle grafiklerle karşılaştırılmasını sağlar. Kontrol diyagramları sayesinde ürün değişiklikleri genel ve özel şeklinde ayrılabilir. Bu diyagramlar, üretilmiş ürünlerin üretim varyasyonları ile bu ürün için daha önceden oluşturulmuş limitlerle karşılaştırılmasına olanak verir (Feigenbaum, 1991 :394).

Shewhart ise birçok prosesi incelemiş ve tüm üretim proseslerinin değişkenlik diğer bir deyişle varyasyon gösterdiğini görmüş ve buradan yola çıkarak, iki unsurdan bahsetmiştir. Bunlardan biri prosese özgü olan sürekli unsurlar, diğeri kesikli unsurlardır. Shewhart sürekli değişimleri keşfedilemeyen (genel) nedenlere, kesikli değişimleri de giderilebilir (özel) nedenlere bağlar (Juran, 1988: 243).

Shewhart'a göre istikrarsızlığa neden olabilecek nedenler giderilebilir nedenlerdir ve bunların üstesinden gelebilmek için kontrol diyagramlarının kullanılması gerektiğini savunmuştur (Liberatore, 2001: 91) .

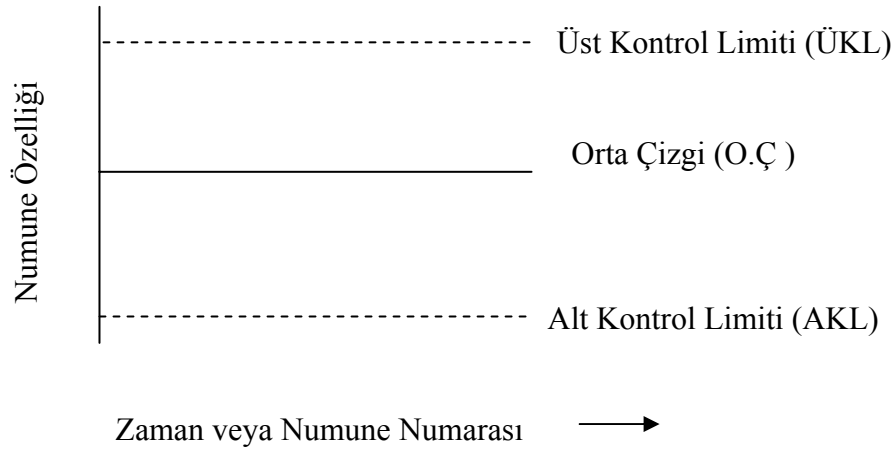
Proseste meydana gelebilecek özel nedenleri tayin edilmesine yardımcı olan ve bu yolla ürün kalitesinin artırılmasını sağlayan kontrol diyagramlarına ait özellikler özetle beş madde içinde toplanabilir (Mears, 1995: 67)

- Bir prosesin görsel göstergesidir.
- Prosesin organize edilmesine yardımcıdır.
- Prosesin anlaşılmasını ve kontrol edilmesini sağlar.
- Prosesin istatistiksel kontrol içinde olup olmadığını gösterir.

- Prosesin trendini zamana bağılı olarak gösterir.

2.2. KONTROL DİYAGRAMLARININ YAPISI

Bir kontrol diyagramı gözlenen yada ölçülen kalite karakteristiğinin zamana karşı durumunu gösteren grafiksel bir göstergedir. Tipik bir kontrol diyagramı Şekil 2-1’de gösterildiği gibi, kalite karakteristiğinin kontrol içi durumdaki ortalama değerini gösteren Orta Çizgi (O.Ç) ile alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limitinden (ÜKL) oluşur. Örnek noktaları bu limitler arasında kaldığı sürece proses kontrol içindedir . Bir noktanın bu limitlerin dışına düşmesi durumunda prosesin kontrol dışında olduğunu gösterir (Montgomery, 2001: 156).



Şekil 2-1 Bir Kontrol Diyagramının Teorik Temeli

2.3. KONTROL DİYAGRAMLARININ OLUŞTURULMASI

Üretilen ürünlerin bir kalite karakteristiği için kontrol diyagramının oluşturulmasına ilişkin gerekli aşamalar aşağıdaki gibidir (Grant ve Leavenworth, 1988: 115-116):

1) Kontrol diyagramının oluşturulmasına ilişkin hazırlık kararları

- Diyagramın amaçları
- Değişkenin seçimi
- Altgrup büyüklüğünün ve örnekleme sıklığının seçimi

- Kayıt altına alınmış verilerin düzenlenmesi
- Ölçüm metodunun belirlenmesi

2) Kontrol diyagramının başlangıç aşaması

- Ölçümlerin gerçekleştirilmesi
- Ölçümlerin ve diğer ilgili verilerin kayıt altına alınması
- Diyagramın çizilmesi için gerekli hesaplamaların yapılması
- Elde edilen sonuçların diyagramda gösterilmesi

3) Deneme kontrol limitlerinin belirlenmesi

- Kontrol limitleri hesaplanmadan önce gerekli altgrup sayısına karar vermek
- Merkezi çizginin hesaplanması
- Alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanması
- Merkezi çizgi ve kontrol limitlerinin diyagramda çizilmesi

4) Diyagramların analizi ve yorumlanması

- Kontrol göstergesi yada kontrol eksikliği olup olmadığının incelenmesi
- Kontrol diyagramının mevcut durumu ve ilerdeki durumlarla olan ilişki
- Kontrol diyagramının belirlediği yapılması gereken faaliyetler

5) Kontrol diyagramlarının kullanımını devam ettirmek

- Merkezi çizginin revize edilmesi
- Kontrol limitlerinin revize edilmesi
- Prosese yapılacak müdahale için kontrol diyagramlarının kullanılması
- Kabul için kontrol diyagramlarının kullanılması
- Spesifikasyonlara yapılacak bir müdahale için kontrol diyagramlarının kullanılması

Kontrol diyagramlarının oluşturulmasında en önemli aşamalar örnek büyüklüğü ve örnekleme sıklığına karar vermek ve kontrol limitlerinin belirlenmesidir.

2.3.1. ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜ VE ÖRNEKLEME SIKLIĞININ BELİRLENMESİ

Büyük örnek hacimleriyle çalışmak prodesteki küçük değişiklikleri bulmamızı kolaylaştırır. Değişikliklerin tayin edilmesi açısından, istenilen durum kısa aralıklarla büyük örnek hacmine sahip örnekler almaktır; fakat bu durum yüksek maliyete neden olur. Genel problem, örneklemenin tahsis edilmesidir. Ya büyük örnekler uzun zaman aralıklarında yada küçük örnekler kısa zaman aralıklarında alınmalıdır. Mevcut endüstriyel uygulamalarda özellikle büyük ölçekte üretim yapan yerlerde küçük örnekler sık aralıklarla alınır (Montgomery , 2001: 166).

Numune boyutu tayin edilirken şunlar göz önünde bulundurulmalıdır (Akkurt, 2002: 72):

- Büyük numunelerle çalışmak muayeneye ait kontrol maliyetini artıracak için, burada çözülmesi gereken soru; kontrol hassasiyetinin yükselmesi, maliyet artışını haklı çıkaracak nitelikte olup olmadığıdır.
- Eğer proses değişiklikleri büyükse, küçük boyutlu numunelerin kullanılması daha doğrudur.
- İstatistik incelemelere göre boyutları 4 olan numunelerin $\bar{X}$ ortalamaları, alındıkları küme normal bir dağılım göstermezse dahi, normal bir dağılım gösterirler . Bu nedenle pratikte numune boyutu genelde 4 veya 5 alınır.
- Ürünün işe yaramaz duruma gelen testlerde, kontrol maliyetini azaltmak için numune boyutu 2 veya 3 alınması önerilir.

2.3.2. KONTROL LİMİTLERİNİN SEÇİLMESİ

Kontrol diyagramının dizaynında, kontrol limitlerini belirlemek en kritik kararlardan biridir. Kontrol limitlerini , grafiklenecek olan kalite karakteristiğinin dağılım şekli bilindiği takdirde, belli bir güven sınırı içinde belirlemek mümkündür. Değişkenin

normal dağıldığı farz edildiğinde, örnek grubunda aldığı değerler örnek ortalamasından $\pm 3\sigma$ limitleri içinde kaldıkça %99.97 güvenle özel faktörler etkisinde bulunmayacağı söylenebilir (Kobu, 1998: 516).

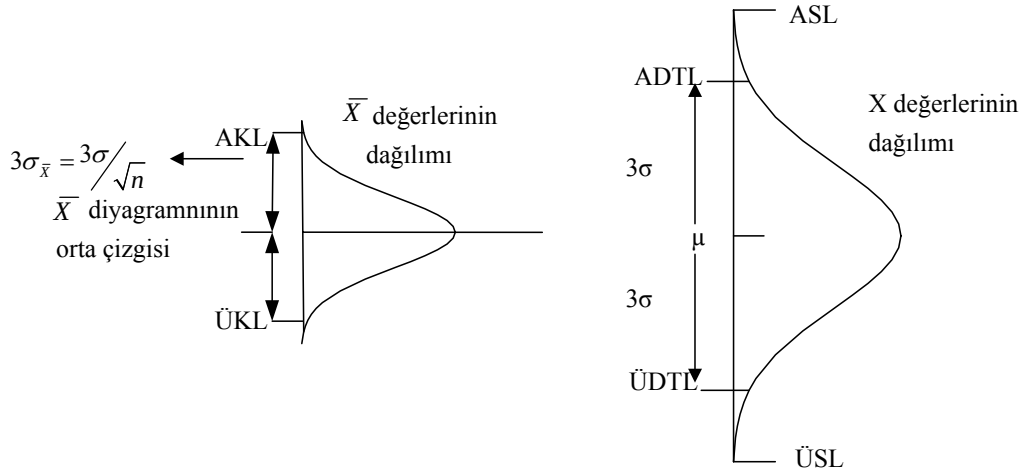
Kontrol limitlerinin seçimi iki tip risk arasında değişimi içerir. Bunlardan birincisi, α üretici riski (producer's risk) olarak veya tip 1 hata (type 1 error) olarak adlandırılır. Proses gerçekten kontrol içi olduğu halde kontrol dışı olma olasılığı olarak tanımlanır. İkinci tip risk ise β , tüketici riski (consumer's risk) veya tip 2 hata (type 2 error) olarak adlandırılır. Proses kontrol dışı olduğu halde kontrol içinde görünme olasılığı olarak tanımlanır (Adam ve Ebert, 1989: 548). Kontrol limitlerini merkezi çizgiden uzaklaştırılması tip 1 hata riskini azaltır, kontrol limitlerini genişletmek ise tip 2 hata riskini artırır. Kontrol limitlerini belirlemek yerine direk tip 1 hata olasılığı seçilebilir ve buna karşılık gelen kontrol limitleri hesaplanabilir (Montgomery, 2001: 164).

Sonuç olarak kontrol limitlerinin seçimi bu risklere bağlı olmalıdır ve maliyetlerde bununla ilgilidir. Eğer tayin edilmemiş sapmaların maliyetleri prosesi düzeltici maliyetlere göre yüksekse dar kontrol limitleri kullanmak uygundur. Eğer prosesi istenilen duruma getirmenin maliyeti kusurlu ürünler üretmeye oranla yüksekse daha geniş kontrol limitleri kullanılması uygun olur (Adam ve Ebert, 1989: 548).

2.3.3. KONTROL LİMİTLERİ, SPESİFİKASYON LİMİTLERİ VE DOĞAL TOLERANS LİMİTLERİ

Kontrol limitleri ortalamaların fonksiyonu olarak oluşturulur; diğer bir deyişle kontrol limitleri ortalamalar içindir. Spesifikasyon limitleri ise birimlerdeki izin verilebilir değişkenliktir ve tekli ölçüm değerleri içindir. Spesifikasyon limitleri, üretim aşamasından önce dizayn mühendisleri tarafından belirlenen limitlerdir ve kontrol limitleri ile ilişkisi yoktur. Kontrol limitleri proses tarafından belirlenirken, spesifikasyon limitleri seçimsel yerleşime sahiptir (Besterfield, 1994: 143). Doğal tolerans limitleri ise birimlerin normal dağıldığı kabul edilirse proses ortalamasından $\pm 3\sigma$ uzaklıktadır. Doğal tolerans limitleri ve spesifikasyon limitleri anakütle

değerleriyle bulunurken, $\bar{X}$ diyagramlarının kontrol limitleri anakütleden alınan örneklerden hesaplanır. Şekil 2-2'de limitler arasındaki farklar gösterilmektedir (Montgomery, 2001: 220-222).



Şekil Error! No text of specified style in document.-1 Kontrol limitleri, Doğal Tolerans Limitleri ve Spesifikasyon Limitleri Arasındaki Fark

1.1.1. KONTROL DİYAGRAMLARINDAKİ ÖRNEKLERİN YORUMU

Noktaların kontrol diyagramı üzerindeki yerleşimi, küçük bir hata riski ile prosesin istatistiksel kontrol içinde olup olmadığının belirlenmesini sağlar. Eğer sadece genel nedenler mevcutsa örnek ortalamasının ve aralığının kontrol limitleri dışına çıkma olasılığı yüzde birden daha azdır. Bir kontrol diyagramını analiz ederken, prosesin kontrol dışında olduğunu gösteren ilk belirti, bir noktanın kontrol limitleri dışında bulunmasıdır (Evans ve Lindsay, 1989: 321).

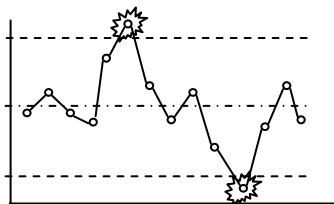
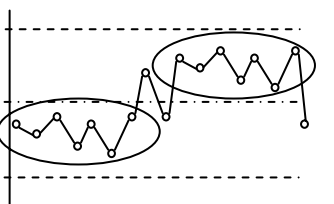
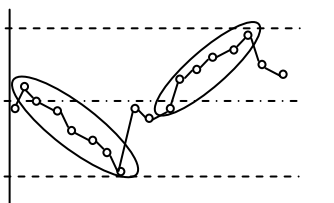
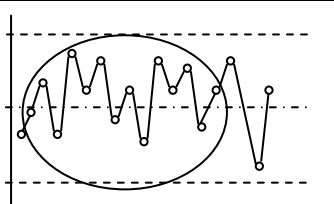
Kontrol diyagramlarında kontrol dışı durumun tanımlanması işletmelerde kullanılan kurallar çerçevesinde olabilir. Buna örnek olarak Western Electric prosedürleri gösterilebilir. Bu prosedüre göre (Montgomery, 2001: 174) ;

- Herhangi bir örnek noktasının 3σ limitlerinin dışına çıkması

- Üç ardışık noktadan ikisinin merkez çizginin aynı tarafında, merkezden 2σ uzaklıktaki bölgenin dışında olması
- Beş ardışık noktadan dördünün merkez çizginin aynı tarafında, merkezden 1σ uzaklıktaki bölgenin dışında olması
- Sekiz ardışık noktanın merkez çizginin aynı tarafında konumlanması kontrol dışı durumu ifade etmektedir

Straker ise kontrol diyagramlarının yorumunu farklı bir şekilde yapmıştır. Straker’a göre diyagramların kontrol dışı olarak yorumlanması kontrol limitleri dışına çıkan veya yedi kez yada daha fazla tekrarlayan noktaların belirlenmesini gerektirir. Bu noktaların tanımı, isimlendirilmesi ve yorumlanması Tablo 2-1’de gösterilmiştir (Straker, 1995:137).

Tablo 2-1 Kontrol Diyagramlarında Örneklerin Yorumlanması

Kontrol Diyagramı	Durum	Açıklama	Yorum
	Özel nedenler	Kontrol limitleri dışında noktalar	Genel olmayan problemlerin varlığı
	Değişim	Merkez çizginin bir tarafında 7 yada daha fazla ardışık nokta	Tüm ortalamalarda değişme
	Trend	Artan yada azalan değerlerde yedi yada daha fazla ardışık nokta	Proseste yavaş değişim
	Devirsel hareketler	Yedi yada daha fazla tekrarlayan nokta	Zamana bağlı etki

2.3.5. KONTROL DİYAGRAMLARININ YORUMLANMASI İLE İLGİLİ PRATİK UYGULAMALAR

Kontrol diyagramlarındaki noktaların yorumlanmasında aşağıdaki pratik uygulamalar kullanıcılara kolaylık sağlayabilir (Straker, 1995: 150-151).

- Kontrol diyagramları üzerinde belirtilen noktaların yerleşiminde ciddi bir durum, çok sayıda noktanın merkezi çizginin bir tarafında konumlanma eğilimidir. Bu yerleşimler şu şekilde olabilir:
 - 1) 11 ardışık noktadan 10 tanesinin merkezi çizginin bir tarafında konumlanması.
 - 2) 14 ardışık noktadan 12 tanesinin merkezi çizginin bir tarafında konumlanması.
 - 3) 17 ardışık noktadan 14 tanesinin merkezi çizginin bir tarafında konumlanması.
 - 4) 20 ardışık noktadan 16 tanesinin merkezi çizginin bir tarafında konumlanması.
- Merkez çizgiden 2 standart sapma uzaklığa iki çizgi çizilir Bunlar üst uyarı limiti ve alt uyarı limiti olarak adlandırılır. Bu limitlerin ötesinde ardışık noktaların bulunması kontrol dışı bir durumu gösterme ihtimali olabilir. Noktaların konumu şu şekilde olabilir:
 - 1) Ardışık 3 noktadan ikisinin bir uyarı limiti ve kontrol limiti arasındaki bölgeye düşmesi
 - 2) Ardışık 7 noktadan üçünün bir uyarı limiti ve kontrol limiti arasındaki bölgeye düşmesi
 - 3) 5 yada daha fazla noktanın uyarı limitinin ötesinde artan yada azalan bir trend göstermesi
- Uyarı limitine ek olarak, merkezden 1 standart sapma uzaklıkta merkezin her iki tarafına bir çizgi çizilir. Aşağıda ifade edilen durumlar noktaların kontrolünde kullanılır.

- 1) 15 ardışık noktanın bu çizgiler arasında bulunması
 - 2) 4 yada daha fazla noktanın bu çizgilerin dışında olması
- Prosesteeki problemleri araştırmanın maliyeti yüksekse ve problemlerin sonucu ciddi değilse, kontrol limitleri genişletilebilir. Örneğin merkezden 4 standart sapma uzaklığında kontrol limitleri kullanılabilir. Bunun aksine, problemleri araştırma maliyetleri düşükse ve problemlerin sonucu ciddi ise, kontrol limitleri daraltılabilir.

2.4. KONTROL DİYAGRAMLARININ AMAÇLARI VE FAYDALARI

Bir üretim prosesinde kontrol diyagramları şu amaçlarla kullanılır (Straker, 1995: 133):

- Prosesle ilgili bir araştırma yapılacağı zaman kullanılır. Prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı ve prosesin kontrol altına alınması için bir faaliyet gerekip gerekmediğini anlamak için kontrol diyagramlarından yararlanılır.
- Genel ve özel değişim nedenlerini ayırt etmek için kullanılır.
- Ölçümlerdeki önemli eğilimleri istatistiksel olarak tayin etmek için kullanılır. Örneğin proseste meydana gelen bir değişikliğin ne zaman ve nasıl geliştiği.
- Problemler ciddi boyutlara ulaşmadan prosese müdahale etmek için kullanılır.
- Bir proseste düzenli olarak ölçüm yapılacağı zaman kontrol diyagramlarını kullanmak pratik bir yoldur.

Aynı zamanda kontrol diyagramları kullanılarak aşağıda belirtilen iki tip hata engellenmeye çalışılır (Kobu, 1998:515) :

- Özel nedenler mevcut değilken aramaya kalkışmak ve gereksiz önlemler almak
- Özel nedenler mevcut olduğu halde farkına varamamak ve önlem almakta geç kalmak .

Kontrol diyagramlarının en önemli faydası sonuçların kayıt altında tutulmasını ve bunun sürdürülmesini sağlar. Ayrıca ürün değişkenliklerinin azaltılması için yol gösterir ve bunların nedenlerinin belirlenmesine yardımcı olur (Ryan, 1989: 77).

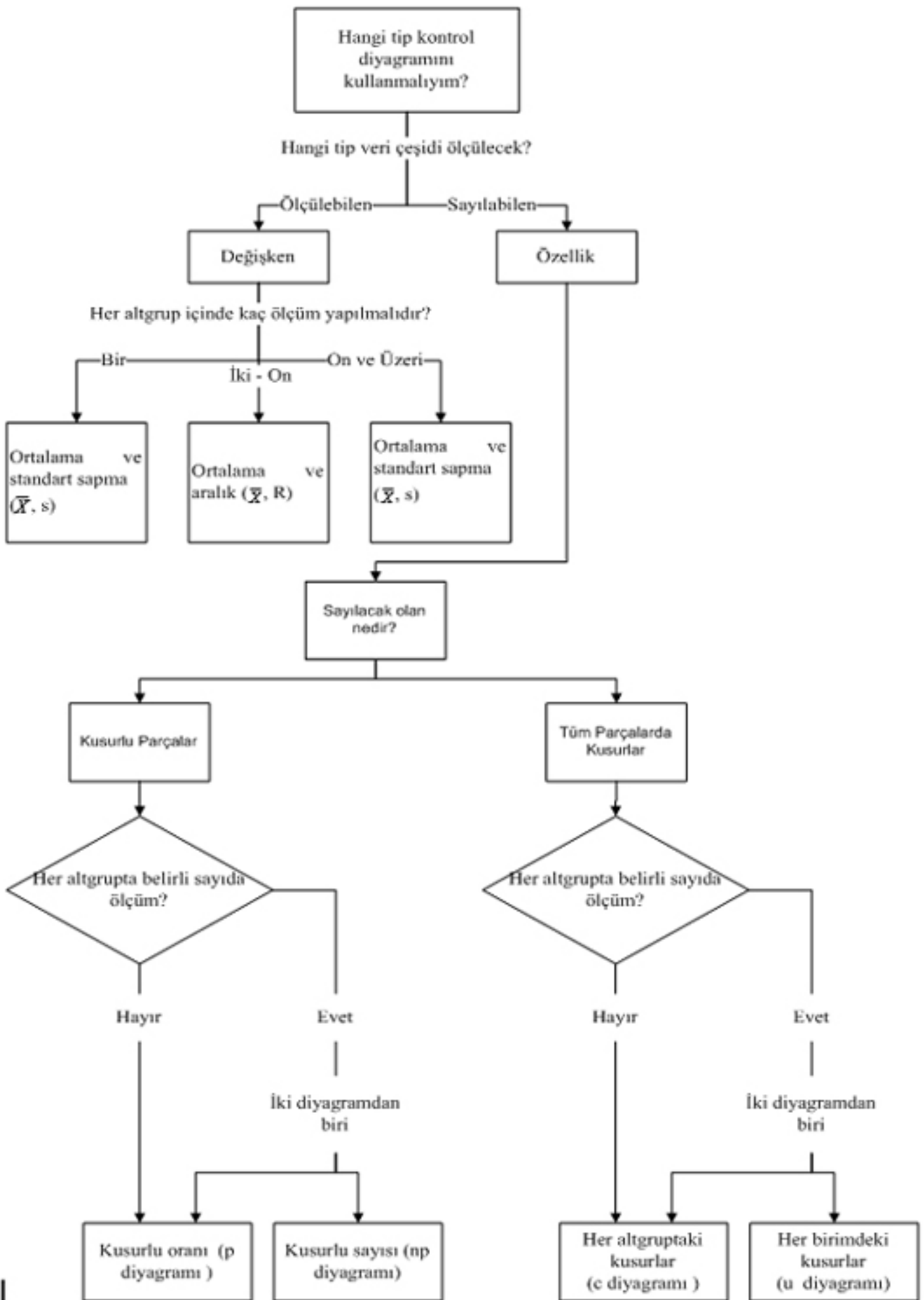
2.5. KONTROL DİYAGRAMLARININ TİPLERİ

Kalite kontrolde iki ölçüm tipi vardır : değişkenler ve özellikler . Her iki tip için farklı kontrol diyagramları kullanılmaktadır. Bunlar özellikler için kontrol diyagramları ve ölçülebilir değişkenler için kontrol diyagramları olarak sınıflandırılmaktadır.

Kullanılacak kontrol diyagramının tipini belirlerken birkaç nokta göz önünde bulundurulmalıdır (Straker, 1995: 140-141):

- Değişkenler için kontrol diyagramı makine temelli prosesler için uygundur.
- Değişkenler için kontrol diyagramları değişimlere karşı özellikler için kontrol diyagramlarına göre daha duyarlıdır.
- Birkaç ölçüm mevcutsa tekli (X) kontrol diyagramı kullanılır.
- Standart sapma (s) diyagramı, eğer istatistiksel bir hesaplayıcı yada tablo kullanılırsa kullanımı R diyagramına göre daha kolaydır.
- Özellikler için kontrol diyagramları hem makine temelli hem de insan temelli prosesler için kullanılabilir. Bu tip diyagramlar için veriler genelde mevcuttur ve anlaşılması daha kolaydır. Değişkenler ise daha ayrıntılı analiz gerektirir.
- U ve c diyagramları p ve np diyagramlarının tersine kusurlu birimlerin nasıl olduğuna dair bir ölçü verir.
- U diyagramında, birim içindeki kusurlar bir diğer birimden bağımsız olmalıdır.
- Sürekli üretimler için u diyagramlarının kullanılması uygundur. Örneğin kumaşın metrekaresindeki kusurların ölçümü.
- Bir birimde çok sayıda kusur bulunduğu zaman c diyagramının kullanılması daha yararlıdır.

Kontrol diyagramlarının tipleri Şekil 2-3'de gösterilmektedir.



Şekil 2-3 Kontrol Diyagramlarının Tipleri

2.5.1. ÖLÇÜLEBİLİR DEĞİŞKENLER İÇİN KONTROL DİYAGRAMLARI

Sayısal olarak ifade edilebilen kalite karakteristikleri ölçülebilir değişkenler olarak ifade edilir . Ölçülebilir değişkenler sürekli boyuta sahip karakteristiklerdir. Bunlara örnek olarak ağırlık, hız, uzunluk gibi değişkenler verilebilir.

En iyi bilinen ölçülebilir değişkenler için kontrol diyagramları, proses ortalamasını izlememizi sağlayan $\bar{X}$ ve değişim aralığını izlememizi sağlayan R diyagramlarıdır (Riggs, 1997: 603).

$\bar{X}$ ve R Diyagramları

$\bar{X}$ diyagramları proses ortalamasının izlenmesinde, R diyagramları ise proses ortalamasındaki değişimleri izlemek amacıyla kullanılır. Sadece proses ortalaması kontrol dışı olduğu zaman $\bar{X}$ diyagramının kullanılması yeterlidir, hem proses ortalaması hem de proses standart sapması kontrol dışı olduğunda $\bar{X}$ ve R diyagramlarının birlikte kullanılması önerilir (Costa, 1977: 1). $\bar{X}$ ve R diyagramlarını oluştururken bir prosedür takip etmek diyagramın doğruluğu açısından uygundur. Bu prosedürün aşamaları aşağıdaki şekildedir (Besterfield, 1994 : 111):

- 1) Kalite karakteristiğinin seçilmesi
- 2) Altgrupların seçilmesi
- 3) Verilerin toplanması
- 4) Kontrol limitlerinin ve merkezi çizginin belirlenmesi
- 5) Merkezi çizginin ve kontrol limitlerinin gözden geçirilip tekrar belirlenmesi
- 6) Amaçlananın başarılması

1) Kalite karakteristiğinin seçilmesi :

Kalite karakteristiği ilk bakışta dikkati çeken ve ürünün çalışmasını etkileyen bir özellik olmalıdır. Ayrıca seçilen özellik sayı ile ifade edilebilen bir özellik olmalıdır (Akkurt, 2002: 71).

2) Altgrupların seçilmesi :

Kontrol kartlarının oluşturulmasında temel fikir, gözlemlerin Shewhart tarafından rasyonel altgrup olarak adlandırılan gruplara ayrılması fikridir. Shewhart tekniğinin başarısı bu alt grupların seçiminde kullanılan ayırma dayanır (Grant ve Leavenworth, 1988: 118).

Rasyonel altgrup kavramı şu şekilde açıklanabilir: Altgruplar öyle seçilmeli ki, bir altgrup sistematik değişiklikleri değil yalnızca rasgele değişimleri içersin. Bu şekilde kontrol limitleri yalnızca rasgele değişimler için bir sınır oluşturacaktır. Dolayısıyla rasgele değişimler kontrol limitleri içinde; sistematik olanlar ise kontrol limitleri dışında olma eğilimi göstereceklerdir (Akkurt, 2002: 73).

Rasyonel altgrupların seçiminde iki yöntem vardır (Besterfield, 1994: 112):

a) Bu yöntemde alt grup birimlerinin seçimi aynı anda yada kısa zaman aralıklarında yapılır. Örneğin, bir altgrubu oluşturan dört parçanın bir tezgahdan ardarda alınması gibi. Diğer altgrup ise belirli bir zamandan örneğin 1 saat sonra aynı şekilde oluşturulur. Bu yöntem aynı-zaman (instant-time method) olarak adlandırılır.

b) Bu yöntemde ise altgrup birimleri belli bir süre içinde üretilen ürünler arasından seçilir. Buna örnek olarak örnek kontrol elemanı her saatte üretimin yapıldığı yere gider ve numuneyi oluşturan 4 parçayı bu sürede üretilen parçalar arasından rasgele seçer ve sonraki numune, son yaptığı ziyaretten sonra işlenen parçalar arasından seçilir. Bu yöntemde süre- zaman (period- of- time method) olarak adlandırılır.

Bu iki yöntem arasında şöyle bir fark vardır: Birinci yöntemde alt grup içindeki değişiklikler minimum, altgruplar arasındaki değişiklikler ise maksimumdur. İkinci

yöntemde ise alt grup içindeki değişiklikler maksimum, altgruplar arasındaki değişiklikler ise minimumdur.

3) Verilerin Toplanması:

Ürünlere ait olan özelliklerin değerlendirmesi yapılarak firmalarca hazırlanmış olan formlara kaydedilir. Bu form genel olarak ölçüm zamanını, tarihi ve her altgruba ait birimlerin ölçüm sonuçlarını içerir. Veri düzeni ile ilgili üç husus önemlidir (Akkurt, 2002: 75):

- En önemli husus altgrup sırası ve alt grup içindeki parça sırasıdır. Yerleşme açısından altgrup sırası dikey parça sayıları yatay veya tersi olabilir. Hesap kolaylığı açısından veriler yan yana, alt alta kaydedilir.
- İkinci önemli nokta numune boyutudur. Numune boyutunun 4 veya 5 alınması kalite maliyeti açısından uygundur.
- Öneme sahip diğer nokta ise altgrup sayısıdır. Genelde yapılan çalışmalarda kullanılan altgrup sayısının en az 20 ila 25 olması istenir.

4) Kontrol limitlerinin ve merkezi çizginin belirlenmesi :

Veriler toplandıktan sonra merkez değeri ve kontrol limitleri hesaplanır. Toplanan verilerin merkez değeri ve kontrol limitleri standartların (istatistik değerler) verilmesi ve verilmemesi durumuna göre tayin edilir.

Standartlar biliniyorsa yani kütleyi karakterize eden ortalama ve standart sapma değerleri geçmiş tecrübelerle göre belirlenmişse, anakütlenin μ ortalama ve σ standart sapma ile normal dağıldığı farz edilir. Eğer örnek büyüklüğü n ve örnek birimleri $x_1, x_2, \dots, x_n$ ise bu örneğin ortalaması,,

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad 2-1$$

şeklinde ve $\bar{X}$, μ ortalama ile normal dağılır ve standart sapması $\sigma_{\bar{X}} = \sigma / \sqrt{n}$ 'dir.

Bu ifade $N(\mu, \sigma_{\bar{X}})$ şeklinde gösterilir. $1-\alpha$ olasılıkla örnek ortalaması,

$$\mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad 2-2$$

ve

$$\mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad 2-3$$

limitleri arasına düşer. Bir örnek ortalamasının bu limitlerin dışına çıkması proses ortalamasının artık μ değerine eşit olmadığını göstergesidir (Montgomery, 2001: 207).

$Z_{\alpha/2}$ değeri, σ standart değerine bağlı olarak normal dağılım eğrisinin limitlerini gösteren sayıdır. Genelde $Z_{\alpha/2}$ için kullanılan değer 3'dür. Bu durumda eğrinin her iki tarafında $\alpha/2 = 0.00135$ ve toplam $\alpha = 0.0027$ 'ye karşılık gelen alan limit dışında olacaktır (Ryan, 1989: 72).

Bu bilgiler ışığında, kütle karakteristiklerinin yani ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerlerinin bilinmesi durumunda $\bar{X}$ diyagramının kontrol limitleri ve orta çizgisi;

$$\text{ÜKL}_{\bar{X}} = \mu + 3\sigma / \sqrt{n} \quad 2-4$$

$$\text{O.Ç} = \mu \quad 2-5$$

$$\text{AKL}_{\bar{X}} = \mu - 3\sigma / \sqrt{n} \quad 2-6$$

formülleri ile hesaplanır. Hesaplamayı kolaylaştırmak amacıyla $3 / \sqrt{n}$ ifadesi için A faktörü kullanılır. Buradan alt kontrol limiti ve üst kontrol limiti daha basit bir ifadeyle;

$$\text{ÜKL}_{\bar{X}} = \mu + A\sigma \quad 2-7$$

$$\text{AKL}_{\bar{X}} = \mu - A\sigma \quad 2-8$$

şeklini alır. A, n' ye göre değişen bir katsayıdır ve Ek 1'deki tablodan bulunabilir.

R diyagramı için ortalama ve standart sapma değerleri, dağılımın normal olduğunu düşünürsek sırasıyla $\bar{R} = d_2\sigma$ ve $\sigma_R = d_3\sigma$ şeklindedir. Buradan R diyagramının kontrol limitleri ve orta çizgisi;

$$\bar{U}KL_R = d_2\sigma + 3\sigma_R = d_2\sigma + 3d_3\sigma \quad 2-9$$

$$O.\bar{C} = d_2\sigma \quad 2-10$$

$$A\bar{K}L_R = d_2\sigma - 3\sigma_R = d_2\sigma - 3d_3\sigma \quad 2-11$$

şeklinde hesaplanır. Hesaplamaları basitleştirmek istediğimizde $D_1 = d_2 - 3d_3$ ve $D_2 = d_2 + 3d_3$ değişimi yapılır ve R diyagramının kontrol limitleri;

$$\bar{U}KL_R = D_2\sigma \quad 2-12$$

$$A\bar{K}L_R = D_1\sigma \quad 2-13$$

şekline dönüşür. D_1 ve D_2 katsayıları da yine n'ye göre değişir ve Ek 1'deki tablodan bulunabilir (Montgomery, 2001: 228).

Pratikte, μ ve σ bilinmez. Bu durumda, kontrol içinde olduğunu düşündüğümüz prosesten alınan altgruplar yada örneklerden bu parametreler tahmin edilir. Bu tahminler en az 20 -25 arasında örneklerden yapılmalıdır. m sayıda örnek aldığımızı ve her örneğin n gözlem içerdiğini farz edersek her örneğin ortalaması $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$ şeklinde olacaktır. Buradan proses ortalaması μ aşağıdaki gibi hesaplanır (Montgomery, 2001: 207):

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad 2-14$$

Böylece $\bar{\bar{X}}$, $\bar{X}$ diyagramının merkez çizgisi olacaktır. Kontrol limitlerini hesaplamak için σ değerini tahmin etmemiz gerekir. σ , örnek standart sapmasından, s, yada örneklerin değişim aralığından hesaplanabilir. Yaygın olarak kullanılan metot değişim aralığından yararlanarak standart sapmanın tahminidir. $X_1, X_2, \dots, X_n$

şeklinde n gözlem içeren bir örnek için değişim aralığı aşağıdaki gibi ifade edilir (Banks, 1989: 186) :

$$R = X_{\text{maks}} - X_{\text{min}} \quad 2-15$$

Normal dağılım gösteren bir örnek ile bu dağılımın standart sapması arasında $W = R/\sigma$ şeklinde bir bağıntı vardır. Bu bağıl aralık (relative range) olarak adlandırılır. W, örnek büyüklüğünün bir fonksiyonudur. W ‘nin beklenen değeri yada ortalaması d_2 ’ dir.Buradan,

$$\sigma = \frac{R}{W} \quad 2-16$$

ve

$$E(\sigma) = E\left(\frac{R}{W}\right) = \frac{E(R)}{E(W)} = \frac{E(R)}{d_2} \quad 2-17$$

$$E(R) = \bar{R},$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad 2-18$$

şeklinde ifade edilir. Sonuç olarak tahmini standart sapma aşağıdaki gibi bulunur.

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad 2-19$$

Eğer $\bar{\bar{X}}$, μ değerinin bir tahmini ve $\bar{R}/d_2$, σ değerinin bir tahmini ise $\bar{X}$ diyagramının parametreleri aşağıdaki şekilde hesaplanır (Banks, 1989: 186):

$$\bar{U}KL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \quad 2-20$$

$$O.\bar{C} = \bar{\bar{X}} \quad 2-21$$

$$\bar{A}KL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \quad 2-22$$

Kontrol limitlerini bulmanın en basit yolu, örnek büyüklüğüne göre değişen A_2 faktörünü bulmaktır. $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ şeklindedir. A_2 değeri Ek 1'den kolayca bulunabilir. Bu durumda $\bar{X}$ diyagramının kontrol limitleri ,

$$\text{ÜKL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad 2-23$$

$$\text{AKL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad 2-24$$

şeklindedir (Besterfield, 1994: 117).

R diyagramı için merkez çizgi $\bar{R}$ olacaktır. Kontrol limitlerini hesaplamak için σ_R 'nin tahmini değerine ihtiyaç vardır. Kalite karakteristiğinin normal dağıldığı düşünülerek σ_R , $W = R/\sigma$ denkleminde elde edilebilir. W nin standart sapması d_3 örnek büyüklüğüne göre değişen bir tablo değeridir. $R = W\sigma$ olduğundan R 'nin standart sapması ,

$$\sigma_R = d_3\sigma \quad 2-25$$

şeklindedir. σ bilinmediği için, σ_R değerini ,

$$\sigma_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad 2-26$$

denkleminde bulurur.

R diyagramının 3σ kontrol limitleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Montgomery, 2001: 210) :

$$\text{ÜKL}_R = \bar{R} + 3\sigma_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad 2-27$$

$$\text{O.Ç} = \bar{R} \quad 2-28$$

$$\text{AKL}_R = \bar{R} - 3\sigma_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad 2-29$$

Altgrup ortalamasında olduğu gibi, D_3 ve D_4 gibi n (örnek büyüklüğü) değerine bağlı olarak değişen iki faktör kullanılarak kontrol limitlerinin hesaplaması kolaylaştırılır.

Bu faktörler $D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$ ve $D_4 = 1 + \frac{3d_3}{d_2}$ gibi ifade edilmektedir. Buradan, kontrol limitleri aşağıdaki şekilde hesaplanır (Çevrimiçi 4):

$$\bar{U}KL_R = D_4 \bar{R} \quad 2-30$$

$$\bar{A}KL_R = D_3 \bar{R} \quad 2-31$$

D_3 ve D_4 faktörleri örnek büyüklüğüne (n) göre değişen değerler alırlar. Bu faktörlerin n ' ye göre aldıkları değerler Ek 1' de sunulmuştur.

Kısaca, ölçülebilir değişkenler için kontrol diyagramları $\bar{X}$, R ve s diyagramlarıdır ve bu diyagramların kontrol limitlerinin hesaplanması, standartların verilmesi ve verilmemesi durumuna bağlı olarak değişir. Ölçülebilir değişkenler kontrol diyagramlarının formülleri Tablo 2-2' de gösterilmiştir (Grant ve Leavenworth, 1988: 80)

Tablo 2-2 Ölçülebilir Değişkenler İçin Kontrol Diyagramlarının 3σ Limitine Göre Kontrol Limitlerinin Hesaplanması

Metot	$\bar{X}$ Diyagramı	R Diyagramı	s Diyagramı
μ ve σ biliniyorsa	$O.\checkmark = \mu$ $\bar{U}KL = \mu + A\sigma$ $\bar{A}KL = \mu - A\sigma$	$O.\checkmark = d_2\sigma$ $\bar{U}KL = D_2\sigma$ $\bar{A}KL = D_1\sigma$	$O.\checkmark = c_4 \sigma$ $\bar{U}KL = B_6\sigma$ $\bar{A}KL = B_5\sigma$
μ ve σ , $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{R}$ 'den tahmin ediliyorsa	$O.\checkmark = \bar{\bar{X}}$ $\bar{U}KL = \bar{\bar{X}} + A_2\sigma$ $\bar{A}KL = \bar{\bar{X}} - A_2\sigma$	$O.\checkmark = \bar{R}$ $\bar{U}KL = D_4 \bar{R}$ $\bar{A}KL = D_3 \bar{R}$	
μ ve σ , $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{s}$ 'den tahmin ediliyorsa	$O.\checkmark = \bar{\bar{X}}$ $\bar{U}KL = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$ $\bar{A}KL = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$		$O.\checkmark = \bar{s}$ $\bar{U}KL = B_4 \bar{s}$ $\bar{A}KL = B_3 \bar{s}$

5) Merkezi çizginin ve kontrol limitlerinin gözden geçirilip tekrar belirlenmesi :

Merkezi çizgi ve kontrol limitlerinin belirlenmesinden sonra, bu limitlere dayanarak gelecek kontroller için standart merkez ve kontrol limitleri tayin edilir. Bu amaçla önceki data'lara göre grafiklenmiş diyagram incelenir (Akkurt, 2002: 83).

Eğer incelemede geçmiş veriler kontrol içi durum gösteriyorsa, $\bar{\bar{X}}$ ve R diyagramları prosesin tipik bir örneği yani temsilcisi olarak düşünülür. Fakat genel olarak birçok proses ilk analizde kontrol içi durum göstermez. $\bar{\bar{X}}$ ve R diyagramlarında kontrol dışı noktalar bulunabilir . Bu noktalardan nedeni belli olanlar çıkarılır yani sadece şansa bağlı değerler kalır ve kalan noktalarla yeniden kontrol limitleri ve merkez hesaplanır (Besterfield, 1994: 120).

6) Amaçlananın başarılması :

Tüm aşamaların gerçekleştirilmesiyle kontrol diyagramlarının oluşturulma amaçları yerine getirilmiş olacak ve bu yolla proses performansı artırılarak kalite düzeyi yüksek ürünler üretilecek ve bunu yaparken kayıplar minimize edilmiş olacaktır.

BÖLÜM 3. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMI

$\bar{X}$ ve R diyagramları birlikte kullanıldığı zaman , prosesten düzenli aralıklarla sabit büyüklükteki örnekler alınır ve bu örneklerin ortalamaları ve değişim aralıkları sırasıyla $\bar{X}$ ve R diyagramları üzerinde grafiklenir. İki aşamada örneklemeli kontrol diyagramlarına (Joint $\bar{X}$ and R charts with two-stage samplings) göre, ilk aşamada örneğe ait sadece bir birim kontrol edilir , eğer proses kontrol içinde ise örnekleme durdurulur; aksi taktirde, ikinci aşamaya geçilir ve geri kalan birimler de kontrol edilir. İki aşamada örnekleme prosedürü proses ortalaması ve standart sapmasında meydana gelen değişimlerin tayin edilmesini hızlandırır (Costa ve Rahim, 2004: 1).

3.1. GİRİŞ

Shewhart 1920’de, Shewhart kontrol tablolarını ortaya koyduğundan beri, kontrol tablolarına ait temel uygulama prosedürleri üzerinde yapılabilecek birçok değişiklik metodu üzerinde çalışılmıştır. Yapılan çalışmaların amacı, örnek büyüklüğü, örnekleme prosedürü ve örnekleme zamanlarının değişimlerini Shewhart tablosu üzerinde incelemek ve karşılaştırma yapmaktır (Zimmer, Montgomery ve Runger, 2000: 1).

$\bar{X}$ ve R diyagramlarının performansını artırmak için son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda önerilen diyagramlar uyarlanabilir (adaptive) olarak adlandırılan, bir yada daha fazla parametresi yani örnek büyüklüğü , örnekleme aralığı, kontrol limitlerinin katsayısı prosesten elde edilen son bilgilere göre değiştirilen diyagramlardır. Tüm bu parametreler dizayn parametreleri olarak ifade edilir (De Magalhaes, Costa ve Neto, 2005: 2).

Uyarlanabilir kontrol diyagramlarının bir örneği olan iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ ve R diyagramlarında, örnekleme prosedürü iki faza ayrılarak proses kontrolünü kolaylaştırmak ve proses performansını artırmak amaçlanmaktadır.

3.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMI İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

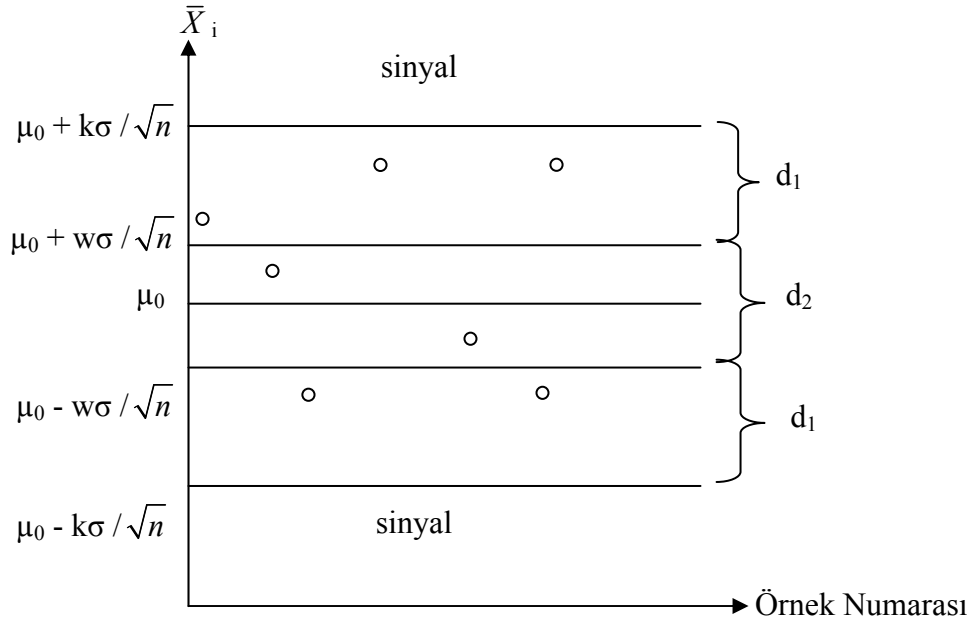
Proses ortalamasında meydana gelen bir sapmayı bulmada verimliliği artırdığı düşünülen uyarlanabilir kontrol diyagramlarının ilki, Reynolds ve arkadaşları tarafından 1988 yılında geliştirilen değişken örnek aralıklı $\bar{X}$ diyagramlarıdır. Daha sonra, Runger ve Pignatiello 1991 yılında ve Reynolds 1995 yılında değişen örnekleme aralıklı kontrol diyagramları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Prabhu, Runger ve Keats 1993’de, Costa 1994’de, Zimmer, Montgomery ve Runger 1998’de ve 2000’de yaptıkları çalışmalarda değişken örnek büyüklüğü üzerine odaklanmışlardır. Bu konuda son yapılan çalışma 2004 yılında tarafından gerçekleştirilmiştir. Costa 1997’de değişken örnek büyüklüğünü değişken örnekleme aralığıyla birlikte kullanarak bunu önce $\bar{X}$ diyagramlarında göstermiş, daha sonra 1999 yılında $\bar{X}$ -R diyagramlarında uygulamıştır. Kontrol diyagramlarının tüm parametrelerinin değişkenliği üzerine yapılan çalışmalar 1998 ve 1999 yıllarında yine Costa tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan diğer bir grup çalışma ise çift örnekleme üzerine odaklanmıştır. Croasdale 1974 yılında, Daudin 1992’de, He, Grigoryan ve Singh 2002 yılında bu konu üzerine çalışmışlardır.

3.2.1. DEĞİŞKEN ÖRNEKLEME ARALIKLIĞINA SAHİP $\bar{X}$ DİYAGRAMLARI

1988 yılında Reynolds ve arkadaşları değişken örnekleme aralığına sahip (Variable sampling interval) $\bar{X}$ diyagramları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışma bundan sonraki çalışmalar için öncülük etmiştir.

Kontrol diyagramlarında genel uygulama, prosten sabit zaman aralıklarında örnek almaktır. VSI diyagramlarında, prosten alınan son bilgiye bağlı olarak değişen zaman aralıkları kullanılır. Eğer bir örnek noktası kontrol limitlerine yakın bir bölgeye düşerse, bir sonraki örneğin kontrol limitleri dışına düşme ihtimali olabilir. Bu nedenle, bu gibi durumlarda doğal eğilim bir sonraki örneğin genel örnekleme zamanına göre daha kısa zamanda alınmasıdır. Çünkü proste meydana gelen

sapmaları zamanında ve hızlı bir şekilde tayin etmek çok önemlidir. Bu yolla, kontrol limitlerinin yakınına düşen bir nokta hakkındaki kuşku hızlı bir şekilde kesinleştirilir. Diğer taraftan, eğer mevcut örnek noktası hedefe yakın bir noktaya düşerse, prosesle ilgili bir olumsuzluk söz konusu değildir. Bu durumda bir sonraki örnek için genelden daha fazla beklemek uygun olacaktır. Sonuç olarak bu kontrol prosedürüne göre örnekleme zamanı, son zamanda gözlemlenen örneğe dayanarak değişir. Eğer bir problem söz konusu ise zaman aralığı kısa olacaktır; eğer prosese ait herhangi bir olumsuzluk yoksa daha uzun olacaktır .



Şekil 3-1 Değişken Örnekleme Aralıklı $\bar{X}$ Diyagramı

Şekil 3-1 değişken örnek aralığına sahip diyagramının yapısını göstermektedir. Örnek ortalamasının d_1 bölgelerinde $\mu_0 + k\sigma/\sqrt{n}$ ve $\mu_0 - k\sigma/\sqrt{n}$ limitlerine yakın kısımlara düşmesi durumunda sonraki örneklemenin aralığı daha kısadır. Bu limitler sırası ile üst kontrol limiti (ÜKL) ve alt kontrol limitidir (AKL). Eğer örnek ortalaması d_2 bölgesine, $\mu_0 + w\sigma/\sqrt{n}$ ve $\mu_0 - w\sigma/\sqrt{n}$ limitleri arasına , düşerse bir sonraki örnekleme aralığı daha uzundur. Buradaki limitler ise sırası ile üst uyarı limiti (ÜÜL) ve alt uyarı limitidir (AUL). k , kontrol limitleri (action limits)

katsayısını ifade eder genelde 3 olarak alınır; w, uyarı limitleri (warning limits) katsayısını gösterir (Reynolds, Amin, Arnold ve diğ., 1988: 181-182).

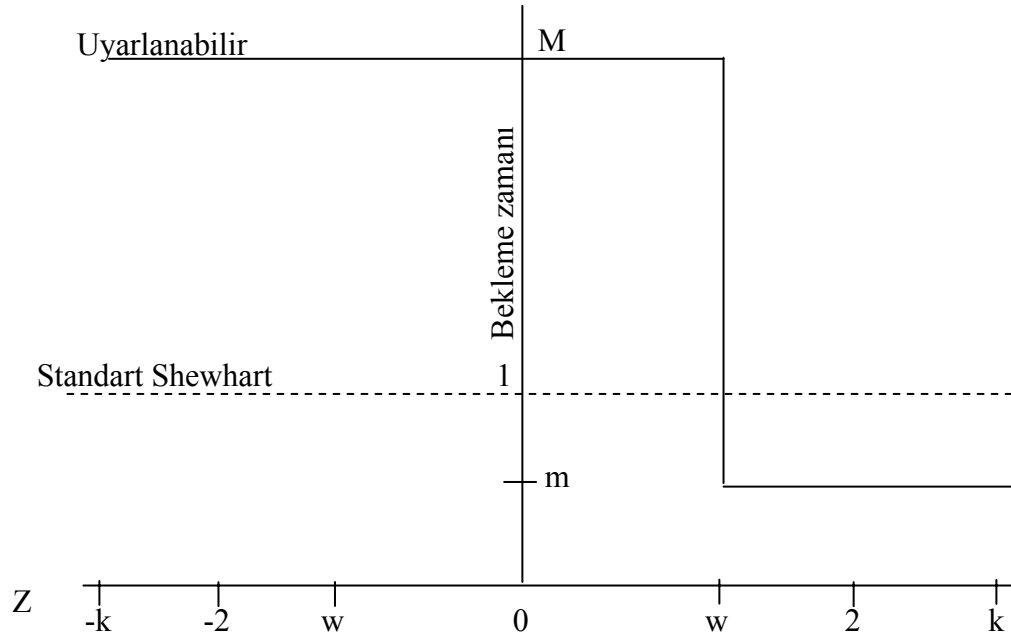
1991 yılında Runger ve Pignatiello proses kontrolü için uyarlanabilir örnekleme (Adaptive sampling for process control) konusunda bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, uyarlanabilir örneklemeyi hem tek taraflı (one -sided) kontrol diyagramları, hem de çift taraflı (two-sided) kontrol diyagramları için uygulamışlardır. Tek taraflı kontrol diyagramları için, w bekleme zamanı limitini (waiting time limit) yani uyarı limitini gösterir ve $w \leq k$ şeklindedir. Eğer altgruba

ait standardize örnek ortalaması $(Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}})$, w değerine eşit yada w değerinden

küçük ise ($Z_i \leq w$) bir sonraki altgrup M zaman biriminde örneklenir. M değeri, proses mühendislerinin prosesin örneklemez olarak çalışmasına izin verdikleri maksimum süreyi ifade eder. Böylece, eğer i. altgrup t (i) zamanında örneklenmişse i + 1. altgrup t (i+1) = t (i) + M zamanında örneklenmelidir. Eğer altgrup ortalaması $w < Z_i < k$ şeklinde ise bir sonraki altgrup m zaman biriminde örneklenir ve i + 1. altgrup t (i+ 1) = t (i) + m zamanında örneklenmelidir. m değeri, altgruplar arası minimum süreyi ifade eder (Runger ve Pignatello, 1991: 139-140).

Buradan bekleme zamanı fonksiyonu s(Z_i), Z_i değerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir ve grafik olarak Şekil 3-2 ' de gösterilmiştir.

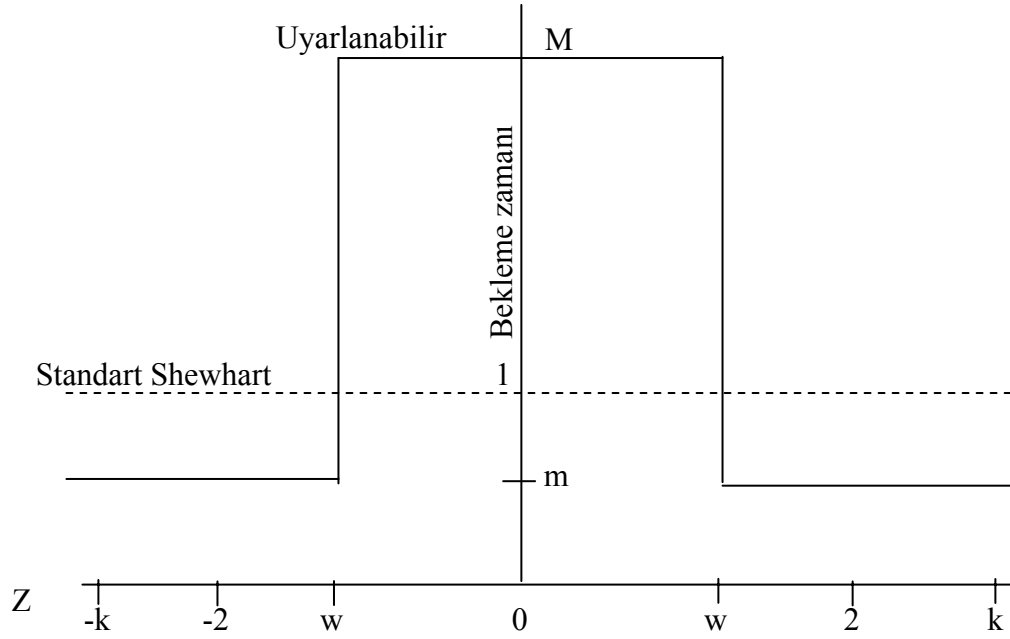
$$s(Z_i) = \begin{cases} M & ; Z_i \leq w \\ m & ; w < Z_i < k \end{cases} \quad 3-1$$



Şekil 3-2 Standart ve Uyarlanabilir Tek Taraflı Shewhart Diyagramları İçin Bekleme Zamanı Fonksiyonu

Çift taraflı kontrol diyagramlarında da $-k \leq -w \leq 0 \leq w \leq k$ şeklindedir. Eğer Z , $-w \leq Z \leq w$ aralığında ise, bir sonraki altgrup M zaman birimi içinde örneklenir. M değeri, proses mühendislerinin prosesin örneklemez olarak çalışmasına izin verdikleri maksimum süreyi ifade eder. Eğer Z , $-k < Z < -w$ veya $w < Z < k$ limitleri arasında ise, bir sonraki altgrup m zaman birimi içinde örneklenir. m değeri, altgruplar arası minimum süreyi ifade eder. Çift taraflı diyagramlar için bekleme zamanı fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir ve grafik olarak Şekil 3-3 'de gösterilmiştir (Runger ve Pignatello, 1991: 141).

$$s(Z_i) = \begin{cases} m & ; -k < Z < -w \\ M & ; -w \leq Z \leq w \\ m & ; w < Z < k \end{cases} \quad 3-2$$



Şekil 3-3 Standart ve Uyarlanabilir Çift Taraflı Shewhart Diyagramları İçin Bekleme Zamanı Fonksiyonu

1995 yılında Baxley ise değişken örnekleme aralıklı Shewhart diyagramlarının proste meydana gelen küçük sapmaları, sabit örnekleme aralıklı Shewhart diyagramlarına göre daha hızlı tespit ettiğini ileri sürmüştür.

3.2.2. DEĞİŞKEN ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜNE (VSS) SAHİP $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI

Proste meydana gelen sapmaları hızlı tayin edebilmek için yapılan diğer çalışma ise, örnek hacimlerinin prosteden alınan son bilgiye bağlı olarak değiştirildiği değişken örnek büyüklüğüne sahip diyagramlardır.

Costa 1994 yılında değişken örnek büyüklüğüne sahip $\bar{X}$ diyagramları üzerinde çalışmıştır. Çalışmada bir prosesin değişken örnek büyüklüğüne sahip $\bar{X}$ kontrol diyagramıyla izlendiği varsayılır. Proses, ortalamasının hedef değerinin μ_0 'ı gösterdiği noktada $\mu = \mu_0$ ve standart sapmasının σ olduğu bir istatistiksel kontrol durumunda başlar. Giderilebilir bir nedenin meydana gelişi, proses ortalamasının μ_0 'dan

$\mu_1 = \mu_0 \pm \delta\sigma$ gibi bir değere değişmesine neden olur. δ , proses ortalamasındaki değişimin boyutudur. Burada $\delta > 0$ 'dır. ($\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma}$)

Değişken örnek büyüklüğüne sahip rastgele örneklemeler her t saatte gerçekleştirilir. Örnek ortalaması $\bar{X}$ kontrol diyagramında uyarı limitleri $\mu_0 \pm w\sigma$, ve aksiyon limitleri $\mu_0 \pm k\sigma$, ile birlikte grafiği çıkarılır. Burada $0 \leq w \leq k$ şeklinde ve σ_x örnek ortalamasının standart sapmasını göstermektedir. Kolaylık sağlaması açısından kontrol diyagramı üzerindeki örnek noktaları standardize örnek ortalaması olacaktır. Bu durumda kontrol diyagramı üzerindeki uyarı limitleri ve aksiyon limitleri sırasıyla $\pm w$ ve k olacaktır. Böylece giderilebilir bir neden için araştırmanın yapılması, örnek noktalarının $-k, k$ aralığının dışına çıktığı zaman olacaktır.

Her örneğin büyüklüğü bir önceki incelenen örneğe bağlıdır. Eğer örnek ortalaması $-w, w$ aralığına düşerse bir sonraki örnek hacmi n_1 'dir yani daha küçük olmalıdır. Eğer örnek noktası $-k, -w$ veya k, w aralığına düşerse bir sonraki örnek büyüklüğü daha büyüktür ve n_2 ile gösterilir. Prosesten alınan ilk örnek proses başlangıcında yada yanlış alarm sonrasında rasgele seçilebilir, fakat ilk seçilen örneğin büyük olması problemlere karşı ek koruma sağlaması açısından tercih edilir. $w=k$ ve $n_1=n_2$ şeklinde ise bu standart $\bar{X}$ kontrol diyagramıdır (Costa, 1994:155-157).

Prabhu , Runger ve Keats 1993 yılında yine örnek büyüklüğünü prosesin durumuna göre değiştirerek yani adapte ederek $\bar{X}$ kontrol diyagramlarını oluşturmuşlardır. Her hedef örnek büyüklüğü için Costa gibi n_1 ve n_2 ile gösterilen iki ifade kullanılmışlardır. Burada n_1 ve n_2 öyle seçilmelidir ki, proses kontrol içi bir durumdayken ortalama örnek büyüklüğü n_0 olmalıdır. Her n_1 ve n_2 büyüklüğü için örnek büyüklüğü değiştirileceği zaman karar parametresi eşik limitleridir (uyarı limitleri). Eşik limitleri merkez çizgisinden $\pm w$ standart sapma uzaklığa ayarlanır. Kontrol limitleri ± 3 standart sapmaya ayarlanır. Örneklem sıklığı sabittir. Eğer bir önceki örnek ortalaması eşik limitlerinin içinde ise, bir sonraki örnek büyüklüğü n_1 olarak ifade edilir. Diğer taraftan eğer bir önceki örnek ortalaması eşik limitlerinin dışında ise bir sonraki örnek büyüklüğü n_2 olarak ifade edilir. Kontrol diyagramları

için adapte edici fonksiyon aşağıdaki gibi ifade edilir (Prabhu , Runger ve Keats, 1993: 2897):

$$n_j = \begin{cases} n_2 & ; w < Z_i < k \\ n_1 & ; -w < Z_i < w \\ n_2 & ; -k < Z_i < -w \end{cases} \quad 3-3$$

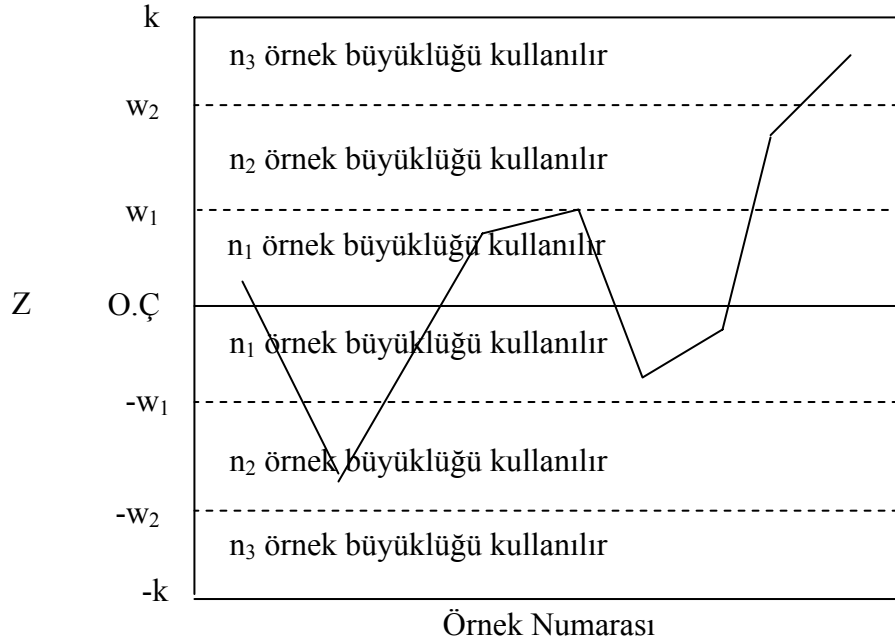
Burada $j = 1, 2$ şeklindedir.

Proses ortalaması hedef değerde iken yani $\mu = \mu_0$ olduğu zaman ortalama örnek büyüklüğü n_0 'dır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$n_0 = n_2 \frac{\Phi(-w) - \Phi(-k)}{2 [\Phi(k) - 0.5]} + n_1 \frac{\Phi(w) - \Phi(-w)}{2 [\Phi(k) - 0.5]} + n_2 \frac{\Phi(k) - \Phi(w)}{2 [\Phi(k) - 0.5]} \quad 3-4$$

$\Phi(z)$, normal değişken Z 'nin kümülatif standart normal dağılım fonksiyonunu ifade eder ve aldığı değerler Ek 2 'de verilmiştir. Parantez içindeki değer örneğin $\Phi(3)$ ise Ek 2'deki tablodan 3 değerine karşılık gelen değere bakılır. Bu değer yaklaşık 0.998'e karşılık gelir.

Zimmer, Montgomery ve Runger 1998 yılında üç durumlu uyarlanabilir örnek büyüklüğüne sahip $\bar{X}$ kontrol diyagramları (tree- state adaptive -sample size $\bar{X}$ control chart) üzerinde çalışmıştır. Üç durumlu uyarlanabilir örnek büyüklüğü olan $\bar{X}$ diyagramlarının temeli standart kontrol diyagramlarına dayanmaktadır. Örnek ortalamaları, üst kontrol limiti , alt kontrol limiti ve iki eşik limitini içeren Shewhart kontrol diyagramının üzerinde grafiklenir. Eşik limitleri merkez çizgi ve her bir kontrol limitinin arasında konumlanmıştır ve kontrol diyagramının her bir tarafını üç bölgeye ayırır. Örnek büyüklükleri $n_1 < n_2 < n_3$ şeklindedir. Şekil 3-4 üç durumlu uyarlanabilir örnek büyüklüğüne sahip $\bar{X}$ kontrol diyagramlarını göstermektedir (Zimmer, Montgomery ve Runger, 1998: 736-737).



Şekil 3-4 Üç Durumlu Uyarlanabilir Örnek Büyüklüğüne Sahip $\bar{X}$ Kontrol Diyagramları

Örnek ortalamalarının düştüğü bölge değiştiği zaman, örnek büyüklükleri de değişmektedir. Bu değişiklikler uyarlanabilir örnek büyüklüğü fonksiyonu tarafından belirlenmektedir.

$$n = \begin{cases} n_3 & ; w_2 < Z < k \\ n_2 & ; -w_1 < Z_i < w_2 \\ n_1 & ; -w_1 < Z_i < w_1 \\ n_2 & ; -w_2 < Z_i < -w_1 \\ n_3 & ; -k < Z < -w_2 \end{cases} \quad 3-5$$

Örnek ortalaması , merkez çizgi ve ilk eşik limiti (w_1) arasında ise en küçük örnek büyüklüğü (n_1) kullanılır . Proses merkez çizgiden uzaklaştıkça örnek büyüklüğü büyür. Kontrol diyagramının her iki tarafındaki ilk ve ikinci eşik limitleri arasında , orta örnek büyüklüğü (n_2) kullanılır. En büyük örnek büyüklüğü (n_3), kontrol diyagramının her iki tarafında kontrol limit ve ikinci eşik limiti arasında kullanılır. Bu örnek büyüklükleri öyle seçilmelidir ki, ortalama örnek büyüklüğü standart Shewhart kontrol diyagramının örnek büyüklüğü (n_0)'a eşit olmalıdır. Proses kontrol altında ise ortalama örnek büyüklüğü (n_0) aşağıdaki gibi ifade edilir ,

$$E[n/AKL < Z < ÜKL ; \delta = 0] = n_0 \quad 3-6$$

Ağırlıklı örnek büyüklüğünün ortalaması ise ,

$$n_0 = n_1 \left[\frac{\Phi(w_1) - \Phi(-w_1)}{2[\Phi(k) - 0.5]} \right] + n_2 \left[\frac{\Phi(-w_1) - \Phi(-w_2)}{2[\Phi(k) - 0.5]} \right] + n_2 \left[\frac{\Phi(w_2) - \Phi(-w_1)}{2[\Phi(k) - 0.5]} \right] + \\ n_3 \left[\frac{\Phi(-w_2) - \Phi(AKL)}{2[\Phi(k) - 0.5]} \right] + n_3 \left[\frac{\Phi(ÜKL) - \Phi(w_2)}{2[\Phi(k) - 0.5]} \right] \quad 3-7$$

şeklinde hesaplanır.

2000 yılında Zimmer, Montgomery ve Runger uyarlanabilir kontrol tekniklerinin diyagramların performansını arttırdığını düşünerek, dört durumlu uyarlanabilir örnek büyüklüğü olan kontrol diyagramlarını geliştirmişlerdir. Dört durumlu uyarlanabilir örnek büyüklüğü olan kontrol diyagramlarının fonksiyonunu ise aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir,

$$n = \begin{cases} n_4 & ; -k < Z < -w_2 \\ n_3 & ; -w_3 < Z < -w_2 \\ n_2 & ; -w_2 < Z < -w_1 \\ n_1 & ; -w_1 < Z < w_1 \\ n_2 & ; w_1 < Z < w_2 \\ n_3 & ; w_2 < Z < w_3 \\ n_4 & ; w_3 < Z < k \end{cases} \quad 3-8$$

Burada, örnekleme aralığı sabittir ve örnek büyüklükleri, $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$ şeklindedir. Eşik limitleri ise $w_1 < w_2 < w_3 < k$ ve $-k < -w_3 < -w_2 < -w_1$ şeklinde sıralanır (Zimmer, Montgomery ve Runger, 2000: 1982).

Değişken örnek büyüklüğü ile ilgili yapılan son çalışma ise yine Costa ve Rahim tarafından 2004 yılında yapılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak burada $\bar{X}$ diyagramı ile birlikte R diyagramında kullanılmıştır ve VSS $\bar{X}$ -R diyagramları olarak adlandırılmıştır. Yönteme göre, her t saatte alınan örneklerin ortalamaları $\bar{X}$ hesaplanır. Örnek ortalamaları uyarı limitlerini $\mu_0 \pm w\sigma_x$ ve eylem limitlerini $\mu_0 \pm k\sigma_x$ içeren $\bar{X}$ kontrol diyagramının üzerinde grafiklenir. Örnek aralıkları uyarı limiti

ve kontrol limitini içeren R diyagramında grafiklenir. R diyagramı için uyarı ve kontrol limitleri sırasıyla $w_R(n_i)\sigma_0$ ve $k_R(n_i)\sigma_0$ ifadelerinden hesaplanır. w_R , R diyagramı için uyarı limitleri katsayısı; k_R , R diyagramı için kontrol limitleri katsayısıdır. Burada $w_R(n_i) < k_R(n_i)$ ve $i=1,2$ şeklindedir. Her örnekleme büyüklüğü bir önceki örnekleme gözlemlere bağlıdır. Eğer $\bar{X}$ ve R noktaları, $\bar{X}$ ve R diyagramlarının merkez bölgesine ($w, -w$) düşerse, bir sonraki örnekleme büyüklüğü daha küçük olmalıdır ve küçük örnek büyüklüğü n_1 ile ifade edilir. Eğer $\bar{X}$ ve R noktaları, $\bar{X}$ ve R diyagramlarının uyarı bölgesine [(k, w) veya $(-k, -w)$] düşerse, bir sonraki örnek büyüklüğü daha büyük olmalıdır ve büyük örnek büyüklüğü n_2 ile ifade edilir. Bu çalışmaya göre sadece örnek büyüklüğünün değişken olduğu olaylarda w ve w_R aşağıdaki denklemlerden yararlanılarak hesaplanır :

$$w = \Phi^{-1} \left(0.5 + [\Phi(k) - 0.5] \sqrt{\frac{n_2 - n}{n_2 - n_1}} \right) \quad 3-9$$

$$w_R(n_i) = F_W^{-1} \left\{ \sqrt{\frac{n_2 - n}{n_2 - n_1}} F_W[k_R(n_i)] \right\} \quad 3-10$$

$F_w(\cdot)$, standardize örnek aralığı $W=R / \sigma$ için kümülatif dağılım fonksiyonudur. Ek 3, W için kümülatif dağılım fonksiyonu tablosunu göstermektedir. Bu tablodaki değerler W 'nin farklı numune boyutlarına göre 0'dan 7'ye kadar olan değerden küçük olma olasılığını göstermektedir. Yani $1-F_w$ değerini vermektedir. $F_w(\cdot)$ 'yi bulmak için tablo değeri 1'den çıkarılır (Pearson ve Hartley, 1942: 301-307).

3.2.3. DEĞİŞKEN ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜNE VE ÖRNEK ARALIĞINA SAHİP (VSSI) $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI

Costa 1997 yılında kontrol diyagramlarının dizayn parametresi olan örnek büyüklüğü (n) ve örnekleme aralığını (t), proseten elde edilen son bilginin bir fonksiyonu olarak maksimum ve minimum değerler arasında değiştirmeyi denemiştir ve önce sadece $\bar{X}$ diyagramları üzerinde yani proses ortalamasını kontrol etmek için uygulamıştır .

Bunun akabinde, 1999 yılında hem $\bar{X}$, hem de R diyagramları üzerinde bu yöntemi birlikte uygulamıştır. VSSI (variable sample size interval) $\bar{X}$ -R diyagramı oluşturulurken başlangıçta prosesin kontrol içinde olduğu düşünülür yani ortalama veya varyansta herhangi bir değişim yoktur. Prosesin ilerleyen evrelerinde giderilebilir nedenlerin devreye girmesiyle değişme sözkonusu olabilir. Prosesten değişken örnek büyüklüğüne sahip altgrup örneklenir. Standardize örnek ortalaması Z , uyarı limitleri ($\pm w$) ve aksiyon limitlerini ($\pm k$) içeren kontrol diyagramı üzerinde gösterilir. Standardize örnek aralığı W ($W = R / \sigma_0$) uyarı limitleri ($w_R(n)$) ve aksiyon limitlerini ($k_R(n)$) içeren kontrol diyagramı üzerinde gösterilir. $w_R(n)$, $k_R(n)$ parametreleri örnek büyüklüğüne bağlıdır.

Örnek ortalaması ($-k$, k) limitleri dışına düşerse veya örnek aralığı (0 , $k_R(n)$) aralığına düşerse VSSI $\bar{X}$ ve R diyagramı sinyal üretir. Her sinyal sonrası, proses giderilebilir nedeni araştırmak için durdurulur. Eğer sinyal doğru alarm ise, giderilebilir neden elimine edildikten sonra proses tekrar kontrol içi duruma döner.

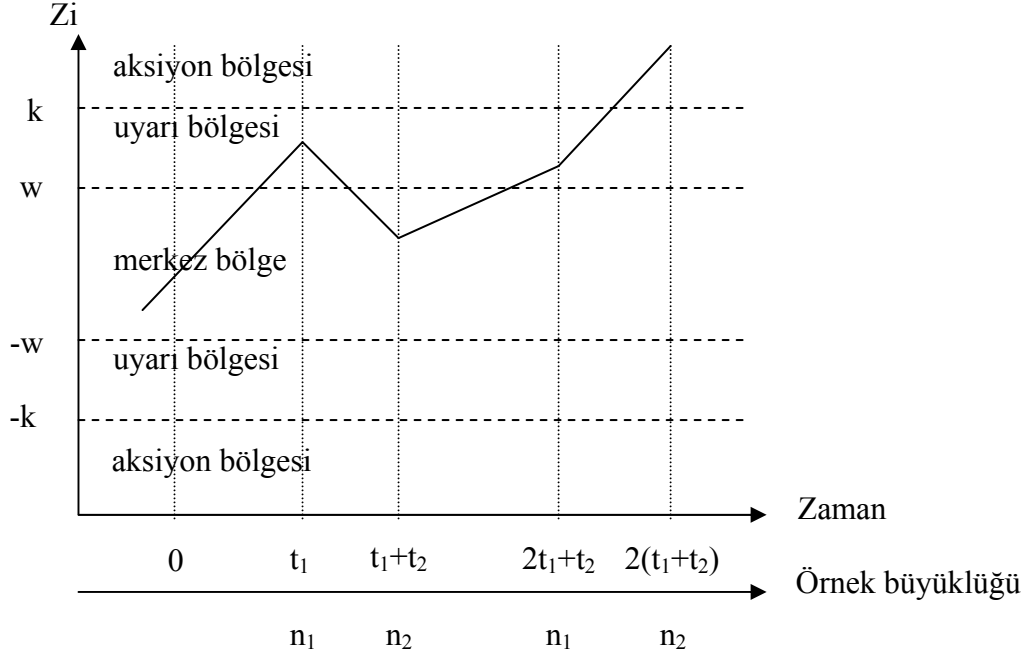
Eğer örnek orta noktası ($-w$, w) aralığına düşerse ve örnek aralık noktası [0 , $w_R(n)$] aralığına düşerse, bir sonraki örnek büyüklüğü küçük (n_1) olmalı ve bu örnekleme uzun süre (t_1) sonra yapılmalıdır. Diğer taraftan, eğer örnek orta noktası ($-k$, $-w$) veya (w , k) aralığına düşerse ve örnek aralık noktası [$w_R(n)$, $k_R(n)$] aralığına düşerse, bir sonraki örnek büyüklüğü (n_2) büyük olmalı ve bu örnekleme kısa süre (t_2) sonra yapılmalıdır. $w_R(n)$, $k_R(n)$ değerleri örnek büyüklüğüne göre değişir. Bu değerler ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$k_R(n_i) = F_w^{-1}(1 - \alpha_R) \quad 3-11$$

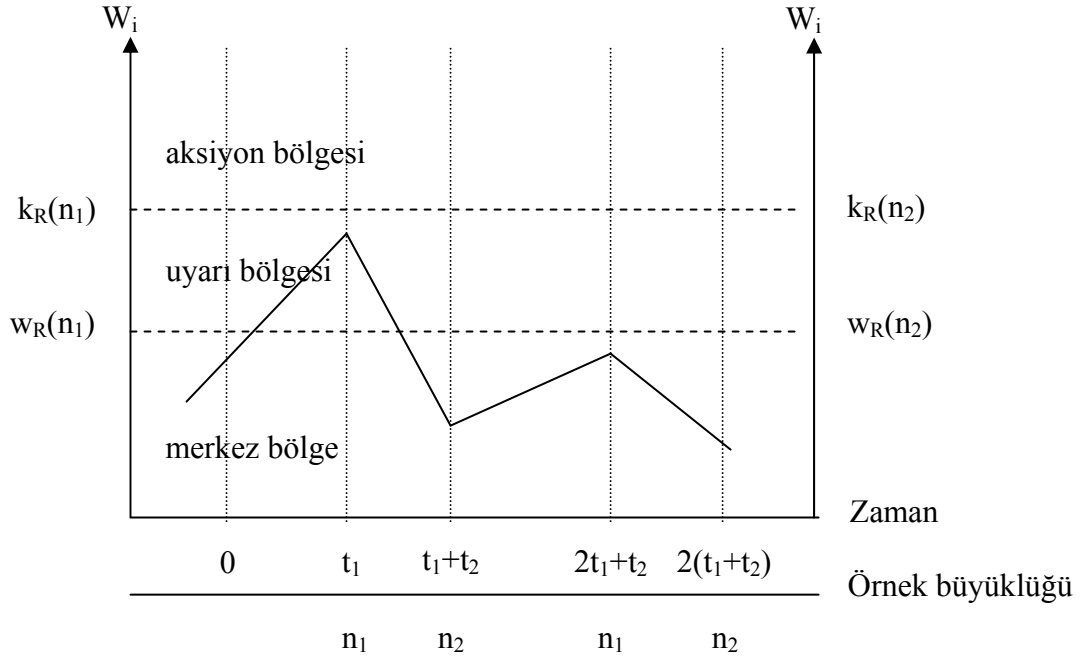
$$w_R(n_i) = F_w^{-1} \left[\frac{2\Phi(w) - 1}{1 - \alpha_{\bar{X}}} (1 - \alpha_R) \right] \quad 3-12$$

$\alpha_{\bar{X}}$ ve α_R sırasıyla $\bar{X}$ diyagramı için seçilen tip 1 hata olasılığı ve R diyagramı için seçilen tip 2 hata olasılığıdır. Bu değerler kullanıcı tarafından seçilir.

VSSI $\bar{X}$ Diyagramı ve VSSI R Diyagramı Şekil 3-5 ve Şekil 3-6' da grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3-5 VSSI $\bar{X}$ Diyagramı



Şekil 3-6 VSSI R Diyagramı

Kullanıcı ilk örnek büyüklüğünü büyük yada küçük olarak tercih edebilir. Eğer t uzun (kısa) ise $\bar{X}$ ve R diyagramlarının özellikleri ilk örnek büyüklüğünden bağımsızdır. Kontrol içi periyot süresince, ilk örneği de içeren tüm örneklerin küçük olma olasılığı P_0 ve büyük olma olasılığı ise $1-P_0$ 'dır (Costa, 1999: 388).

$$P_0 = \Pr[Z < w | Z < k] \times \Pr[W < w_R(n) | W < k_R(n), \sigma = \sigma_0] \quad 3-13$$

3.2.4. DEĞİŞKEN PARAMETRELİ (VP) $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI

Costa 1999 yılında yaptığı çalışmada, tüm dizayn parametrelerini değiştirerek $\bar{X}$ diyagramlarını oluşturmayı denemiştir. Buna göre değişken parametreler örnek büyüklüğü (n), örnekleme aralığı (t), $\bar{X}$ diyagramının aksiyon limitlerinin genişliğini belirleyen k faktörüdür. 1998 yılında ise bu çalışmaya R diyagramlarında eklemiştir. Böylece yukarıdaki değişken parametrelere $k_R(n)$, R diyagramının aksiyon limitinin genişliğini belirleyen faktörde eklenmiştir. Bu dört parametre, son $\bar{X}$ ve R gözlemlerine bağlı olarak minimum ve maksimum değerler arasında değişir. Eğer

$\bar{X}$ noktası, $\bar{X}$ diyagramının uyarı bölgesine düşerse veya bir R noktası, R diyagramının uyarı bölgesine düşerse, kontrolü sıkılaştırmak uygun bir yoldur ve aşağıda belirtildiği gibi yapılır (Costa, 1998: 505):

- a) Bir sonraki örneği almak için bekleme süresini kısaltmak (küçük t);
- b) Bir sonraki örneğin örnek büyüklüğünü artırmak (büyük n);
- c) Bir sonraki $\bar{X}$ noktasını, $\bar{X}$ diyagramı üzerinde daha dar aksiyon limitleriyle göstermek (küçük k);
- d) Bir sonraki R noktasını R diyagramı üzerinde daha dar aksiyon limitleriyle göstermek (küçük $k_R(n)$).

Diğer taraftan, Eğer son $\bar{X}$ noktası, $\bar{X}$ diyagramının merkez bölgesine düşerse ve son R noktası, R diyagramının merkez bölgesine düşerse kontrolü gevşetmek uygun bir yoldur ve aşağıda belirtildiği gibi yapılır (Costa, 1998: 505):

- Bir sonraki örneği almadan önce daha uzun süre beklemek (büyük t);
- Bir sonraki örneğin örnek büyüklüğünü azaltmak (küçük n);
- Bir sonraki $\bar{X}$ noktasını $\bar{X}$ diyagramı üzerinde geniş aksiyon limitleriyle göstermek (büyük k);
- Bir sonraki R noktasını R diyagramı üzerinde geniş aksiyon limitleriyle göstermek (büyük $k_R(n)$).

Sabit parametrelili ortak $\bar{X}$ -R diyagramında olduğu gibi, değişken parametrelili ortak $\bar{X}$ -R diyagramları da, bir $\bar{X}$ noktası $\bar{X}$ diyagramının aksiyon bölgesine düştüğü zaman veya bir R noktası R diyagramının aksiyon bölgesine düştüğü zaman sinyal üretir.

Vp $\bar{X}$ -R Diyagramlarının Tanımlanması

Vp $\bar{X}$ -R diyagramlarında da proses başlangıçta, $\mu = \mu_0$ ortalamayla ve $\sigma = \sigma_0$ standart sapma ile istatistiksel olarak kontrol içinde kabul edilir. İlerleyen zamanda ortalama μ_0 'dan $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ değerine, standart sapma σ_0 'dan $\sigma_1 = \gamma\sigma$ değerine değişir. γ standart sapmadaki değişimin boyutudur.

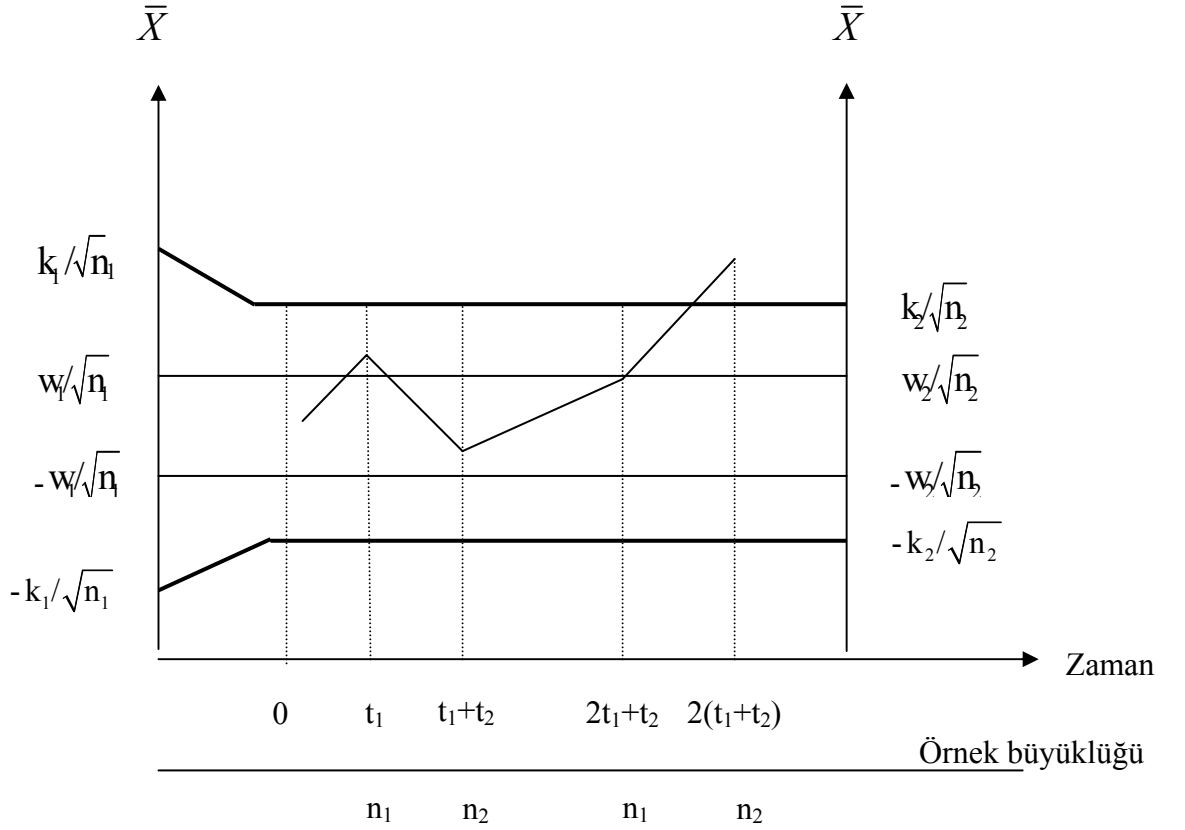
Vp $\bar{X}$ -R diyagramı, prosesin son durumuna göre iki değer arasında değişen n , t , k ve $k_R(n)$ parametreleri ile dizayn edilmiş standart $\bar{X}$ ve R diyagramlarının değiştirilmiş halidir. Son $\bar{X}$ ve R noktalarının $\bar{X}$ ve R diyagramları üzerindeki pozisyonu bir sonraki örneğin büyüklüğünü ve örnekleme aralığını belirler. Eğer $\bar{X}$ ve R noktaları uyarı bölgesine düşerse, bir sonraki örnek büyüklüğü büyük olmalıdır ($n_2 > n_0$) ve örnekleme aralığı kısaltılmalıdır ($t_2 > t_0$). Diğer taraftan, eğer $\bar{X}$ ve R noktaları merkez bölgeye düşerse, bir sonraki örnek büyüklüğü küçük olmalıdır. ($n_1 < n_0$) ve örnekleme aralığı uzatılmalıdır ($t_1 > t_0$). Buna ek olarak $\bar{X}$ değerleri, $\bar{X}$ diyagramı üzerinde uyarı ve aksiyon limitleriyle birlikte gösterilmelidir. Bu limitler sırasıyla $\mu_0 \pm w_i\sigma_0 / \sqrt{n_i}$ ve $\mu_0 \pm k_i\sigma_0 / \sqrt{n_i}$ ifadelerinden elde edilir. Eğer $\bar{X}$ küçük (büyük) örneğe aitse, $i=1$ ($i=2$)'dir ve $k_1 > k_0 > k_2$, $w_1 > w_2$ şeklindedir. R değerleri de R diyagramı üzerinde uyarı ve aksiyon limitleriyle birlikte gösterilmelidir. Bu limitler sırasıyla $w_R(n_i)\sigma_0$ ve $k_R(n)\sigma_0$ ifadelerinden elde edilir. Eğer R küçük (büyük) örneğe aitse, $i=1$ ($i=2$)'dir ve

$$\Pr[R > k_R(n)\sigma_0, \sigma = \sigma_0, n = n_1] < \Pr[R > k_R(n)\sigma_0, \sigma = \sigma_0, n = n_1] \quad 3-14$$

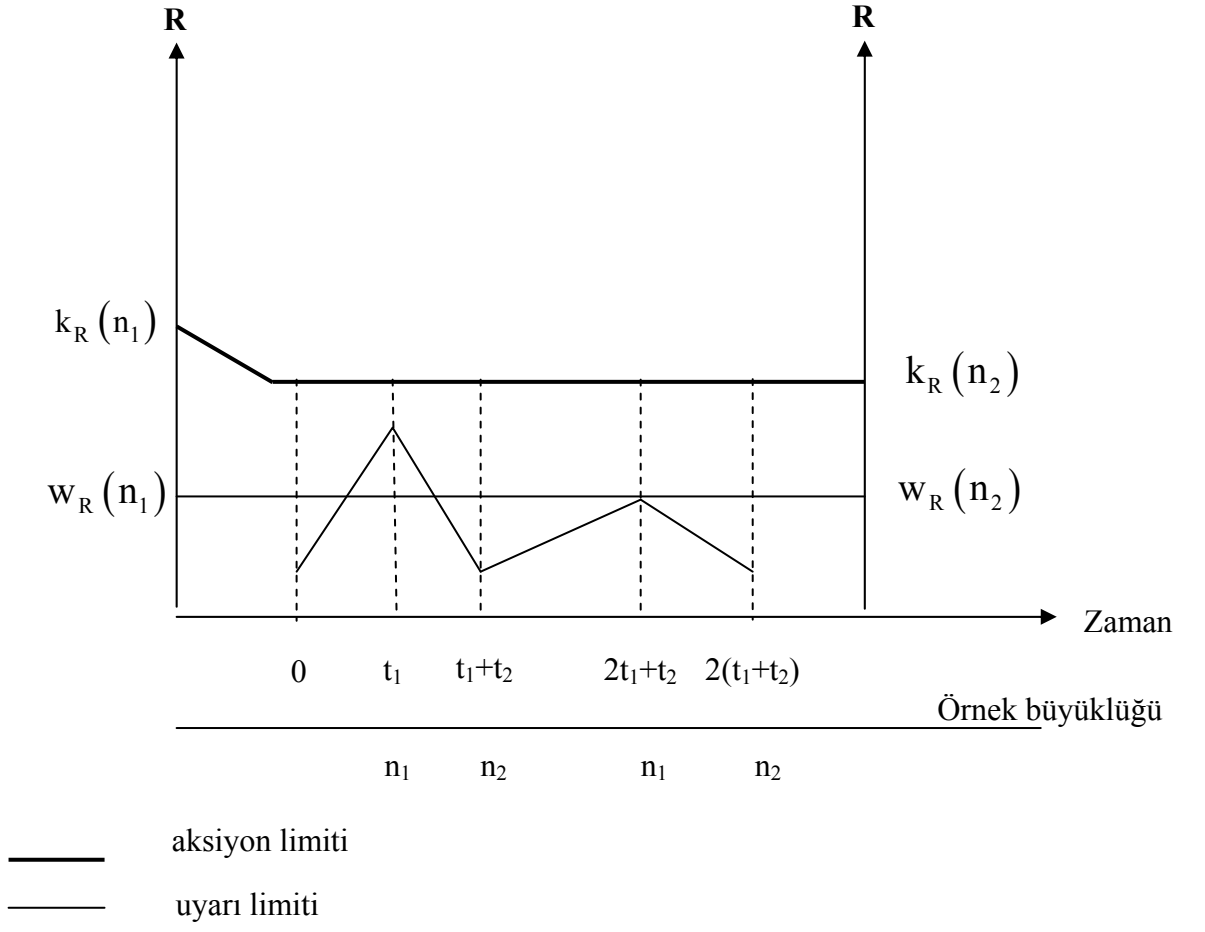
şeklindedir (Costa, 1998: 506).

İki $\bar{X}$ diyagramı ve iki R diyagramı (biri küçük örnek, diğeri büyük örnek için) kullanmaktan kaçınmak için, uygulamacılar Şekil 3-7 ve 3-8'deki gibi biri sağ diğeri sol tarafta olan, iki skalalı $\bar{X}$ -R diyagramı kullanabilirler. Küçük (büyük) örneklerden gelen $\bar{X}$ değerleri, $\bar{X}$ diyagramı üzerinde sol (sağ) taraf dikkate alınarak gösterilir ve küçük (büyük) örneklerden gelen R değerleri de R diyagramı

üzerinde sol (sağ) taraf dikkate alınarak gösterilir. Çünkü sol taraf, sağ tarafın lineer bir fonksiyonu olmadığı için, küçük ve büyük örneklere ait olan uyarı limitleri ve aksiyon limitleri birbirine uymaz. Şekil 3-7 ve 3-8'deki diyagramlar, küçük ve büyük örneğin uyarı limitlerinin birbirine uyması için seçilmiş sağ ve sol skalalardan oluşur. Buna ek olarak, küçük örneğin uyarı limitleri, her iki örneğin aksiyon limitlerini birbirine uydurmak için daraltılır. V_p $\bar{X}$ -R diyagramları Bir $\bar{X}$ veya R noktası aksiyon bölgesine düştüğünde sinyal üretir. $\mu=\mu_0$ ve $\sigma = \sigma_0$ olduğu zaman üretilen sinyal yanlış alarmdır ve $\mu=\mu_1$ ve $\sigma = \sigma_1$ olduğunda üretilen sinyal ise doğru alarmdır



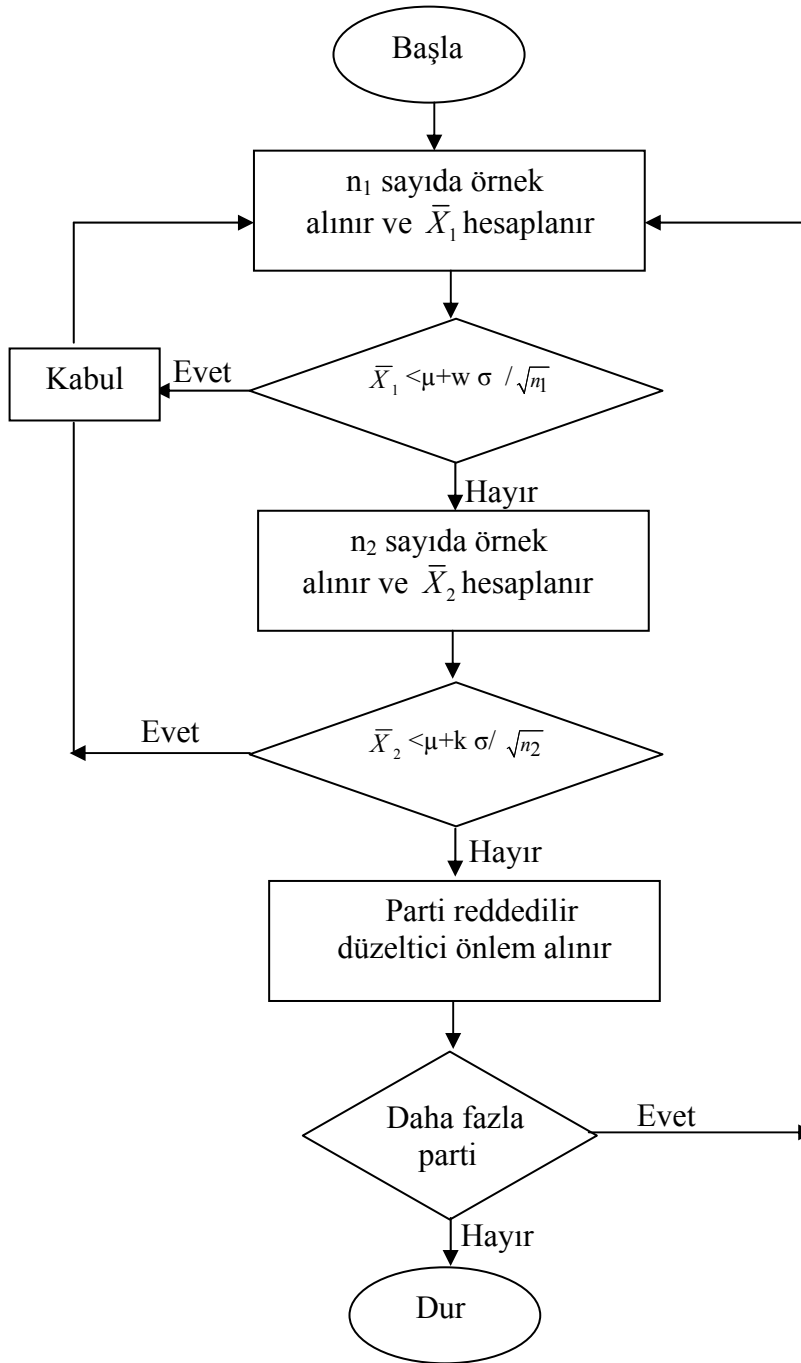
Şekil 3-7 V_p $\bar{X}$ Diyagramı



Şekil 3-8 Vp R Diyagramı

3.2.5. ÇİFT ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ KONTROL DİYAGRAMLARI

1974 yılında Croasdale, normal dağılım gösteren bir populasyonun ortalamasını kontrol etmek için çift örneklemeli şema geliştirmiştir. Bu şemayı Şekil 3-9'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3-9 Çift Örneklemeli Kontrol Şeması

Şemaya göre başlangıçta n_1 büyüklüğünde örnekleme yapılır ve örneğin ortlaması $\bar{X}_1$ hesaplanır. Örnek ortalaması kontrol diyagramı üzerinde gösterilir. Eğer $\bar{X}_1 < \mu + w \sigma / \sqrt{n_1}$ ise, parti kabul edilir; aksi taktirde aynı partiden n_2 büyüklüğünde

ikinci örnek alınır ve ortalaması $\bar{X}_2$ hesaplanır. Örnek ortalaması kontrol diyagramı üzerinde gösterilir. Eğer $\bar{X}_2 < \mu + k\sigma/\sqrt{n_2}$ ise, parti kabul edilir ; aksi takdirde parti reddedilir ve düzeltici faaliyet başlatılır (Croasdale, 1974: 586).

Daudin 1992 yılında, çift örnekleme planından yola çıkarak $\bar{X}$ diyagramlarını önermiştir. Bu prosedür, kontrol diyagramının performansı bakımından standart Shewhart $\bar{X}$ kontrol diyagramlarına göre daha verimli bir istatistiki durum sunar. Alternatif olarak bu prosedür, istatistiksel verimi düşürmeden örnekleme sayısının düşürülmesini sağlar. DS prosedüründe araya bir zaman girmeksizin aynı olasılık dağılımına sahip ardışık iki örnekleme yapılır. Bu görüldüğü kadar zor değildir, çünkü aynı zamanda $n_1 + n_2$ birimden oluşan bir örnekleme yapılır ve ilk olarak n_1 birim analiz edilir, bundan sonra geriye kalan n_2 birimin analiz edilip edilmeyeceğine karar verilir. Bu yüzden bir DS prosedürü uzun zaman gerektiren analiz yada ölçümlerde kullanılabilir (Daudin, 1992: 78).

DS prosedürü şu şekilde ifade edilmektedir. İlk olarak, n_1 büyüklüğünde örnek alınır ve örnek ortalaması $\bar{X}_1$ hesaplanır. $\bar{X}_1$ için μ_0 ortalamayı ve $\sigma/\sqrt{n_1}$ ise standart sapmayı gösterir. Bu aşamada üç olasılık söz konusudur (Daudin, 1992: 79),

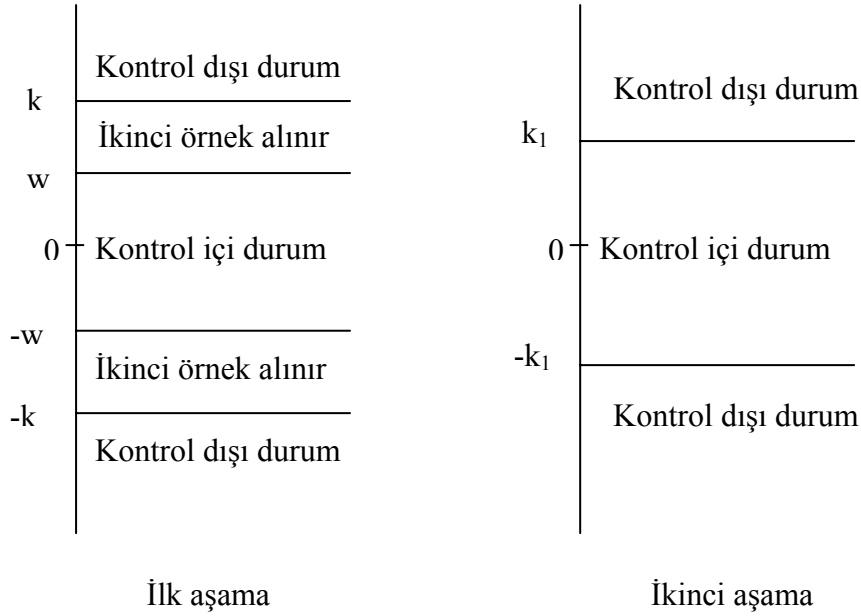
- Eğer $\bar{X}_1$ proses ortalamasından (μ_0) w standart sapma daha fazla değilse proses kontrol içindedir.
- Eğer $\bar{X}_1$ proses ortalamasından (μ_0) k ($k > w$) standart sapma daha fazla ise proses kontrol dışındadır.
- Eğer $\bar{X}_1$ proses ortalamasından (μ_0) w standart sapma daha fazla fakat k den daha fazla değilse ikinci örnekleme yapılır.

İkinci aşamada n_2 büyüklüğünde örnekleme yapılır ve ortalama $\bar{X}_2$ hesaplanır. İkinci aşamadaki kararlar birleşik örnek ortalamasına $\bar{Y} = (n_1\bar{X}_1 + n_2\bar{X}_2)/(n_1 + n_2)$ dayanır.

$\bar{Y}$ nin ortalaması ve standart sapması sırasıyla μ_0 ve $\sigma/\sqrt{n_1+n_2}$ şeklinde ifade edilir. Bu aşamada da iki olasılık söz konusudur,

- Eğer $\bar{Y}$ proses ortalamasından (μ_0) k_1 standart sapma daha fazla değilse proses kontrol içindedir.
- Eğer $\bar{Y}$ proses ortalamasından (μ_0) k_1 standart sapma daha fazla ise proses kontrol dışındadır.

Alternatif olarak, $\bar{X}_1$ değeri, μ_0 çıkararak ve $\sigma/\sqrt{n_1}$ değerine bölünerek ve $\bar{Y}$ değeri, μ_0 çıkararak ve $\sigma/\sqrt{n_1+n_2}$ değerine bölünerek standardize edilebilir. Daha sonra bu değerler direkt olarak k , w ve k_1 değerleri ile karşılaştırılır. Şekil 3-10 da gösterilmiştir.



Şekil 3-10 DS $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı

He, Grigoryan ve Sigh 2002 yılında, DS $\bar{X}$ diyagramlarının optimal dizaynı üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmaya göre, DS $\bar{X}$ diyagramlarının dizaynı beş parametrenin belirlenmesini gerektirir.

1. n_1 = İlk örneğin örnek büyüklüğü.

2. n_2 = İkinci örneğin örnek büyüklüğü.
3. w ve $-w$ = İlk örnek için prosesin kontrol içinde olduğunu gösteren limitler.
4. k_1 ve $-k_1$ = İkinci örnek için prosesin kontrol içinde olduğunu gösteren limitler.
5. k ve $-k$ = İlk örnek için prosesin kontrol dışında olduğunu gösteren limitler.

Ortalama örnek büyüklüğünü minimize etmek için DS $\bar{X}$ diyagramının optimal dizaynı n_1, n_2, k_1, k_2 ve k parametreleri tarafından belirlenir . DS $\bar{X}$ Kontrol diyagramının optimal dizaynı bir optimizasyon problemi olarak formüle edilir. Burada amaç fonksiyonu örnek büyüklüğünün minimize edilmesidir. Bu formülasyonda iki kısıt vardır. Bunlardan ilki, yanlış alarm olasılığının α 'dan (Tip 1 hata) büyük olmamasıdır. İkincisi de, prosesteki bir sapmanın tayin edilememe olasılığının β 'dan (Tip 2 hata) büyük olmamasıdır. Matematiksel olarak optimizasyon aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$\min_{n_1, n_2, L_1, L_2, L_3} \left(n_1 + n_2 \Pr \left[\bar{X}_1 \in I \mid \mu = \mu_0 \right] \right) \quad 3-15$$

$$I = \left[\mu_0 - \frac{L_1 \sigma}{\sqrt{n_1}}, \mu_0 - \frac{L_3 \sigma}{\sqrt{n_1}} \right] \cup \left[\mu_0 + \frac{L_1 \sigma}{\sqrt{n_1}}, \mu_0 + \frac{L_3 \sigma}{\sqrt{n_1}} \right] \quad 3-16$$

Kısıtlar 3.17 ve 3.18'deki gibi ifade edilir.

$$\Pr \left[\text{Kontrol dışı} \mid \mu = \mu_0 \right] \leq \alpha \quad 3-17$$

$$\Pr \left[\text{Kontrol içi} \mid \mu = \mu_1 \right] \leq \beta \quad 3-18$$

3.2.6. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARI

Costa ve Rahim (2004), yukarıda anlatılan uyarlanabilir kontrol diyagramlarından yola çıkarak iki aşamada örneklemeli kontrol diyagramlarını geliştirmişlerdir. İki aşama örneklemeli $\bar{X}$ ve R diyagramlarında , bir X değişkeninin μ ortalama ve σ^2 varyansla normal dağılım gösteren bir prosesteki kalite karakteristiğini gözlemlemek için kullanıldığı farzedilir. Prosesin başlangıçta hedef ortalama ve varyansta olduğu düşünülür ($\mu = \mu_0, \sigma^2 = \sigma_0^2$). Fakat ilerde bazı zamanlarda , tayin edilebilir nedenler

ortalamayı μ_0 'dan $\mu_1 = \mu_0 \pm \delta\sigma_0$ değerine ($\delta > 0$), varyansı da σ_0^2 'den $\sigma_1^2 = \gamma^2\sigma_0^2$ ($\gamma > 1$) değerine değiştirir.

Standart Shewhart diyagramlarına benzer olarak, n_0 hacimli örnekler düzenli zaman aralıklarında prosesten alınır ve örnekleme iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada , n_0 hacimli örneğin sadece bir örneği gözlemlenir. Eğer onun X değeri hedef değere ($|X - \mu_0| < w\sigma_0$, $w > 0$) yakınsa, başka bir ifade ile üst uyarı limiti ($\mu_0 + w\sigma_0$) ile alt uyarı limiti ($\mu_0 - w\sigma_0$) arasında ise örnekleme durdurulur. Aksi halde, ikinci aşamaya geçilir ve $n_0 - 1$ sayıda birim gözlenir , tüm n_0 hesaba katılarak $\bar{X}$ ve R değerleri hesaplanır. Eğer bir $\bar{X}$ değeri $\mu_0 \pm k\sigma_0 / \sqrt{n_0}$ aralığının dışına çıkarsa veya R değeri $(0, k_R(n)\sigma_0)$ aralığının dışına çıkarsa, bu prosesin düzeltilmesi gerektiğinin yani bir sapma olduğunun bir sinyalidir. $\mu_0 \pm k\sigma_0 / \sqrt{n_0}$ ifadesi üst kontrol limiti-alt kontrol limitini gösterir ve R diyagramı için üst kontrol limiti $k_R(n)\sigma_0$ ifadesinden elde edilir. Kontrol içi periyotta her örneklemedeki gözlemlenen örnek sayısı, n , aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$n = 1 + (n_0 - 1)[2\Phi(-w)] \quad 3-19$$

Eğer n_0 ve w , iki aşamada örnekleme $\bar{X}$ - R diyagramının örnek büyüklüğünün, standart Shewhart $\bar{X}$ - R diyagramının örnek büyüklüğüne eşitlemek için dizayn edilir, bu durum diyagramların karşılaştırılması açısından kolaylık sağlayacaktır.

R diyagramı için üst kontrol limiti katsayısı ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir (Costa, 1998: 508).

$$k_R = F_w^{-1}[1 - 2\Phi(-k)] \quad 3-20$$

BÖLÜM 4. KONTROL DİYAGRAMLARINDA PERFORMANS ÖLÇÜMÜ VE KARŞILAŞTIRILMASI

İstatistiksel proses kontrolünde önemli yere sahip olan Shewhart kontrol diyagramlarının verimliliğinin artırılması için diyagramlar üzerinde modifikasyonlar yapılarak proseste meydana gelen sapmaların daha kısa sürede saptanması amaçlanmıştır. Yapılan değişimler sonucu elde edilen kontrol diyagramlarının performansları, performans göstergeleri vasıtasıyla belirlenerek karşılaştırma yapılır ve en iyi sonucu veren diyagram tercih edilir.

4.1. KONTROL DİYAGRAMLARINDA PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Kontrol diyagramlarının performansı, meydana gelen tayin edilebilir nedenleri ortaya çıkarma hızı ve yanlış alarm sıklığı tarafından belirlenir (Tagaras, 1998: 214). Performans belirlemede kullanılan göstergelerin hesaplanmasında ise kontrol diyagramının gücünden faydalanılır.

Kontrol diyagramlarının gücü, proseste meydana gelen değişimlerin tayin edilme olasılığı olarak ifade edilir. Farklı değişim büyüklüklerine karşı farklı güç değerlerinin grafiği çıkarılarak kontrol diyagramlarının güç fonksiyonu elde edilir (Banks, 1989: 205).

Genel olarak bir güç fonksiyonu üç kritere bağlıdır,

1. Tayin edilen sinyalin büyüklüğü
2. Sinyali tayininde kullanılan bilgi miktarı
3. Mevcut bilgileri analiz etmek için kullanılan prosedür.

Tayin edilen sinyalin büyüklüğü proseste meydana gelen değişimin büyüklüğüdür. Mevcut bilgi miktarı altgrup büyüklüğü ve altgrup sayısı tarafından belirlenir. Prosedür ise kontrol dışı durumu belirlemek için kullanılan tayin kuralları tarafından belirlenir. Tayin kuralları kontrol dışı durumu ifade etmek için kullanılır. Burada

kullanılacak tayin kuralı, herhangi bir örnek noktasının üç sigma limitleri dışına çıkmasıdır (Wheeler, 1995: 207).

Bu tayin kuralının kullanılması durumunda bir noktanın üç sigma limitleri dışına çıkma olasılığı “ α ” ile ifade edilir. Proseste meydana gelen bir değişimin, bu değişimi takip eden ilk altgrupta tayin edilme olasılığı $P_1=\alpha$ ‘dır, ikinci altgrupta tayin edilme olasılığı $P_2= \alpha (1- \alpha)$ ‘dır . Bu değişimin L. altgrupta tayin edilme olasılığı ise $P_L= \alpha (1- \alpha)^{L-1}$ şeklinde ifade edilir. Sonuç olarak, bir değişimi, bu değişimi takip eden L altgrup içinde tayin edilme olasılığı 4.1’deki formül ile bulunur. (Wheeler, 1995 : 213-214),

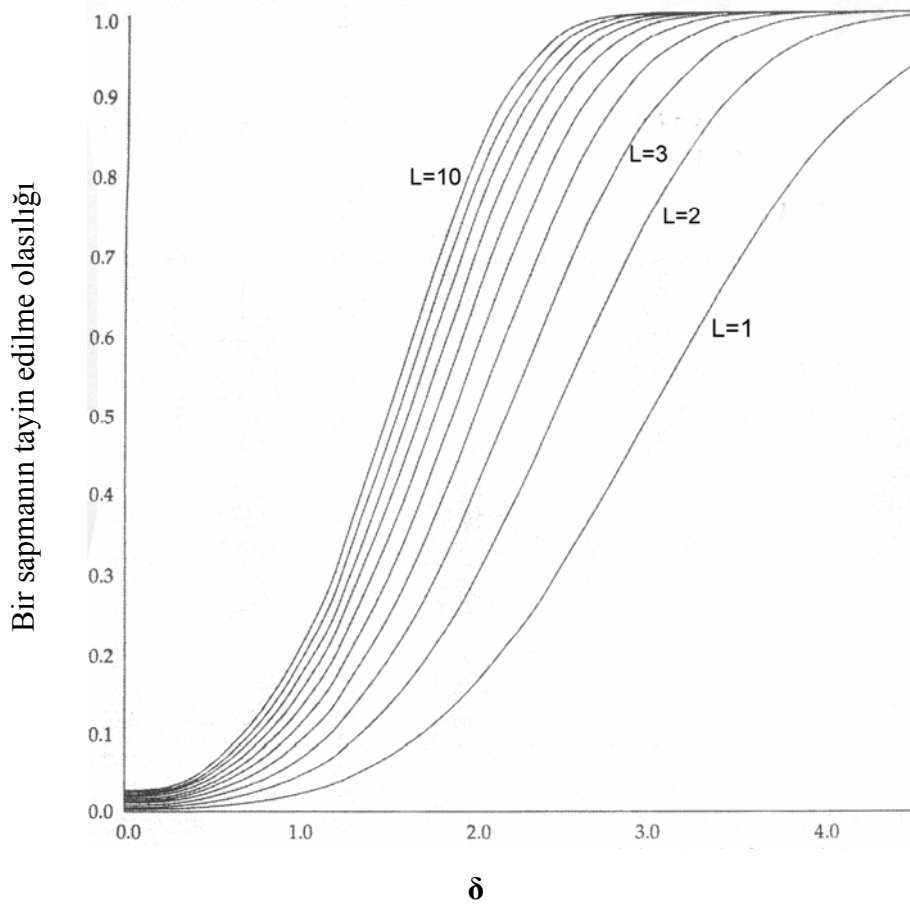
$$\sum_{i=1}^L P_i = \sum_{i=1}^L \alpha(1-\alpha)^{i-1} = 1-(1-\alpha)^L \quad 4-1$$

Bu formül sayesinde bir kontrol diyagramının gücü hesaplanabilir. Bir kontrol diyagramının güç fonksiyonu Tablo 4-1’de gösterilmiştir. Burada kullanılan kural bir örnek noktasının 3σ limitleri dışına çıktığı durumda prosesin kontrol dışı kabul edilmesidir.

Tablo 4-1 Bir Kontrol Diyagramının Güç Fonksiyonu Tablosu

δ	L=1	L=2	L=3	L=4	L=5	L=6	L=7	L=8	L=9	L=10
0.00	0.003	0.005	0.008	0.011	0.013	0.016	0.019	0.021	0.024	0.027
0.50	0.008	0.016	0.024	0.032	0.040	0.047	0.055	0.063	0.070	0.078
1.00	0.024	0.048	0.071	0.094	0.116	0.137	0.158	0.179	0.199	0.218
1.50	0.670	0.129	0.187	0.241	0.191	0.339	0.383	0.424	0.462	0.498
2.00	0.161	0.296	0.410	0.505	0.584	0.651	0.708	0.755	0.794	0.827
2.50	0.309	0.522	0.669	0.771	0.842	0.891	0.924	0.948	0.964	0.975
3.00	0.500	0.750	0.875	0.938	0.969	0.985	0.992	0.996	0.998	0.999
3.50	0.694	0.906	0.971	0.991	0.997	0.999	1.000			
4.00	0.847	0.976	0.996	0.999	1.000					
4.50	0.940	0.996	1.000							
5.00	0.975	0.999	1.000							
5.50	0.994	1.000								
6.00	0.999									

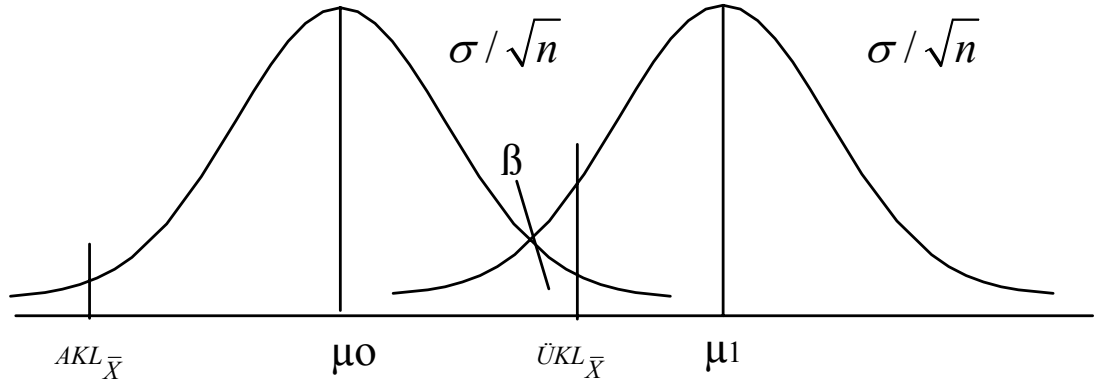
Tabloda farklı sapmaların farklı altgrup sayılarında tayin edilebilme olasılıkları görülmektedir. Tablodan yola çıkarak altgrupların güç üzerindeki etkisi grafiksel olarak Şekil 4-1’de gösterilmektedir



Şekil 4-1 Altgrupların Kontrol Diyagramlarının Gücü Üzerine Etkisi

Performans ölçümüyle yakından ilgili başka bir kavram ise çalışma karakteristiği (OC) fonksiyonudur. Bir kalite karakteristiğinde meydana gelen sapmanın tayininde kontrol diyagramlarının yeteneğini belirleyen çalışma karakteristiğidir.

İlk olarak $\bar{X}$ diyagramları için geliştirilmiştir. Prosesin kontrol içi durumda ortalamasının μ_0 olduğunu ve proseste bir sapma meydana geldiğinde ise ortalamasının $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ değerine değiştiğini kabul edersek; bu değişimin tayin edilememe olasılığı β ile gösterilir. Şekil 4-2 proseste meydana gelen bir pozitif sapmayı göstermektedir.



Şekil 4-2 $\bar{X}$ Diyagramı İçin Çalışma Karakteristiği Eğrisinin Temeli

β ile gösterilmiş kısım , proseste sapma meydana geldikten sonra gözlenen örneğin ortalamasının kontrol limitleri olarak verilen ÜKL ve AKL arasına düşme olasılığını ifade eder ve aşağıdaki şekilde gösterilir,

$$\beta = P[AKL_{\bar{X}} \leq \bar{X} \leq ÜKL_{\bar{X}} | \mu = \mu_1] \quad 4-2$$

β olasılığının hesaplanması ise 4-3 'deki şekilde olur.

$$\beta = \Phi\left[\frac{ÜKL_{\bar{X}} - \mu_1}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \Phi\left[\frac{AKL_{\bar{X}} - \mu_1}{\sigma/\sqrt{n}}\right] \quad 4-3$$

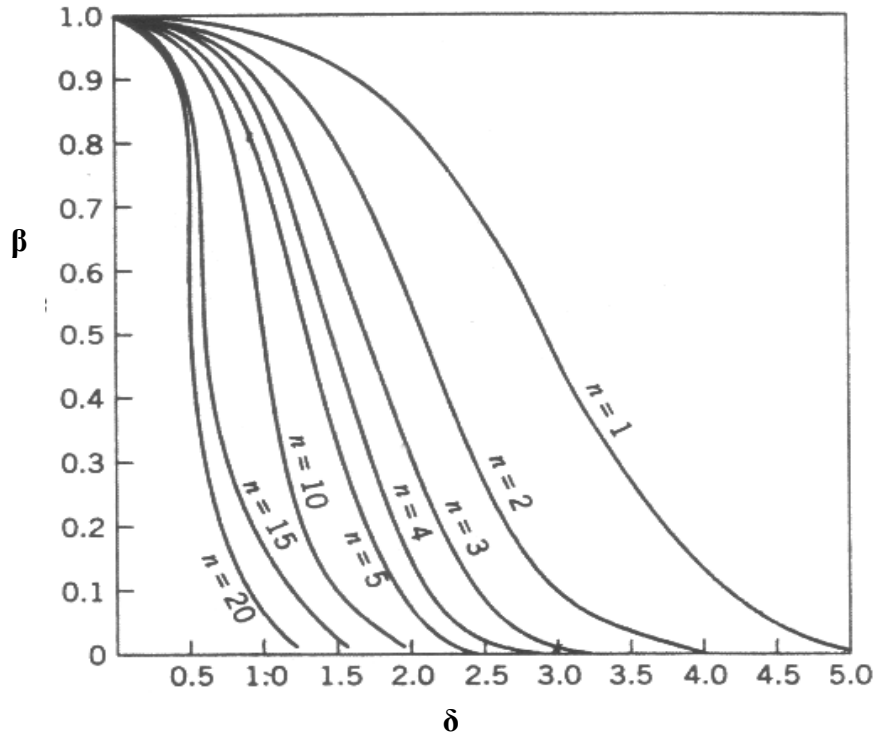
Üst kontrol limiti, $ÜKL = \mu_0 + 3\sigma/\sqrt{n}$ ve alt kontrol limiti, $AKL = \mu_0 - 3\sigma/\sqrt{n}$ olup $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ şeklinde ifade edildiğine göre, buradan ,

$$\beta = \Phi\left[\frac{(\mu_0 + 3\sigma/\sqrt{n}) - (\mu_0 + \delta\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \Phi\left[\frac{(\mu_0 - 3\sigma/\sqrt{n}) - (\mu_0 + \delta\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] \quad 4-4$$

şeklinde yazılır ve daha sonra bu ifade 4-5'deki gibi basitleştirilir (Banks, 1989: 203- 204).

$$\beta = \Phi(3 - \delta\sqrt{n}) - \Phi(-3 - \delta\sqrt{n}) \quad 4-5$$

Şekil 4-3'deki grafik 3σ kontrol limitli $\bar{X}$ diyagramlarının farklı örnek büyüklüklerinde çalışma karakteristiği eğrisini göstermektedir. Örneğin, örnek büyüklüğü 3 olan bir proseste 2.0 büyüklüğündeki bir sapmanın tayin edilememe olasılığı yaklaşık olarak 0.35 değerine karşılık gelir.



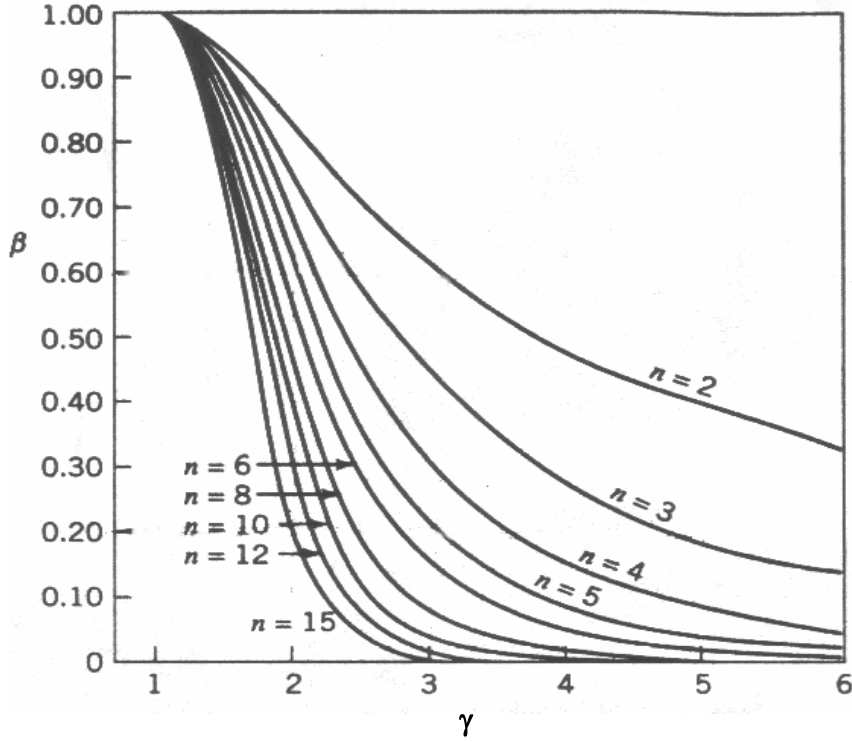
Şekil 4-3 3σ Kontrol Limitli $\bar{X}$ Diyagramı İçin OC Eğrisi

OC eğrisini R diyagramı için oluşturmak istediğimizde, bağıl aralık $W = R/\sigma$ dağılımı kullanılır. Bunun için

$$\beta = P\left[R \leq UCL_R \mid \sigma_0 = \sigma_1\right] = P\left[W \leq \frac{UCL_R}{\sigma}\right] \quad 4-6$$

ifadesinden β değerini belirlemek gerekir. σ_0 standart sapmanın kontrol içi değeri, σ_1 ise proseste meydana gelen sapma sonrasındaki standart sapma değeridir. (Banks, 1989: 207- 208). OC eğrisi farklı örnek büyüklüklerinde $\gamma = \sigma_1/\sigma_0$ değerine karşılık gelen β olasılıkları bulunarak çizilir. Şekil 4-4'de 3σ kontrol limitli bir R

diyagramının OC eğrisi gösterilmiştir. Şekle göre γ değeri 2 iken β olasılığı 0.60 değerine, 3 iken 0.23 değerine karşılık gelmektedir (Montgomery, 2001: 235-236).



Şekil 4-4 3 σ Kontrol Limitli R Diyagramı İçin OC Eğrisi

4.1.1. ARL (AVERAGE RUN LENGTH) YARDIMI İLE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Kontrol diyagramlarının performans ölçümünde yaygın olarak kullanılan performans göstergesi ARL'dir (Lin ve Chou, 2005 :165). ARL (ortalama koşum uzunluğu), prosesi kontrol etmek için kullanılan kontrol diyagramı, prosesin kontrol dışında olduğuna dair bir sinyal verene kadar procesten alınan ortalama örnek sayısını gösterir (Tagaras, 1998 :214).

ARL dışında performans ölçümünde kullanılan diğer göstergeler ise şöyledir (Lin ve Chou , 2005 :165):

1. ANSS (Average number of samples to signal): Prosesin başlangıcından veya giderilebilir nedenin meydana gelişinden, kontrol diyagramı kontrol dışı

sinyal verene kadar gözlenen örnek sayısının beklenen değeridir. ARL ile tanımsal olarak aynıdır, fakat ANSS örnekleme aralıkları değişken olduğu zaman kullanılır.

2. ANOS (Average number of observations to signal): Prosesin başlangıcından veya giderilebilir nedenin meydana gelişinden, kontrol diyagramı kontrol dışı sinyal verene kadar gözlenen birim sayısının beklenen değeridir.
3. ATS (Average time to signal): Prosesin başlangıcından, kontrol diyagramı kontrol dışı sinyal verene kadar geçen sürenin beklenen değeridir.
4. AATS (Adjusted average time to signal): Proseste bir giderilebilir nedenin meydana gelişinden, kontrol diyagramı bir sinyal verene kadar geçen sürenin beklenen değeridir.

ARL kavramı, ilk olarak Weindling tarafından ortalama aksiyon zamanı (mean action time) olarak tanımlanmıştır ve bu kavram daha sonra Page tarafından, ARL (average run length) olarak adlandırılmıştır. Wendling ve arkadaşları ortalama aksiyon limitlerinin ve uyarı limitlerinin ortalama aksiyon zamanı üzerine etkisini incelemişlerdir. Aksiyon limitlerinin yeri, ortalama aksiyon zamanı fonksiyonundaki limitleri belirler. Aksiyon limitlerinin küçük olması, bir örnek noktası bu limitler dışına çıktığı zaman, diyagramın sinyal verme olasılığını artıracak ve ortalama aksiyon zamanı küçülecektir. Aksiyon limitlerinin artması ise ortalama aksiyon zamanını artıracaktır. (Weindling ve diğ., 1970 :80-81).

Uyarı limitinin $w=0$ olması, ortalama aksiyon zamanının minimum değerde olmasına; $w=3$, yani aksiyon limitlerine eşit değerde olması ise ortalama aksiyon zamanının maksimum değerde olmasına yol açacaktır (Weindling ve diğ., 1970: 80-81).

İstatistiksel proses kontrolünün iki amacı vardır. Bunlardan biri, yanlış alarm olasılığını azaltmaktır. Bu olasılık, daha önce 2. bölümde anlatıldığı gibi α ile gösterilen Tip I hata olasılığı olarak isimlendirilir; diğeri ise doğru alarmin tayin edilememe olasılığını azaltmaktır, bu olasılık da tip II hata olasılığı adını alır ve β ile

gösterilir (Spanos ve Chen, 1998: 11). Shewhart kontrol diyagramlarının ARL değerlerinin hesaplanmasında bu olasılıklar kullanılır.

Shewhart kontrol diyagramları için, ARL aşağıdaki şekilde hesaplanır (Montgomery, 2001: 236):

$$ARL = \frac{1}{P(\text{bir noktanın kontrol dışı kalması})} \quad 4-7$$

ARL için iki durum söz konusudur. Birincisi, proses ortalamasının hedef değerde olduğu durumdur ve kontrol içi ARL (in-control ARL) olarak ifade edilir, ARL_0 sembolüyle gösterilir. İkinci durum ise proses ortalamasının sapma gösterdiği durumdur ve kontrol dışı ARL (out-of-control ARL) olarak ifade edilir, ARL_1 sembolüyle gösterilir. Eğer proses ortalaması hedef değerde ise, diyagramın verdiği alarm yanlıştır ve bu durumda beklenen ARL değeri büyük olmalıdır; proses ortalaması sapma gösterdiğinde kontrol diyagramının verdiği alarm doğrudur ve beklenen ARL değeri küçük olmalıdır (Cox, 2001: 357).

ARL_0 ve ARL_1 değerlerinin formülleri aşağıdaki şekildedir (Montgomery, 2001:256-257) .

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad 4-8$$

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} \quad 4-9$$

Shewhart $\bar{X}$ kontrol diyagramında bir noktanın kontrol limitleri (3σ) dışına çıkma olasılığı (α) matematiksel olarak 4.10'daki gibidir.

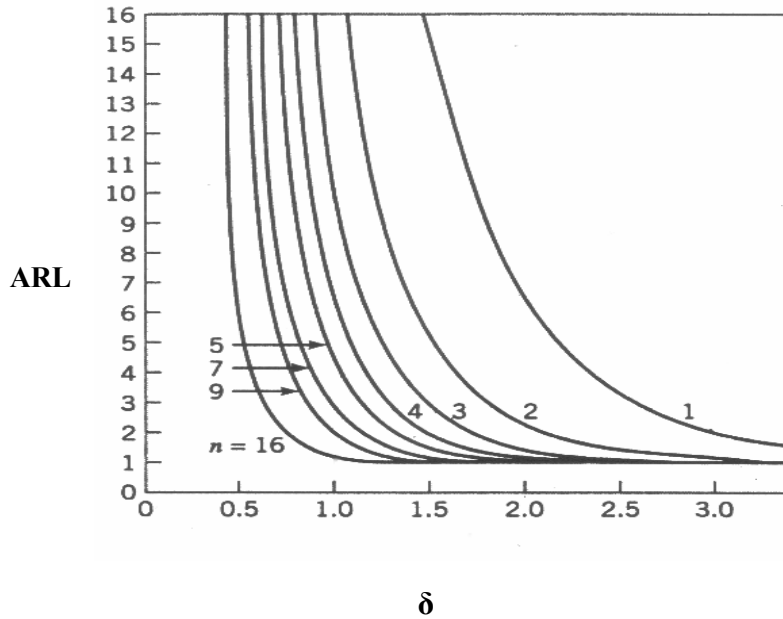
$$\alpha = P(\bar{X} > \text{ÜKL}) + P(\bar{X} < \text{AKL}) \quad 4-10$$

Kontrol limitinin 3 olduğunu kabul edersek, standart normal dağılım tablosuna göre, $P(\bar{X} > 3) = 0,00135$ ve $P(\bar{X} < -3) = 0,00135$ olarak bulunur. Buradan $\alpha = 0,0027$ 'dir. Kontrol içi ARL, $ARL_0 = 1/0.0027 = 370$ olarak hesaplanır (Khoo, 2004: 586).

$ARL_0=370$ ifadesi, proses kontrol altında olsa bile, kontrol diyagramının ortalama her 370 örnekte bir kontrol dışı sinyal ürettiğini anlatır (Montgomery, 2001: 168).

Shewhart $\bar{X}$ kontrol diyagramının, proses ortalaması μ_1 değerine değiştiği halde, bu değişikliği kontrol dışı sinyal olarak göstermeme olasılığının (β) matematiksel olarak gösterimi denklem 4-5’de de açıklanmıştır.

Şekil 4-5 bir $\bar{X}$ diyagramının farklı örnek büyüklüklerinde ve farklı sapma değerlerinde aldığı ARL değerlerini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, örnek büyüklüğünün artması sapmanın tayinini hızlandırmaktadır yani daha küçük ARL_1 değerleri elde edilecektir.



Şekil 4-5 Farklı Örnek Büyüklükleri ve Sapma Değerleri İçin ARL Grafiği

R diyagramı için Tip 1 hata olasılığı ise,

$$\Pr (R \geq k_R (n)\sigma_0 , \sigma = \sigma_0) = \Pr (W \geq k_R) = Fw (k_R) \quad 4-11$$

formülünden hesaplanır. Buradan ARL_0 kolay bir şekilde $1/\alpha$ ’dan bulunabilir. Standart sapma değeri σ_0 ’den σ_1 değerine değiştiğinde R diyagramı için $1-\beta$ olasılığı,

$$\Pr (R \geq k_R (n)\sigma_0 , \sigma = \sigma_1) = \Pr (W \geq k_R (n)\sigma_0/\sigma_1) = Fw (k_R (n)\sigma_0/\sigma_1) \quad 4-12$$

formülünden hesaplanır (Saniga, 1977: 423).

ARL_1 'in formülü ise şu şekilde elde edilir:

$$ARL_1 = \sum_{L=1}^{\infty} L P_L \quad 4-13$$

Buradaki L , proseste meydana gelen bir sapmanın tayinine kadar alınan altgrup sayısıdır ve P_L , sapmanın tayininin L . örnekte meydana gelme olasılığıdır. $L=1$ için $P_1=1-\beta$, $L=2$ için $P_2= \beta (1-\beta)$, $L=3$ için $P_3= \beta^2 (1-\beta)$ 'dir ve bu şekilde devam eder. Buradan,

$$ARL_1 = \sum_{L=1}^{\infty} L \beta^{L-1} (1-\beta) = (1-\beta) \sum_{L=1}^{\infty} L \beta^{L-1} = \frac{1}{1-\beta} \quad 4-14$$

sonucu çıkar (Banks, 1989: 205).

Wheeler, bunu bir örnekle açık bir şekilde göstermiştir. Örnekteki altgrup büyüklüğü $n=4$ ve tayin edilmesi istenen değişim büyüklüğü 1.5 SD (standart sapma) olarak alınmış ve sadece 3σ limitlerinin dışına çıkan bir nokta kontrol dışı olarak değerlendirilmiştir. Bu bilgilere göre güç fonksiyonu tablosu Tablo 4-2 ve 4-3'de gösterilmiştir (Wheeler, 1995: 221).

Tablo 4-2 Wheeler'in Örneğine Ait Güç Fonksiyonu Tablosu

L=1	L=2	L=3	L=4	L=5	L=6	L=7	L=8	L=9	L=10
0,500	0,750	0,875	0,938	0,969	0,985	0,992	0,996	0,998	0,999

Güç fonksiyonu bir sapmanın tayin olasılığını kümülatif olarak gösterdiği için, her P_L değerini hesaplamak için bir sonraki değerden bir önceki değer çıkarılır.

Tablo 4-3 Wheeler'in Örneğine Ait P_L Değerleri

L=1	L=2	L=3	L=4	L=5	L=6	L=7	L=8	L=9	L=10	L=11
0,500	0,250	0,125	0,063	0,031	0,016	0,007	0,004	0,002	0.001	0.001

Bu olasılık dağılımının ortalamasını bulmak için, L değerleri olasılıklarıyla çarpılır ve bulunan tüm sonuçlar toplanır. Toplama sonucu bulunan değer ARL_1 değeridir.

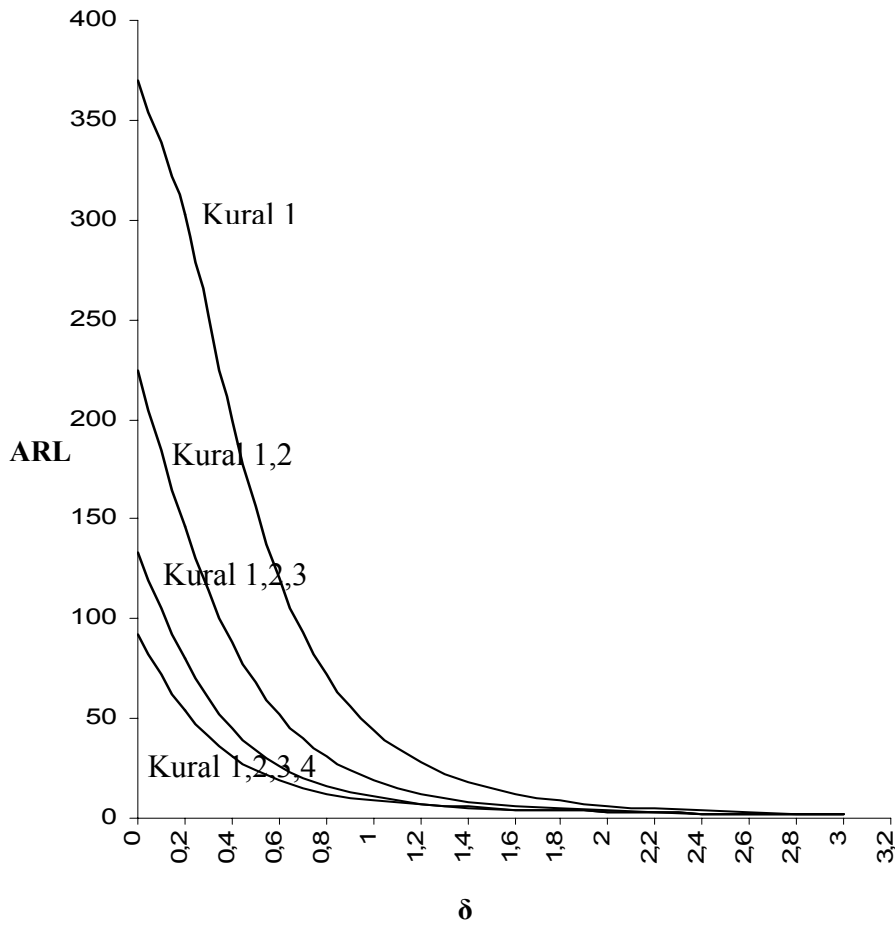
$$ARL_1 = 1(0.500) + 2(0.250) + 3(0.125) + 4(0.063) + 5(0.031) + 6(0.016) + 7(0.007) + 8(0.004) + 9(0.002) + 10(0.001) + 11(0.001) = 1.998$$

ARL, üretim prosesinde belirlenmesi istenen ve proses için kritik olan sapma değerinin tayin edilmeden önce, kullanılan kontrol dışı prosedürü çerçevesinde kaç adet örnek noktasının değerlendirilmesi gerektiği konusunda bilgi verir. Kontrol dışı prosedürü, prosesin kontrol dışında olduğuna işaret eden kural veya kurallardan oluşur. Klasik kural olan 3-sigma kuralına, kural eklenmesi ARL değerini düşürür. Sonuç olarak klasik 3-sigma kuralına daha fazla kural eklenmesi prosesteki sapmaların tayin edilmesinde kullanılan yöntemin duyarlılığını artırır (Dechert, Jaeger, Bennet ve diğ., 1996:10-11).

Western Elektrik zon testlerinde kullanılmak üzere sapmaların tayininde duyarlılığı artıracak kurallar prosedürü geliştirmiştir. Bu kurallar tayin kuralları olarak adlandırılır ve prosesin kontrol dışında olduğuna işaret eder. Tayin kuralı 1: Bir noktanın 3-sigma dışına çıkması, Tayin kuralı 2: Üç ardışık noktadan ikisinin merkez çizgiden 2σ uzaklıktaki bölgenin dışında olması, Tayin kuralı 3: Beş ardışık noktadan dördünün merkez çizgiden 1σ uzaklıktaki bölgenin dışında olması, Tayin kuralı 4: Sekiz ardışık noktanın merkez çizginin bir tarafında konumlanması. Tablo 4-4 bu kuralların farklı kullanılmasıyla elde edilen farklı ARL değerlerini ve duyarlılık artışını göstermektedir. Buna paralel olarak Şekil 4-6'da tayin kurallarının ARL üzerine etkisi grafikte gösterilmiştir (Wheeler, 1995: 222-223).

Tablo 4-4 Tayin Kurallarının Farklı Şekillerde Kullanılmasıyla Elde Edilen ARL Değerleri (n=4)

Sapma Değeri (δ)	Kural 1	Kural 1,2	Kural 1,4	Kural 1,2,3	Kural 1,2,3,4
0.00	370	225	153	133	92
0.2	303	146	90	80	54
0.4	200	88	51	45	31
0.6	120	52	30	26	19
0.8	72	31	20	16	12
1.0	44	19	14	11	8.8
1.2	28	12	11	7.5	6.6
1.4	18	8.5	8.4	5.6	5.3
1.6	12	6.1	6.9	4.5	4.3
1.8	8.7	4.6	5.7	3.7	3.6
2.0	6.3	3.7	4.8	3.1	3.1
2.2	4.7	3.0	4.0	2.7	2.7
2.4	3.6	2.5	3.3	2.3	2.3
2.6	2.9	2.1	2.8	2.1	2.1
2.8	2.4	1.9	2.3	1.9	1.9
3.0	2.0	1.7	2.0	1.7	1.7



Şekil 4-6 Tayin Kurallarının ARL Üzerine Etkisi

Sonuç olarak ARL, kalite kontrolde önemli bir kavramdır. ARL eğrileri, bir kalite kontrol metodunu kullanmadan önce kullanıcılar tarafından değerlendirilmesine izin verir. Ayrıca tayin edilmesi gereken değişimin büyüklüğüne karar vermede ve bu değişimin nasıl izlenmesi gerektiği konusunda kullanıcılara yardımcıdır (Dechert, Jaeger, Bennet ve diğ., 1996: 11).

4.1.1.1. STANDART SHEWHART $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARINDA ARL ÖLÇÜMÜ

$\bar{X}$ ve R diyagramlarının birlikte kullanılması, prosesin hem ortalamasının hem de varyansının kontrol edilmesini sağlar. $\bar{X}$ -R diyagramları birlikte kullanıldığında zaman Tip 1 hata,

$$\alpha = 2\Phi(-k) + F_w(k_R) - 2\Phi(-k)F_w(k_R) \quad 4-15$$

denkleminde hesaplanır (Costa,1993: 29). $\bar{X}$ - R diyagramları birlikte kullanıldığı zaman kontrol içi ARL (ARL_0) değeri (4.15)'deki formülden α bulunduktan sonra $1/\alpha$ denkleminde elde edilir (Costa, 1993: 29). $\bar{X}$ ve R diyagramları birlikte kullanıldığı zaman kontrol dışı ARL (ARL_1) değerini hesaplamak için ise, öncelikle $\bar{X}$ - R diyagramlarının gücü ($1-\beta$) hesaplanır.

Sadece proses ortalamasında bir sapma meydana geldiği zaman $\bar{X}$ -R diyagramlarının gücü aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$p_1 = \Phi(-k - \delta\sqrt{n}) + \Phi(-k + \delta\sqrt{n}) + F_w(k_R) - F_w(k_R) \left[\Phi(-k - \delta\sqrt{n}) + \Phi(-k + \delta\sqrt{n}) \right] \quad 4-16$$

Diğer bir ifade ile p_1 olasılığı, ortalamada meydana gelen sapmanın tayin edilme olasılığını gösterir ve $1/p_1$ 'den ARL değerine ulaşılır.

Sadece proses varyansında bir sapma meydana geldiği zaman $\bar{X}$ - R diyagramlarının gücü aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$p_2 = 2\Phi(-k/\gamma) + F_w(k_R/\gamma) - 2\Phi(-k/\gamma)F_w(k_R/\gamma) \quad 4-17$$

Diğer bir ifade ile p_2 , varyansta meydana gelen bir sapmanın tayin edilme olasılığıdır ve $1/p_2$ 'den ARL değerine ulaşılır.

Prosesin hem ortalamasında hem de varyansında sapma olduğu zaman $\bar{X}$ -R diyagramının gücü aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$p_3 = \Phi(-k/\gamma - \delta\sqrt{n}/\gamma) + \Phi(-k/\gamma + \delta\sqrt{n}/\gamma) + F_w(k_R/\gamma) - F_w(k_R/\gamma) \left[\Phi(-k/\gamma - \delta\sqrt{n}/\gamma) + \Phi(-k/\gamma + \delta\sqrt{n}/\gamma) \right] \quad 4-18$$

Diğer bir ifade ile p_3 , hem ortalamada hem de varyansta meydana gelen sapmanın tayin edilme olasılığıdır ve $1/p_3$ 'den ARL değerine ulaşılır. (Rahim, Costa, 2000: 2875-2876).

4.1.1.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R DİYAGRAMLARINDA ARL ÖLÇÜMÜ

İki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ - R diyagramlarında kontrol içi ARL (ARL_0) standart Shewhart kontrol diyagramlarındaki gibi hesaplanır. İki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ - R diyagramlarında kontrol dışı ARL (ARL_1) ise tüm örneğin gözlemlenip gözlenmemesinden bağımsız olarak ,

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - P'} \quad 4-19$$

şeklinde hesaplanır. P' , prosesin kontrol altında olma olasılığını gösterir. Örneklemeye iki aşamadan oluştuğu için her aşamada prosesin kontrol altında olma olasılığı P' ile gösterilmiştir $i= 1,2$ şeklindedir ve örneklemeye prosedürünün i safhasında prosesin kontrol altında olma olasılığını ifade eder. Buradan, $P' = P'_1 + P'_2$ şeklinde hesaplanır (Costa ve Rahim, 2004: 3).

P'_1 , prosesin ilk aşamada X_1 'in $I_1 = (\mu_0 - w\sigma_0 , \mu_0 + w\sigma_0)$ aralığına girme olasılığıdır ve bu ifade 4.20'deki gibi gösterilir.

$$P'_1 = \Pr[X_1 \in I_1] \quad 4-20$$

P'_1 olasılığı da 4.21'deki gibi hesaplanır.

$$P'_1 = \Phi(w) - \Phi(-w) \quad 4-21$$

P'_2 ise, ikinci aşamada örneklemeye ortalamasının $I_2 = (\mu_0 - k\sigma_0\sqrt{n_0}, \mu_0 + k\sigma_0\sqrt{n_0})$ aralığına ve standart sapmasının $I_R = (0, k_R(n)\sigma_0)$ aralığına girme olasılığıdır ve bu ifade aşağıdaki gibi gösterilir.

$$P_2' = \Pr[\bar{X} \in I_2 \text{ ve } R \in I_R | X_1 \notin I_1] \quad 4-22$$

P_2' 'nin başka bir şekilde ifadesi 4.23'deki gibi gösterilir.

$$P_2' = \int_{x \notin I_1} \Pr[\bar{X} \in I_2 \text{ ve } R \in I_R | X_1 = x] \phi(x) dx \quad 4-23$$

$\phi(\cdot)$, X_1 'in olasılık yoğunluk fonksiyonudur. X_1 , her örneğin kontrol edilen ilk birimidir.

$$\begin{aligned} \Pr &= [\bar{X} \in I_2; R < k_R(n)\sigma_0 | X_1] \\ &= \Pr[\bar{X}' \in I'] \cdot \Pr[R' < k_R(n)\sigma_0; X_{\min} \leq X_1 \leq X_{\min} + k_R(n)\sigma_0] \end{aligned} \quad 4-24$$

şeklinde hesaplanır. Burada örnek $(X_1, X_2, \dots, X_{n_0})$ ortalaması $\bar{X}$ ve değişim aralığı R olarak ifade edilir. $\bar{X}'$ ve R' ise alt-örneğin $(X_2, X_3, \dots, X_{n_0})$ sırasıyla ortalamasını ve değişim aralığını göstermektedir. $\bar{X} = [(n_0-1)\bar{X}' + X_1] / n_0$ vasıtasıyla örnek ortalaması hesaplanır.

4.25'deki I' aralığı aşağıdaki gibi ifade edilir. Bu aralık I_2 aralığında $\bar{X}$ 'nın $(\mu_0 \pm k_0 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_0}})$ yerine $\bar{X}'$ $(\frac{\bar{X}.n_0}{n_0-1} - \frac{X_1}{n_0-1})$ yazılarak elde edilir.

$$I' = \left[(\mu_0 \pm k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_0}}) (\frac{n_0}{n_0-1}) - \frac{X_1}{n_0-1} \right] \quad 4-25$$

ve $X_{\min} = \min(X_1, X_2, \dots, X_{n_0})$. $\bar{X}' \sim N(\mu_0 + \delta\sigma_0; \gamma\sigma_0 / \sqrt{n_0-1})$ şeklinde dağılım gösterdiği için bunu normal dağılıma çevirmek için $Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma}$ formülünden yararlanarak, $\Pr[\bar{X}' \in I']$ olasılığı elde edilir.

$$\Pr[\bar{X}' \in I'] = \Phi \left[\frac{k}{\gamma} \sqrt{\frac{n_0}{n_0-1}} - \left(\frac{X_1 - \mu_0}{\gamma \sigma_0} \right) \frac{1}{\sqrt{n_0-1}} - \frac{\delta}{\gamma} \sqrt{n_0-1} \right] - \Phi \left[-\frac{k}{\gamma} \sqrt{\frac{n_0}{n_0-1}} - \left(\frac{X_1 - \mu_0}{\gamma \sigma_0} \right) \frac{1}{\sqrt{n_0-1}} - \frac{\delta}{\gamma} \sqrt{n_0-1} \right] \quad 4-26$$

4-24'deki $\Pr[R' < k_R(n)\sigma_0; X_{\min} \leq X_1 \leq X_{\min} + k_R(n)\sigma_0]$ olasılığının hesaplanmasında iki durum söz konusudur.

Durum 1 : $X_{\min} \leq X_1 \leq X_{\min} + k_R(n)\sigma_0$ ise,

$$\Pr[R' < k_R(n)\sigma_0; X_{\min} \leq X_1 \leq X_{\min} + k_R(n)\sigma_0] = (n_0 - 1) \int_{X_1 - k_R(n)\sigma_0}^{X_1} \left[\Phi\left(\frac{y + k_R(n)\sigma_0 - \mu_0 - \delta\sigma_0}{\gamma\sigma_0}\right) - \Phi\left(\frac{y - \mu_0 - \delta\sigma_0}{\gamma\sigma_0}\right) \right] \phi(y) dy \quad 4-27$$

$\phi(\cdot)$, X_i 'nin yoğunluk fonksiyonudur. $X_i \sim N(\mu_0 + \delta\sigma_0; \gamma\sigma_0)$.

Durum 2 $X_1 = X_{\min}$

$$\Pr[R' < k_R(n)\sigma_0; X_1 = X_{\min}] = \left[\Phi\left(\frac{X_1 + k_R(n)\sigma_0 - \mu_0 - \delta\sigma_0}{\gamma\sigma_0}\right) - \Phi\left(\frac{X_1 - \mu_0 - \delta\sigma_0}{\gamma\sigma_0}\right) \right]^{n_0-1} \quad 4-28$$

4.24'den 4.28'e kadar olan tüm ifadeler kullanılarak P_2' olasılığı hesaplanabilir.

4.2. KONTROL DİYAGRAMLARININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Kontrol diyagramlarının proses değişimlerini tayin etme yeteneği başka bir ifadeyle performansı, kontrol diyagramının sinyal üretmeye başladığı ana kadar süren zamanın yada örneklerin beklenen değeri tarafından belirlenir (Stoumbos ve Reynolds, 1997: 25). Kontrol diyagramlarında performans ölçümünün amacı, kullanılan proses kontrol prosedürlerinin proseste meydana gelen sapmaları tayin

etme hızını saptamaktır Bir kontrol diyagramı için istenen durum, prosesteki değişimleri hızlı bir şekilde tayin etmesidir.

Kullanılan kontrol prosedürlerinin yada kontrol diyagramlarının karşılaştırılması performans ölçüm göstergelerinin (ARL vb.) aldıkları değerlerin karşılaştırılmasıdır. Güç fonksiyonu ve ARL eğrileri, kullanılan istatistiksel kontrol prosedürlerinin proses yerleşimine veya parametrelerin dağılımına verdikleri teorik cevabı karakterize eder. Bu nedenle bu eğrilerin kullanımı, farklı kontrol tekniklerinin karşılaştırılması açısından önemlidir. (Wheeler, 1995: 225).

Kontrol diyagramları eşit koşullar altında karşılaştırılmalıdır. Bu koşullardan biri, karşılaştırılan prosedürlerin örnek büyüklüklerinin eşit olmasıdır. Değişken örnek büyüklüğüne sahip prosedürlerde ise kontrol içi periyodun örnek büyüklüğü kullanılır. Diğerisi ise karşılaştırılan prosedürlerin kontrol içi ARL değerlerinin eşit olması yani eşit sayıda yanlış alarm üretmeleridir (Costa,1994: 158).

Yapılan çalışmalarda karşılaştırmalar daha çok standart Shewhart kontrol diyagramları ile Shewhart diyagramlarının modifikasyonu ile elde edilmiş prosedürler üzerinedir. Bu çalışmalara örnek olarak Daudin'in standart Shewhart $\bar{X}$ diyagramı ile çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramı arasında yaptığı karşılaştırma verilebilir. Tablo 4-5 bu karşılaştırmaların sonuçlarını göstermektedir. Tabloda farklı boyutlardaki değişimlere (standart sapma cinsinden) karşı diyagramların kontrol içi ve kontrol dışı ARL değerleri verilmiştir. Standart Shewhart $\bar{X}$ diyagramı için kontrol limiti katsayısı $k=3$, örnek büyüklüğü $n=5$ olarak alınmıştır. Çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramı için kontrol limiti katsayısı Tabloya göre çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramı standart göre $k=3,5$, uyarı limiti katsayısı $w=1$, ikinci örnek için prosesin kontrol içinde olduğunu gösteren limit $k_1=3$, birinci örnek büyüklüğü $n_1=3$ ve ikinci örnek büyüklüğü $n_2=6$ olarak alınmıştır. Burada ortalama örnek büyüklüğü ise 5'dir (Daudin,1992: 80-81).

Tablo 4-5 Çift Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı ile Standart Shewhart $\bar{X}$ Diyagramının Karşılaştırılması (n=3)

Ortalamadaki değişimin büyüklüğü (δ)	Standart Shewhart $\bar{X}$ diyagramı için ARL değerleri	Çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramı için ARL değerleri
0	370	370
0.5	155.2	107
1.0	43.9	22
1.5	15	6.8
2.0	6.3	2.9
2.5	3.2	1.7
3.0	2.0	1.25
3.5	1.45	1.08
4.0	1.19	1.02

Tablodan anlaşılacağı gibi, çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramının kontrol dışı ARL değerleri standart Shewhart $\bar{X}$ diyagramının kontrol dışı ARL değerlerine göre daha düşüktür. Bu sonuç çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramının, proses ortalamasında meydana gelen değişimleri standart Shewhart $\bar{X}$ diyagramın göre daha hızlı bulduğunu göstermektedir. Örneğin, ortalamadaki 0.5 standart sapmalık bir değişim standart Shewhart $\bar{X}$ diyagramı tarafından 155.2 örnekte tayin edilebilirken, çift örneklemeli $\bar{X}$ diyagramı tarafından 107 örnekte tayin edilmektedir.

Costa ve Rahim tarafından yapılan bir çalışma ise standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramları ile iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarının karşılaştırılmasıdır. Tablo 4-6 ve 4-7’de standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramları ile iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarının ortalamadaki ve standart sapmadaki farklı boyuttaki değişimlere göre diyagramların verdikleri kontrol içi ve kontrol dışı ARL değerleri görülmektedir. Burada parametreler kontrol içi ARL değerinin ve örnek büyüklüğünün aynı olması koşulu göz önünde bulundurularak belirlenir. Tablo 4-6 n=3 için ARL değerlerini gösterir. Standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramlarının

parametreleri, $k=3.25$ ve $k_{R(n)}=5.009$ şeklindedir. İki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarının parametreleri, $n_0=9$, $k=3.1$, $k_{R(n)}=5.490$ ve $w=1.150$ olarak verilmiştir

Tablo 4-7 ise $n= 5$ için ARL değerlerini gösterir. Diğer parametreler ise, standart Shewhart diyagramı için $k=3.25$ ve $k_{R(n)}= 5.432$ ve iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramları için $n_0=9$, $k=3.1$, $k_{R(n)}=5.490$ ve $w=1.150$ olarak verilmiştir (Costa ve Rahim, 2004: 703-704).

Tablo 4-6 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ -R Diyagramı ile Standart Shewhart $\bar{X}$ -R Diyagramının Karşılaştırılması ($n=3$)

Ortalamadaki değişimin büyüklüğü (δ)	Kontrol diyagramı	Standart sapmadaki değişimin büyüklüğü (γ)			
		1.00	1.20	1.50	2.00
0.00	STD	433	64.23	13.05	3.78
	İAÖ	433	49.36	8.47	2.61
0.50	STD	102.8	30.83	9.61	3.43
	İAÖ	33.70	15.70	5.88	2.41
0.75	STD	37.51	16.54	7.09	3.09
	İAÖ	9.36	6.86	4.12	2.21
1.00	STD	6.39	4.79	5.09	2.71
	İAÖ	2.44	2.49	2.91	1.99
1.25	STD	7.14	5.26	3.68	2.36
	İAÖ	2.23	2.29	2.18	1.80
1.50	STD	3.88	3.34	2.75	2.06
	İAÖ	1.64	1.73	1.77	1.64

Tablo 4-7 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ -R Diyagramı ile Standart Shewhart $\bar{X}$ -R Diyagramının Karşılaştırılması (n=5)

Ortalamadaki değişimin büyüklüğü (δ)	Kontrol diyagramı	Standart sapmadaki değişimin büyüklüğü (γ)			
		1.00	1.20	1.50	2.00
0.00	STD	433	53.64	9.46	2.64
	İAÖ	433	39.37	6.09	2.06
0.50	STD	56.59	20.21	6.62	2.41
	İAÖ	17.25	9.81	4.14	1.93
0.75	STD	16.94	9.44	4.67	2.17
	İAÖ	4.85	4.16	2.92	1.81
1.00	STD	15.25	9.02	3.25	1.92
	İAÖ	3.86	3.57	2.16	1.68
1.25	STD	3.07	2.78	2.33	1.69
	İAÖ	1.76	1.80	1.76	1.57
1.50	STD	1.84	1.85	1.77	1.50
	İAÖ	1.49	1.53	1.55	1.48

Tablolardan iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarının proseste meydana gelen değişimleri standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramlarına göre daha hızlı tespit ettiği görülmektedir. Örneğin n=3 iken, iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramı ortalamadaki 0.5'lik ve varyanstaki 1.50'lik değişimi 5.88 örnekte tayin ederken, standart Shewhart $\bar{X}$ -R diyagramı aynı değişimi 9.61 örnekte tayin eder.

Eğer kullanıcı prosese ait bozukluklar hakkında fikre sahipse Tablo 4-8 ve Tablo 4-9 dizayn parametrelerinin ($n_0, k, k_R(n)$, ve w) seçimi için kullanılabilir. Bu tablolarda ARL değerlerini minimum yapan dizayn parametreleri bulunmaktadır. Bu değerler koyu yazılmış olan ARL değerleridir. Örneğin ortalamadaki 0.5 standart sapmalık bir değişim $k=2.592$, $k_R(n)=7.313$, $n_0=15$ ve $n=3$ dizayn parametreleri kullanılarak minimum 14.8 altgrup gözlenerek saptanabilir. Tabloların en alt satırındaki değerler standart Shewhart $\bar{X}$ ve R diyagramlarına ait olan değerlerdir. Diğerleri ise iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ ve R diyagramlarına ait değerlerdir. (Costa ve Rahim, 2004: 702).

Tablo4-8 Standart ve İki aşamalı $\bar{X}$ ve R Diyagramlarının Farklı Dizayn Parametreleri ve Farklı Değişimlere Göre Gösterdikleri ARL Değerleri (n=3)

no	w	k	k _R (no)	$\delta=0$			$\delta=0,5$			$\delta=1,0$		
				$\gamma=1,0$	$\gamma=1,2$	$\gamma=1,5$	$\gamma=1,0$	$\gamma=1,2$	$\gamma=1,5$	$\gamma=1,0$	$\gamma=1,2$	$\gamma=1,5$
15	1,465	3,6	5,49	433	26,20	6,77	54,30	14,00	5,35	4,28	3,69	2,95
15	1,465	2,592	7,313	433	75,80	21,00	14,80	9,70	6,84	3,24	2,95	2,74
15	1,465	2,663	6,076	433	41,60	9,54	15,80	9,36	5,39	3,27	2,97	2,67
15	1,465	2,949	5,638	433	28,80	7,21	21,80	10,10	4,99	3,44	3,10	2,70
12	1,335	2,69	8,828	433	81,30	29,70	17,10	10,90	8,05	3,09	2,95	2,82
13	1,383	2,662	6,726	433	65,40	16,00	16,20	10,30	6,64	3,12	2,93	2,72
13	1,383	2,769	5,888	433	38,00	9,00	18,30	10,00	5,43	3,20	2,97	2,66
7	0,968	2,896	7,181	433	74,90	23,80	27,50	14,80	9,45	3,73	3,52	3,29
8	1,068	2,893	5,989	433	50,50	12,60	25,70	13,10	7,00	3,51	3,32	2,97
3	-	3,25	5,009	433	45,40	13,10	10,30	23,80	9,61	15,30	8,08	5,09

Tablo 4-9 Standart ve İki aşamalı $\bar{X}$ ve R Diyagramlarının Farklı Dizayn Parametreleri ve Farklı Değişimlere Göre Gösterdikleri ARL Değerleri (n=5)

no	w	k	$k_R(\text{no})$	$\delta=0$			$\delta=0,5$			$\delta=1,0$		
				$\gamma=1,0$	$\gamma=1,25$	$\gamma=1,50$	$\gamma=1,0$	$\gamma=1,25$	$\gamma=1,50$	$\gamma=1,0$	$\gamma=1,25$	$\gamma=1,50$
20	1,252	3,8	5,726	433	21,2	5,27	39,4	11	4,21	2,99	2,78	2,37
20	1,252	2,664	7,625	433	73,9	19,4	9,26	6,79	5,19	2,48	2,32	2,2
20	1,252	2,72	6,354	433	37,8	7,89	9,75	6,62	4,17	2,49	2,33	2,16
20	1,252	2,999	5,88	433	23,9	5,66	13	7,2	3,84	2,54	2,39	2,18
14	1,02	2,789	7,763	433	75,5	2,27	12	8,25	6,16	2,23	2,24	2,22
16	1,111	2,859	6,086	433	32,9	7,25	12,2	7,45	4,25	2,32	2,27	2,12
11	0,842	2,879	7,362	433	71,8	20,5	15,1	9,57	6,67	2,3	2,35	2,32
5	-	3,25	5,432	433	36,7	9,5	56,6	16,2	6,62	6,39	4,48	3,25

BÖLÜM 5. UYGULAMA

5.1. İNCELENEN FİRMA VE PROSES İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Uygulamanın yapıldığı firma toz metalurjisi konusunda üretim yapan bir işletmedir. Üretim hattında faturalı burçlar, dişliler, kilit ve ispanyolet parçaları ve kendinden yağlamalı küresel burçlar olmak üzere dört çeşit ürün üretilmektedir.

Toz metalürjisi, metal tozlarının belirli oranda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda istenilen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması, ve sonrasında kontrollü atmosfer şartlarında fırınlanmasıyla parça üretme yöntemidir

Çeşitli dişli parçalar ve makine elemanları, yatak malzemeleri, seramik ve metalik filtreler, manyetik malzemeler, elektrik kontaktör malzemeleri toz metalurjisi tekniğinin uygulanmalarına örnek olarak gösterilebilir.

5.2. PROSESTEN ALINAN VERİLERİN KONTROL DİYAGRAMLARI İLE ANALİZİ

Konuyla ilgili uygulama çalışması için kendinden yağlamalı burçlara ait proses verileri incelenmiştir. Ölçülebilir özellikler için kontrol diyagramlarından $\bar{X}$ -R diyagramları yardımı ile proses verileri analiz edilecektir ve diyagram performansları gösterilecektir. Kendinden yağlamalı burçların üretildiği proseste üç farklı parametre ölçümü yapılmaktadır. Bunlar burçların iç çapı, kalınlığı ve ağırlığıdır. Kendinden yağlamalı burçlar Şekil 5-1’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 5-1 Kendinden Yağlamalı Burçlar

Burçların özellikleri ile ilgili iki farklı uygulama yapılmıştır. Birinci uygulamada, burçların et kalınlığı ve ikinci uygulamada burçların ağırlıkları ölçülmüştür. Burçlara ait ölçülebilen özellikler için ortalama ve standart sapma değerleri bilinmediğinden, elde edilen verilerden prosese ait tahmini ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Sonra standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile veriler analiz edilmiş ve kontrol limitleri dışına çıkan nokta tespit edilmiştir. Daha sonra iki aşamada örnekleme yöntemiyle prosesten alınan örnekler, iki aşamada örnekleme $\bar{X}$ -R diyagramı ile analiz edilmiş ve standart $\bar{X}$ -R diyagramı kullanılarak tespit edilen sapmalar ile aynı yada yakın boyutlardaki sapmaların kaçınıcı örnekte tespit edilebileceği bulunmuştur. Burada önemli olan kontrol limitleri dışına çıkan noktanın kaçınıcı örnekte tespit edildiğidir. Bu kullanılan diyagramın performansını gösterir. Bu sayede, iki farklı diyagram karşılaştırılmış olacaktır. Kontrol limitleri dışına çıkan noktanın önceden tespiti için kaç örnek almamız gerektiği ARL hesabı yapılarak bulunur. Uygulamalarda ARL_0 (yanlış alarmanın kaç örnekte bir meydana geleceği) ve ARL_1 (doğru alarmanın kaçınıcı örnekte meydana geleceği) hesaplanmıştır.

5.3. UYGULAMA 1

5.3.1. STANDART $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI İLE ANALİZ

Birinci uygulama burçların et kalınlığına aittir. Her biri 5 birim içeren 25 örnek alınmış ve her burcun et kalınlığı ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçümlere ait değerler Tablo 5-1’ de gösterilmiştir.

Tablo 5-1 Gözlem Değerleri

Örnek Numarası	1.Ölçü	2.Ölçü	3.Ölçü	4.Ölçü	5.Ölçü
1	0,751	0,752	0,752	0,750	0,751
2	0,753	0,754	0,749	0,750	0,752
3	0,753	0,749	0,752	0,752	0,753
4	0,751	0,749	0,752	0,752	0,748
5	0,753	0,754	0,753	0,756	0,755
6	0,753	0,752	0,751	0,747	0,748
7	0,753	0,751	0,752	0,749	0,750
8	0,748	0,753	0,751	0,750	0,748
9	0,751	0,750	0,751	0,752	0,751
10	0,751	0,749	0,751	0,752	0,751
11	0,752	0,752	0,750	0,748	0,750
12	0,750	0,749	0,751	0,748	0,751
13	0,748	0,749	0,751	0,747	0,750
14	0,751	0,750	0,748	0,751	0,751
15	0,752	0,751	0,751	0,750	0,751
16	0,752	0,748	0,747	0,748	0,748
17	0,752	0,745	0,750	0,746	0,751
18	0,749	0,749	0,750	0,751	0,749
19	0,750	0,750	0,750	0,750	0,754
20	0,750	0,750	0,750	0,748	0,751
21	0,750	0,750	0,749	0,750	0,748
22	0,750	0,752	0,748	0,750	0,750
23	0,750	0,751	0,749	0,750	0,750
24	0,752	0,748	0,747	0,750	0,750
25	0,749	0,749	0,749	0,750	0,750

Ölçümler yapıldıktan sonra tahmini proses ortalaması ve tahmini standart sapma değerlerini bulmak için 2.1’ deki formülden örnek ortalamaları, 2.15’ deki formülden örnek aralıkları hesaplanmıştır. Proseste meydana gelen sapmaların ortalamayı ve standart sapmayı ne kadar değiştirdiğini yani sapma boyutlarını bulabilmek için

kümülatif ortalamalar ve kümülatif aralıklar da hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 5-2’ de gösterilmiştir.

Tablo 5-2 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar

Örnek Numarası	Örnek Ortalaması	Kümülatif Ortalama	Örnek Aralıkları	Kümülatif Aralık
1	0,751	0,751	0,002	0,002
2	0,752	0,7514	0,005	0,0035
3	0,752	0,7515	0,004	0,0037
4	0,750	0,7513	0,004	0,0038
5	0,754	0,7518	0,003	0,0036
6	0,750	0,7516	0,006	0,004
7	0,751	0,7515	0,004	0,004
8	0,750	0,7513	0,005	0,0041
9	0,751	0,7513	0,002	0,0039
10	0,751	0,7512	0,003	0,0038
11	0,750	0,7511	0,004	0,0038
12	0,750	0,751	0,003	0,0038
13	0,749	0,7509	0,004	0,0038
14	0,750	0,7508	0,003	0,0037
15	0,751	0,7508	0,002	0,0036
16	0,749	0,7507	0,005	0,0037
17	0,749	0,7506	0,007	0,0039
18	0,750	0,7505	0,002	0,0038
19	0,751	0,7505	0,004	0,0038
20	0,750	0,7505	0,003	0,0038
21	0,749	0,7505	0,002	0,0037
22	0,750	0,7504	0,004	0,0037
23	0,750	0,7504	0,002	0,0036
24	0,749	0,7504	0,005	0,0037
25	0,749	0,7503	0,001	0,0036

2.14’ deki formül kullanılarak proses ortalaması, 2.18 ve 2.19’daki formüller kullanılarak prosesin standart sapması hesaplanabileceği gibi, 25. örneğin kümülatif ortalamasına bakarak proses ortalamasını ve 25. örneğin kümülatif aralığına bakarak da $\bar{R}$ değerini görebiliriz.

$$\bar{\bar{X}} = 0.7503$$

$$\bar{R} = 0.0036$$

$\bar{X}$ kontrol diyagramı için kontrol limitleri,

$$\begin{aligned}\text{ÜKL} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ &= 0.7503 + 0.577 * 0.0036 \\ &= 0.7524\end{aligned}$$

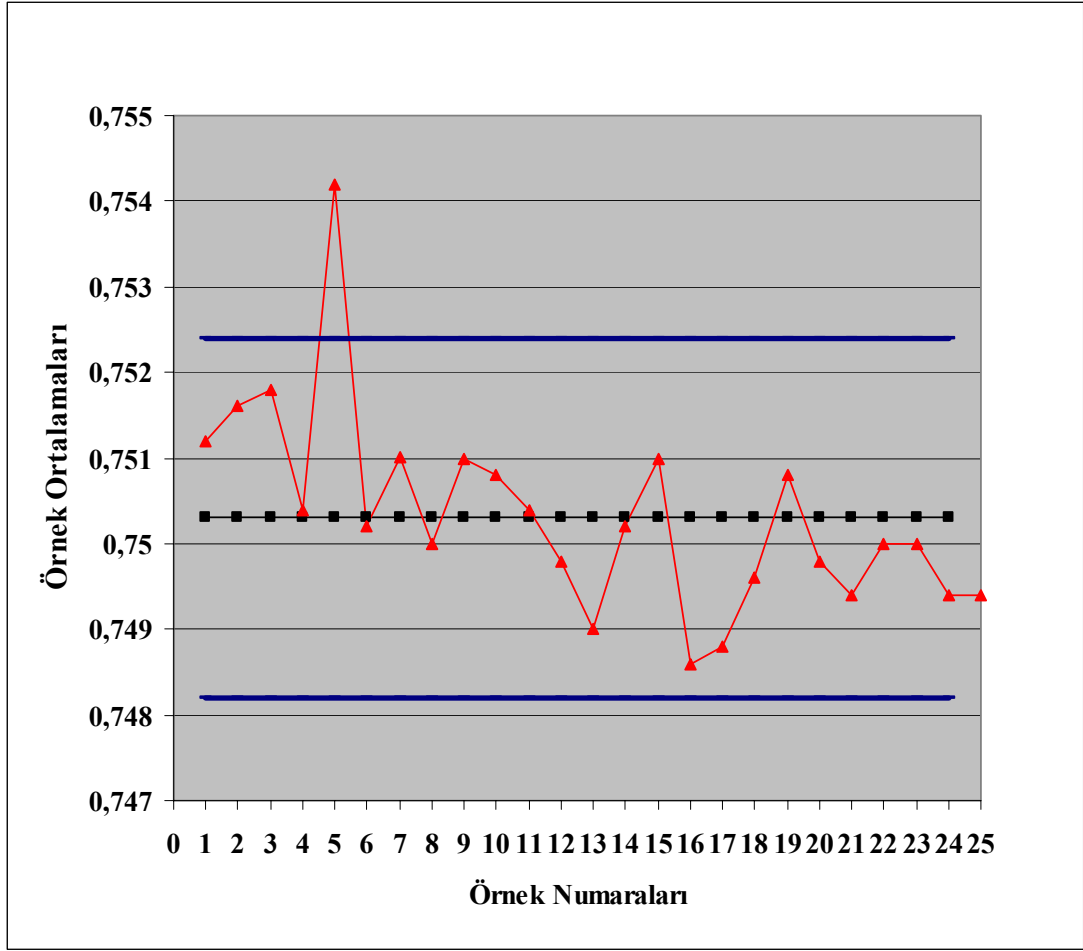
$$\begin{aligned}\text{O.Ç} &= \bar{\bar{X}} \\ &= 0.7503\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{AKL} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \\ &= 0.7503 - 0.577 * 0.0036 \\ &= 0.7482\end{aligned}$$

ve proses standart sapması,

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{\bar{R}}{d_2} \\ \sigma &= 0.0036 / 2.326 \\ &= 0.00154\end{aligned}$$

biçiminde hesaplanmıştır. A_2 ve d_2 değerleri Ek 1'deki tablodan $n=5$ 'e karşılık gelen değerlerdir. Bundan sonraki örneklemelerde proses ortalaması 0.7503 ve proses standart sapması ise 0.00154 olarak kabul edilir. Verilere ait $\bar{X}$ kontrol diyagramı Şekil 5-2' de gösterilmiştir.



Şekil 5-2 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı

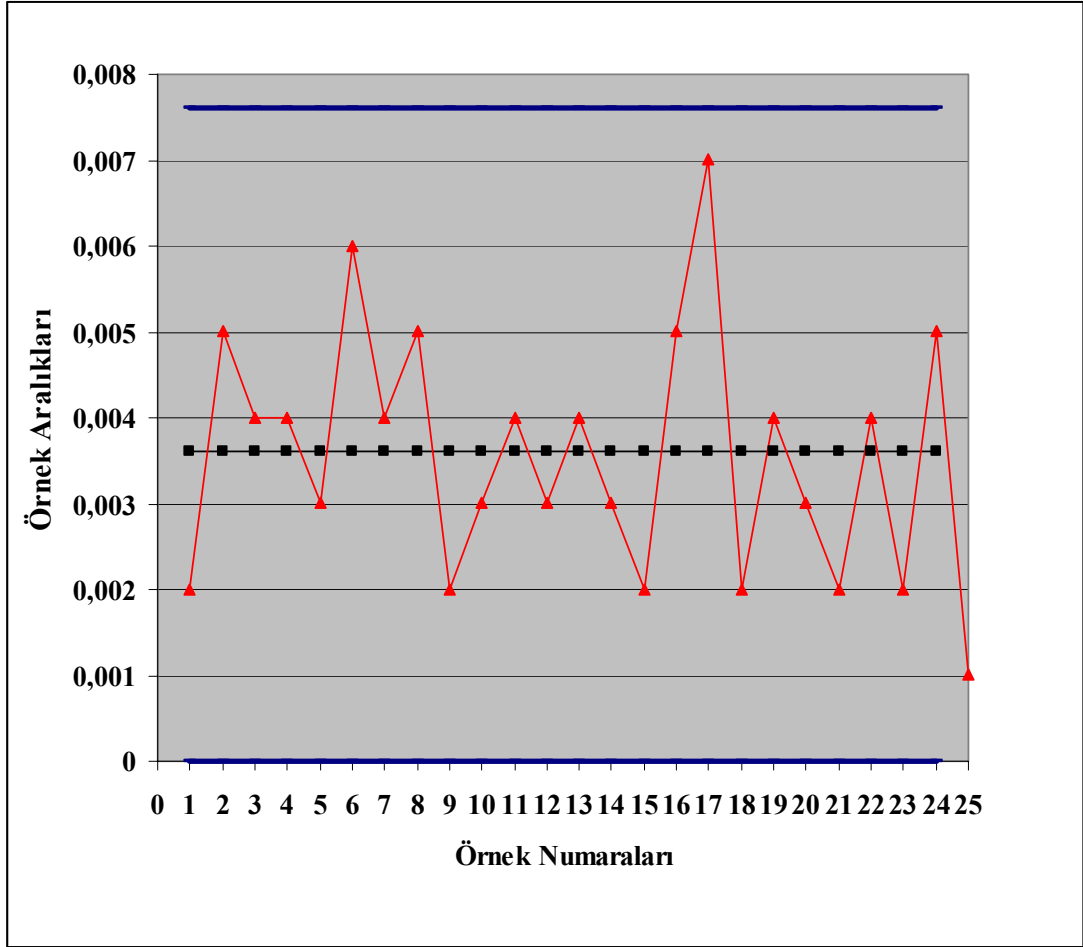
R kontrol diyagramı için kontrol limitleri,

$$\begin{aligned}
 \text{ÜKL} &= D_4 \bar{R} \\
 &= 2.11 * 0.0036 \\
 &= 0.0076
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O.Ç} &= \bar{R} \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{AKL} &= D_3 \bar{R} \\
 &= 0 * 0.0036 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

biçiminde hesaplanmıştır. D_3 ve D_4 değerleri Ek 1'deki tablodan $n=5$ 'e karşılık gelen değerlerdir. Verilere ait R diyagramı Şekil 5-3' de gösterilmiştir.



Şekil 5-3 R Kontrol Diyagramı

Daha önce de anlatıldığı gibi diyagramların kontrol dışına çıkan noktayı tayin etme yetenekleri yani performansları ARL ile ifade edildiği için, üretim proseslerinde ARL hesabı yapılarak kontrol dışına çıkacak nokta önceden tahmin edilebilir. Yalnız bunun için proseste meydana gelebilecek sapmaların boyutları (büyüklükleri) hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Uygulamada $\bar{X}$ diyagramına göre 5. örnek ortalaması kontrol limiti dışına çıkmıştır ve R kontrol diyagramına göre tüm örnek aralıkları kontrol limitleri içinde gözükmektedir. Prosesin kontrol dışına çıktığı noktayı önceden tespit edebilmek için kaç örnek almamız gerektiğini yani ARL_1

değeri ve prosesin kaç örnekte bir yanlış alarm vereceği yani ARL_0 değeri, Matlab programı kullanılarak hesaplanmıştır.

ARL_0 değeri için önce k ve k_R değerleri belirlenmelidir. Tüm uygulamalarda $\bar{X}$ diyagramı için kontrol limiti katsayısı $k = 3$ olarak alınmıştır. R diyagramı için üst kontrol limiti katsayısı k_R ise 3.18' deki formülden yararlanılarak bulunmuştur. Tayin kuralı; sadece 3σ limitinin dışına çıkmış noktaların kontrol dışında kabul edilmesidir.

$k_R = F_w^{-1} [1 - 2\Phi(-3)]$, $\Phi(-3)$ değeri Ek 2'deki tablodan 0.00135 olarak bulunur.

$$= F_w^{-1} [1 - 2 * 0.00135]$$

$= F_w^{-1} [0.9973]$, bu değer Ek 3'deki tablodan $n=5$ ' e karşılık gelen değerdir.

$$= 5.13$$

ARL_0 , 4-8 ve 4-15' deki formüller kullanılarak Matlab programında aşağıdaki gibi formülize edilmiştir

```
function ARL0 (k, Fw)
a=2*normcdf(-k)+Fw;
b=2*normcdf(-k)*Fw;
sonuc=1/(a-b)
end
```

$F_w(5.13)$, Ek 3'deki tablodan $n=5$ 'e bakılarak 0.0027 olarak bulunmuştur.

Parametreler girildikten sonra sonuç,

$ARL_0 (3, 0.0027)$

sonuc =

185.4425

şeklinde bulunmuştur. Proses her 185.4425 bir örnekte yanlış alarm verecektir.

ARL₁ değerinin hesaplanabilmesi için önce ortalamaadaki sapmanın boyutu (δ) ve standart sapmadaki sapmanın boyutu (γ) bulunmalıdır.

δ , $\mu_1 = \mu_0 - \delta\sigma_0$ formülü kullanılarak hesaplanır. μ_1 , kontrol dışına çıkan 5. örneğin kümülatif ortalamasıdır. Bu değer, Tablo 5-2' den 0.7518 olarak bulunur.

$$\begin{aligned}\delta &= \mu_1 - \mu_0 / \sigma_0 \\ &= 0.7518 - 0.7503 / 0.00154 \\ &= 0.97\end{aligned}$$

γ , σ_1 / σ_0 formülü ile ve σ_1 , $\frac{\bar{R}}{d_2}$ formülü ile hesaplanır. $\bar{R}$, kontrol dışına çıkan 5. örneğin kümülatif aralığıdır. Bu değer, Tablo 5-2' den 0.0036 olarak bulunur.

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= 0.0036 / 2.326 \\ &= 0.00154\end{aligned}$$

Buradan standart sapmada değişme olmadığı görülür.

$$\begin{aligned}\gamma &= \sigma_1 / \sigma_0 \\ &= 0.00154 / 0.00154 \\ &= 1\end{aligned}$$

ARL₁, 4.18'deki formül kullanılarak Matlab programında aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

```
function ARL1(k, delta, gamma, n, Fw)
c=normcdf((-k-delta*(n^0.5))/gamma);
d=normcdf((-k+delta*(n^0.5))/gamma);
sonuc=1/(c+d+Fw-Fw*(c+d))
end
```

Standart sapmada değişme olmadığı için Fw(5.13) olarak alınır ve Ek 3'deki tablodan n= 5'e bakılarak 0.0027 olarak bulunmuştur. Parametreler girildikten sonra sonuç,

$$ARL_1(3, 0.97, 1, 5, 0.0027)$$

sonuc =

$$4.8748$$

şeklinde bulunmuştur. $ARL_1 = 4.8748$ yaklaşık 5 olarak alınır. 5. örnekte prosesin kontrol dışına çıktığını göstermektedir. Kontrol diyagramıyla bulunan sonuç ile ARL_1 formülü ile bulunan sonuç aynıdır.

5.3.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI İLE ANALİZ

Burçların et kalınlığını iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramı ile kontrol etmek için, üretim prosesinden iki aşamada örnekleme yapılmıştır. Bunun için önce n_0 , w , k ve k_R değerleri belirlenmiştir.

Standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile karşılaştırılabilmesi için ARL_0 ve n değerlerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle standart $\bar{X}$ -R diyagramında kullanılan değerler ($k=3$, $k_R = 5.13$ ve $n=5$) kullanılmıştır. Uyarı limiti katsayısı (w) ise Costa ve Rahim (2004) tarafından 1 olarak önerilmiştir. n_0 değeri 3.17'deki formül kullanılarak ,

$$n = 1 + (n_0 - 1) [2 \Phi(-w)]$$

$5 = 1 + (n_0 - 1) [2 \Phi(-1)]$, $\Phi(-1)$ değeri Ek 1'deki tablodan 0.1587 olarak bulunur.

$$5 = 1 + (n_0 - 1) [2 * 0.1587]$$

$$n_0 = 14$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler bulunduktan sonra uyarı limitleri ve kontrol limitleri, bölüm 3.2.6'da verilen formüllerle hesaplanmıştır. Standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile analiz sonucu elde edilen proses ortalaması μ_0 ve proses standart sapması σ_0 olarak kabul edilmiştir.

$$\begin{aligned}\bar{U}UL &= \mu_0 + w\sigma_0 \\ &= 0.7503 + 1*0.00154 \\ &= 0.7518\end{aligned}$$

$$O.\zeta = \mu_0 = 0.7503$$

$$\begin{aligned}AUL &= \mu_0 - w\sigma_0 \\ &= 0.7503 - 1*0.00154 \\ &= 0.7487\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{U}KL &= \mu_0 + k\sigma_0 / \sqrt{no} \\ &= 0.7503 + 3*0.00154 / \sqrt{14} \\ &= 0.7515\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}AKL &= \mu_0 - k\sigma_0 \sqrt{no} \\ &= 0.7503 - 1*0.00154 \\ &= 0.7490\end{aligned}$$

Prosesten iki aşamada örnekleme ile prosesin kontrol dışında olduğunu gösteren nokta tespit edilene kadar örnek alınmıştır. Alınan örnekler Tablo 5-3’ de gösterilmiştir.

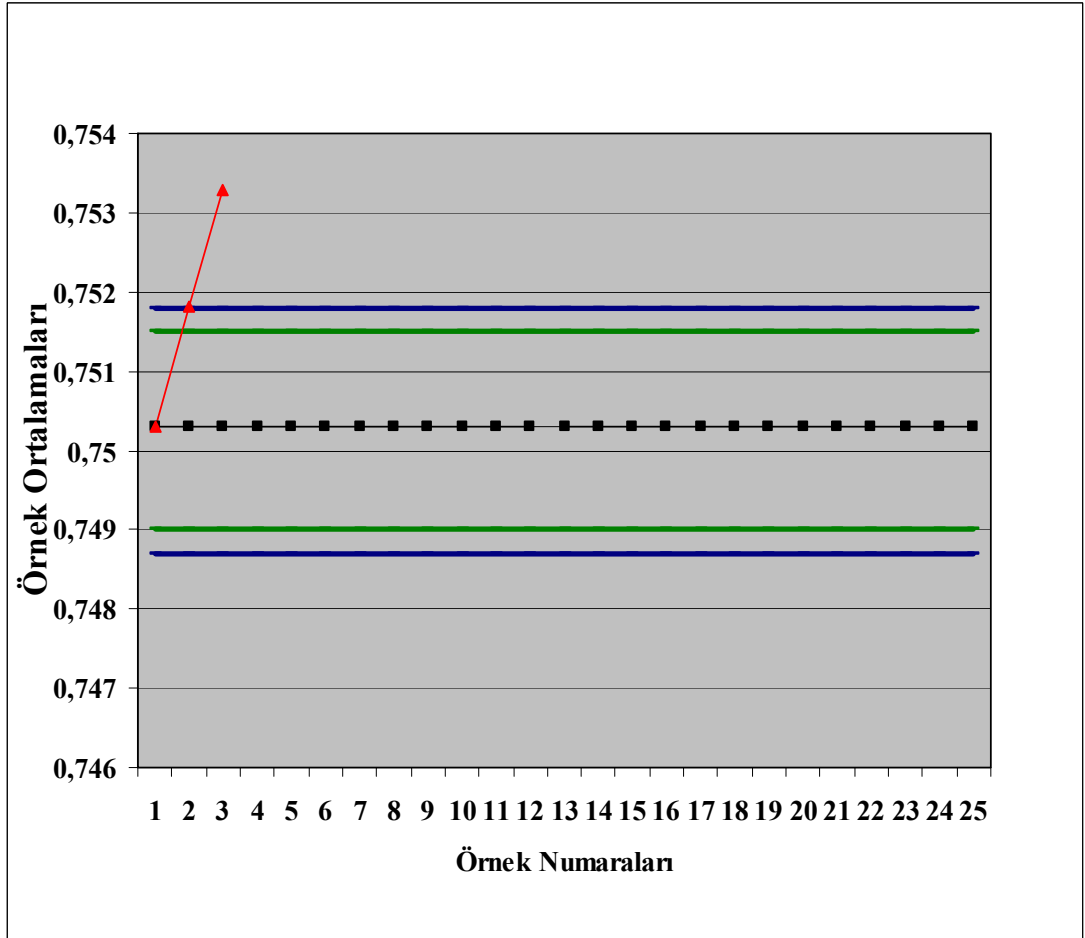
Tablo 5-3 Gözlem Değerleri

Örnek No	1	2	3
1. Ölçü	0.750	0,753	0,753
2. Ölçü		0,748	0,754
3. Ölçü		0,753	0,753
4. Ölçü		0,751	0,753
5. Ölçü		0,753	0,754
6. Ölçü		0,752	0,754
7. Ölçü		0,753	0,752
8. Ölçü		0,751	0,752
9. Ölçü		0,752	0,753
10. Ölçü		0,752	0,752
11. Ölçü		0,752	0,753
12. Ölçü		0,753	0,752
13. Ölçü		0,751	0,754
14. Ölçü		0,752	0,753

Tablo 5-4 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar

Örnek Numarası	Örnek Ortalaması	Kümülatif Ortalama	Örnek Aralıkları	Kümülatif Aralık
1	0,7503	0,7503	0,0036	0,0036
2	0,7518	0,7510	0,0050	0,0043
3	0,7533	0,7518	0,0020	0,0036

İlk örnekleme ilk birimi, uyarı limitleri içinde olduğu için geri kalan 13 birim kontrol edilmemiştir. Bu durum proses ortalaması ve proses standart sapmasını değiştirmemektedir. Diğer iki örnekleme ilk birimleri uyarı limitleri dışında olduğu için geri kalan 13 birim de kontrol edilmiştir. Proses, örnek ortalaması 3. örnekte üst kontrol limitinin üstüne çıktığı için kontrol dışındadır. Prosesle ait iki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı Şekil 5-4’ de görülmektedir.



Şekil 5-4 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı

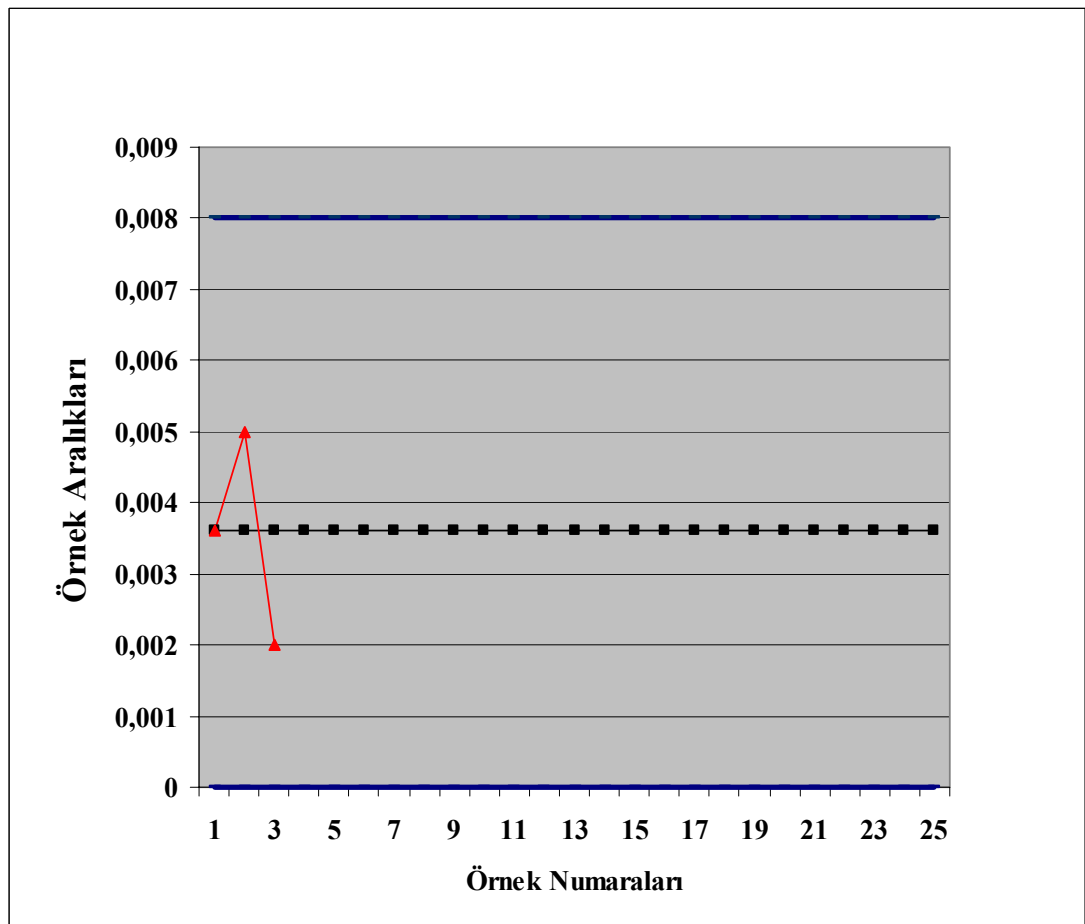
R kontrol diyagramı için kontrol limitleri, bölüm 3.2.6’da verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}\bar{U}KL &= k_R \sigma_0 \\ &= 5.13 * 0.00154 \\ &= 0.008\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}O.Ç &= \bar{R} \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$AKL = 0$$

Tablo 5-4’ e göre örnek aralıkları kontrol limitleri içindedir. Proses ait İki Aşamada Örneklemeli R Diyagramı Şekil 5-5’ de görülmektedir.



Şekil 5-5 İki Aşamada Örneklemeli R Diyagramı

ARL₁ değerini hesaplayabilmek için önce δ ve γ değerleri bulunmalıdır. μ_1 , kontrol dışına çıkan 3. örneğin kümülatif ortalamasıdır. Bu değer, Tablo 5-4' den 0.7518 olarak bulunur.

$$\begin{aligned}\delta &= \mu_1 - \mu_0 / \sigma_0 \\ &= 0.7518 - 0.7503 / 0.00154 \\ &= 0.97\end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

γ , σ_1 / σ_0 formülü ile ve σ_1 , $\frac{\bar{R}}{d_2}$ formülü ile hesaplanır. $\bar{R}$, kontrol dışına çıkan 3. örneğin kümülatif aralığıdır. Bu değer, Tablo 5-4'den 0.0036 olarak bulunur ve standart sapmanın değişmediği görülür. Buradan γ değeri,

$$\begin{aligned}\gamma &= \sigma_1 / \sigma_0 \\ &= 0.00154 / 0.00154 \\ &= 1\end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

3. örnek kontrol dışında olduğu için 3. örneğin X_1 ve X_{min} değerleri, Tablo 5-3' den sırayla 0.753 ve 0.751 olarak bulunmuştur. Buradan,

$$\begin{aligned}\text{Durum 1 : } X_{min} &\leq X_1 \leq X_{min} + k_R(n)\sigma_0 \\ &: 0.751 \leq 0.753 \leq 0.751 + 0.008 \\ &: 0.751 \leq 0.753 \leq 0.759\end{aligned}$$

sağlandığı için 4.27'deki formül kullanılmıştır.

ARL₁, Matlab programında 4.19, 4.22, 4.26, 4.27 ve 4.28' deki formüller kullanılarak formülize edilmiştir.

```

function ARL1 (k, kRσ0, δ, γ, n0, w, Xl, Xmin, μ0, σ0)
P'1=normcdf(w)-normcdf(-w);
o=normcdf(((k/γ)*(n0/(n0-1))0.5)-(((xl-μ0)/γ*σ0)*(1/(n0-1)0.5))-((δ/γ)*(n0-1)0.5));
o1= normcdf(-1*((k/γ)*(n0/(n0-1))0.5)-(((xl-μ0)/γ*σ0)*(1/(n0-1)0.5))((δ/γ)*(n0-1)0.5));
Pr1=o-o1;
if xl≤Xmin+ kRσ0 & Xl>Xmin
aa=(normcdf((Xl+ kRσ0- μ0- δ * σ0)/(γ * σ0))-normcdf((Xl- μ0- δ * σ0)/(γ * σ0)));
bb=(normcdf((Xl- μ0- δ * σ0)/(γ * σ0))-normcdf((Xl- kRσ0- μ0- δ * σ0)/(γ * σ0)));
Pr2=(n0-1)*(aa-bb)(n0-2);
elseif xl= xmin
Pr2=(normcdf((Xl+ kRσ0- μ0- δ * σ0)/(γ * σ0))-normcdf((Xl- μ0- δ * σ0)/(γ * σ0)))(n0-1);
end
P'2= Pr1*Pr2;
P=P'1+ P'2;
ARL1=1/(1-P)

```

Fonksiyondaki tüm parametre değerleri girilerek, ARL₁ değeri ,

ARL₁(3, 0.008, 0.97, 1, 14, 1, 0.753, 0.751, 0.7503, 0.00154)

ARL₁ =

3.1515

olarak hesaplanmıştır. Bu değer sapmanın yaklaşık 3. örnekte tayin edildiğini göstermektedir. Kontrol diyagramıyla bulunan sonuç ile ARL₁ formülü ile bulunan sonuç aynıdır.

Buradan iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramının, standart $\bar{X}$ -R diyagramına göre aynı yada yakın boyuttaki sapmaları daha hızlı tayin ettiği gözlenmiştir. Standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile , δ=0.97 ve γ=1 boyutlarındaki sapmalar 5. örnekte

tayin edilirken, iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramı ile aynı boyutlardaki sapmalar 3. örnekte tayin edilmiştir.

5.4. UYGULAMA 2

5.4.1. STANDART $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI İLE ANALİZ

İkinci uygulama burçların ağırlığına aittir. Her biri 5 birim içeren 25 örnek alınmış ve her burcun ağırlığı ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçümlere ait değerler Tablo 5-5’ de gösterilmiştir.

Ölçümler yapıldıktan sonra tahmini proses ortalaması ve tahmini standart sapma değerlerini bulmak için 2-1’ deki formülden örnek ortalamaları, 2-15’ deki formülden örnek aralıkları hesaplanmıştır. Proseste meydana gelen sapmaların ortalamayı ve standart sapmayı ne kadar değiştirdiğini yani sapma boyutlarını bulabilmek için kümülatif ortalamalar ve kümülatif aralıklar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 5-6 da gösterilmiştir.

Tablo 5-5 Gözlem Değerleri

Örnek No	1.Ölçü	2.Ölçü	3.Ölçü	4.Ölçü	5.Ölçü
1	74,030	74,002	74,010	73,992	74,008
2	73,995	73,992	74,001	74,011	74,004
3	73,988	74,024	74,021	74,005	74,002
4	73,985	74,003	73,993	74,015	73,988
5	73,992	74,007	74,015	73,989	74,014
6	73,983	74,002	73,998	73,997	74,012
7	74,002	73,996	73,993	74,018	74,010
8	74,012	73,994	73,997	73,985	74,012
9	74,008	74,009	74,009	74,005	74,004
10	74,010	74,000	73,990	74,010	74,009
11	74,005	74,000	73,994	74,001	73,990
12	74,090	74,016	74,020	74,006	74,020
13	74,000	73,984	74,005	73,998	73,996
14	74,006	73,967	73,994	74,000	73,984
15	74,005	74,000	73,998	73,999	74,000
16	74,010	74,014	74,020	74,010	74,009
17	73,994	74,005	73,986	74,005	74,001
18	74,006	73,981	74,008	74,000	74,000
19	73,984	74,002	74,003	74,005	73,997
20	74,000	74,000	74,003	74,000	73,997
21	73,982	74,001	73,990	74,005	73,996
22	74,004	73,999	73,990	73,996	74,001
23	73,980	73,989	73,990	74,009	74,002
24	74,000	74,002	73,993	74,000	74,000
25	73,989	73,984	73,995	74,010	74,000

Tablo 5-6 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar

Örnek Numarası	Örnek Ortalaması	Kümülatif Ortalama	Örnek Aralıkları	Kümülatif Aralık
1	74,008	74,008	0,038	0,038
2	74,001	74,005	0,019	0,028
3	74,008	74,006	0,036	0,031
4	73,997	74,003	0,030	0,031
5	74,003	74,003	0,026	0,03
6	73,998	74,003	0,029	0,03
7	74,004	74,003	0,025	0,029
8	74,000	74,002	0,027	0,029
9	74,007	74,003	0,005	0,026
10	74,004	74,003	0,020	0,025
11	73,998	74,003	0,015	0,025
12	74,030	74,005	0,084	0,03
13	73,997	74,004	0,021	0,029
14	73,990	74,003	0,039	0,03
15	74,000	74,003	0,007	0,028
16	74,013	74,004	0,011	0,027
17	73,998	74,003	0,019	0,027
18	73,999	74,003	0,027	0,027
19	73,998	74,003	0,021	0,026
20	74,000	74,003	0,006	0,025
21	73,995	74,002	0,023	0,025
22	73,998	74,002	0,014	0,025
23	73,994	74,002	0,029	0,025
24	73,999	74,002	0,009	0,024
25	73,996	74,001	0,026	0,024

2-14' deki formül kullanılarak proses ortalaması, 2-18 ve 2-19'daki formüller kullanılarak prosesin standart sapması hesaplanabileceği gibi, 25. örneğin kümülatif ortalamasına bakarak proses ortalamasını ve 25. örneğin kümülatif aralığına bakarak da $\bar{R}$ değerini görebiliriz.

$$\bar{\bar{X}} = 74.001$$

$$\bar{R} = 0.024$$

$\bar{X}$ kontrol diyagramı için kontrol limitleri,

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

$$= 74.001 + 0.577*0.024$$

$$= 74.015$$

$$O.Ç = \bar{\bar{X}}$$

$$= 74.001$$

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

$$= 74.001 - 0.577*0.024$$

$$= 73,987$$

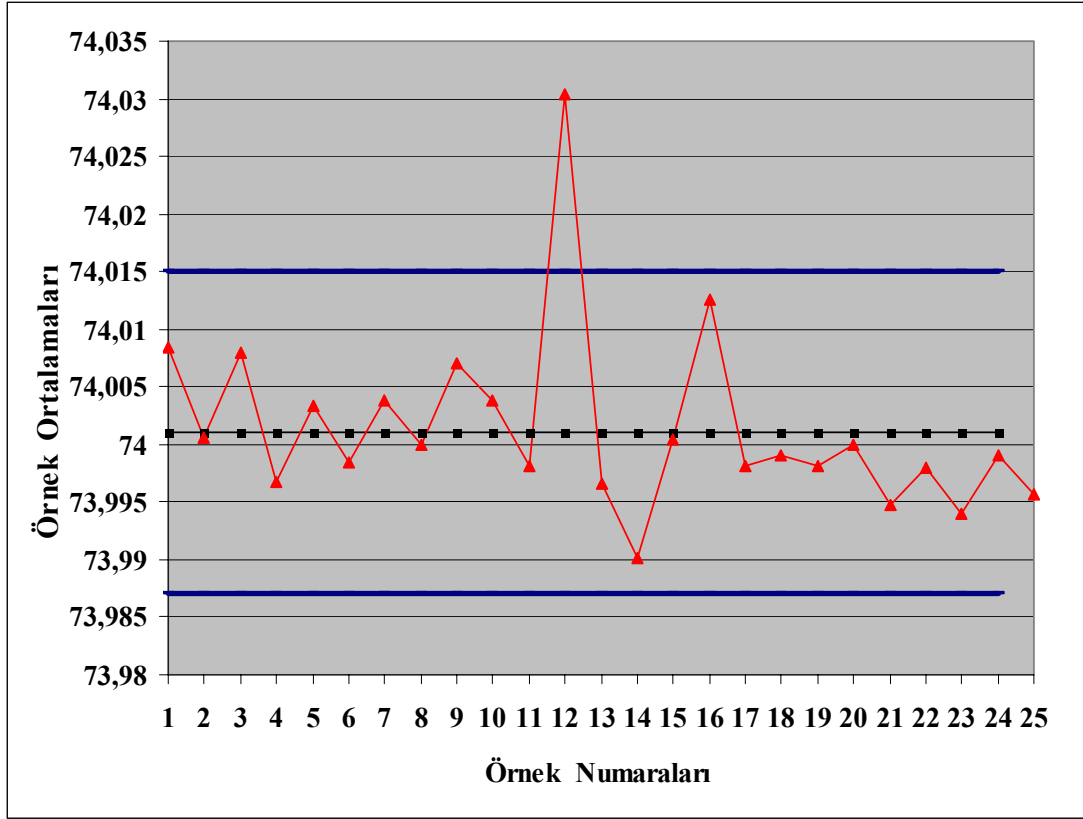
ve proses standart sapması,

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\sigma = 0.024 / 2.326$$

$$= 0.0103$$

biçiminde hesaplanmıştır. A_2 ve d_2 değerleri Ek 1'deki tablodan $n=5$ 'e karşılık gelen değerlerdir. Bundan sonraki örneklemelerde proses ortalaması 74.001 ve proses standart sapması ise 0.0103 olarak kabul edilir. Verilere ait $\bar{X}$ kontrol diyagramı Şekil 5-6' da gösterilmiştir.



Şekil 5-6 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı

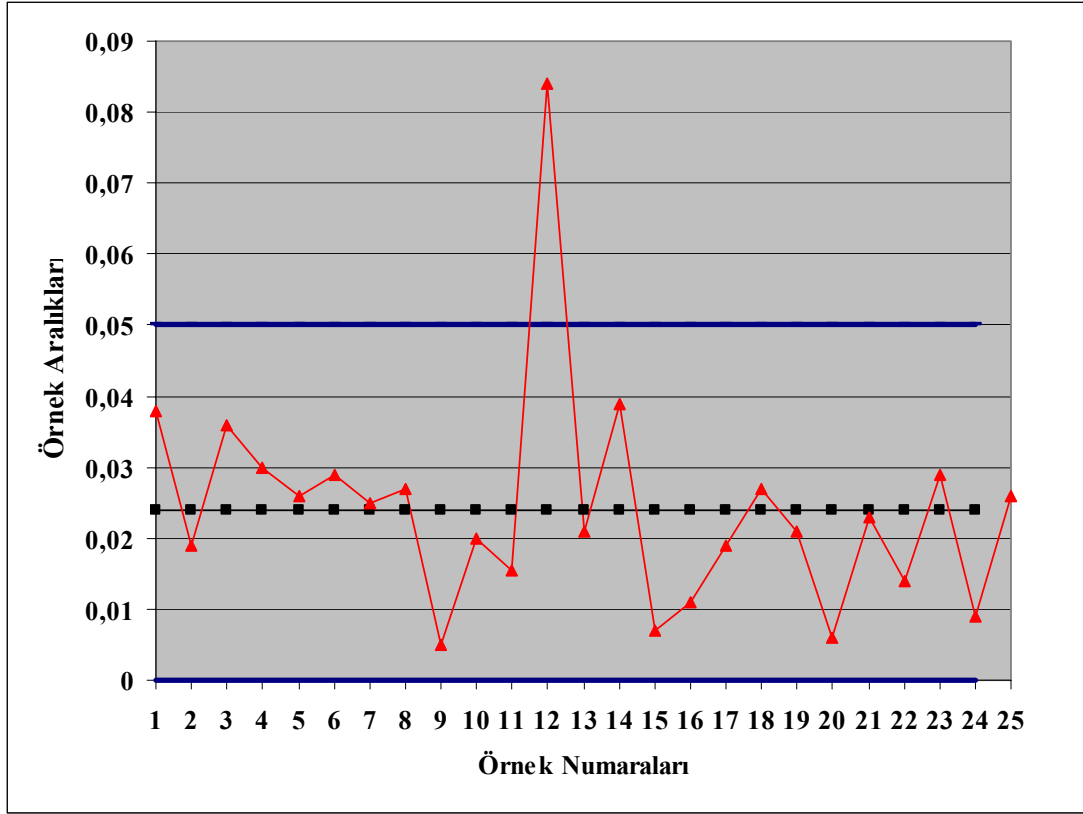
R kontrol diyagramı için kontrol limitleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 \bar{ÜKL} &= D_4 \bar{R} \\
 &= 2.11 * 0.024 \\
 &= 0.05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 O.Ç &= \bar{R} \\
 &= 0.024
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AKL &= D_3 \bar{R} \\
 &= 0 * 0.024 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

D_3 ve D_4 değerleri Ek 1'deki tablodan $n=5$ 'e karşılık gelen değerlerdir.



Şekil 5-7 R Kontrol Diyagramı

Şekil 5-6 ve Şekil 5-7’ den görüldüğü gibi, 12. örneğin hem ortalaması hem de aralığı üst kontrol limitinin dışına çıkmıştır. Bu noktanın ARL_1 hesabı ile tespiti için Matlab programı kullanılmıştır. k ve F_w değerleri ise 1. uygulamada kullanılan değerlerle aynı alınmıştır ($k=3$, $k_R=5.13$). ARL_0 değeri k ve k_R değerleri değişmediği için 1. uygulamada bulunan değerle aynıdır (185.4425).

μ_1 , kontrol dışına çıkan 12. örneğin kümülatif ortalamasıdır. Bu değer, Tablo 5-6’ dan 74.005 olarak bulunur. δ değeri,

$$\begin{aligned}\delta &= \mu_1 - \mu_0/\sigma_0 \\ &= 74.005 - 74.001 / 0.0103 \\ &= 0.39\end{aligned}$$

γ , σ_1/σ_0 formülü ile ve $\sigma_1, \frac{\bar{R}}{d_2}$ formülü ile hesaplanır. $\bar{R}$, kontrol dışına çıkan 12.

örneğin kümülatif aralığıdır. Bu değer, Tablo 5-6’ dan 0.03 olarak bulunur.

$$\sigma_1 = 0.03 / 2.326$$

$$= 0.0129$$

olarak hesaplanmıştır.

$$\gamma = \sigma_1 / \sigma_0$$

$$= 0.0129 / 0.0103$$

$$= 1.25$$

ARL_1 , 4-18' deki formül kullanılarak Matlab programında aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

```
function ARL1(k, delta, gamma, n, Fw)
c=normcdf((-k-delta*(n^0.5))/gamma);
d=normcdf((-k+delta*(n^0.5))/gamma);
sonuc=1/(c+d+Fw-Fw*(c+d))
end
```

Standart sapmadaki kayma 1.25 olduğu için $Fw(5.13/1.25=4.10)$ olarak alınır ve Ek 3'deki tablodan $n=5$ 'e bakılarak 0.0307 olarak bulunmuştur.

```
ARL1(3,0.39,1.25,5,0.0307)
sonuc =
12.4002
```

$ARL_1 = 12.4002$ olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık 12 olarak alınır. 12. örnekte prosesin kontrol dışına çıktığını göstermektedir. Kontrol diyagramıyla bulunan sonuç ile ARL_1 formülü ile bulunan sonuç aynıdır.

5.4.2. İKİ AŞAMADA ÖRNEKLEMELİ $\bar{X}$ -R KONTROL DİYAGRAMI İLE ANALİZ

Burçların ağırlığını iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramı ile kontrol etmek için, üretim prosesinden iki aşamada örnekleme yapılmıştır. n_0 , w , k ve k_R değerleri 1. uygulamada kullanılan değerlerle aynıdır ($n_0=14$, $w=1$, $k=3$ ve $k_R=5.13$).

Uyarı limitleri ve kontrol limitleri, bölüm 3.2.6'da verilen formüllerle hesaplanmıştır. Standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile analiz sonucu elde edilen proses ortalaması μ_0 ve proses standart sapması σ_0 olarak kabul edilmiştir.

$$\begin{aligned}\ddot{U}UL &= \mu_0 + w\sigma_0 \\ &= 74.001 + 1*0.0103 \\ &= 74.011\end{aligned}$$

$$O.Ç = \mu_0 = 74.001$$

$$\begin{aligned}AUL &= \mu_0 - w\sigma_0 \\ &= 74.001 - 1*0.0103 \\ &= 73.990\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ddot{U}KL &= \mu_0 + k\sigma_0 / \sqrt{n_0} \\ &= 74.001 + 3*0.0103 / \sqrt{14} \\ &= 74.009\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}AKL &= \mu_0 - k\sigma_0 / \sqrt{n_0} \\ &= 74.001 - 3*0.0103 / \sqrt{14} \\ &= 73.992\end{aligned}$$

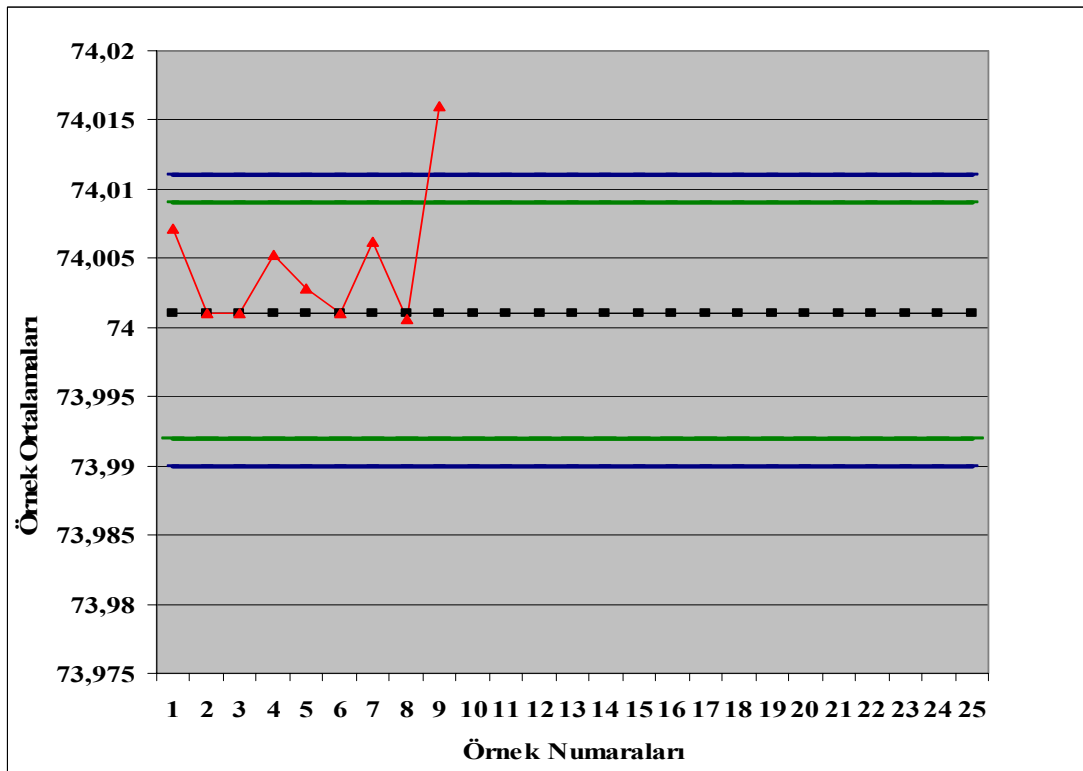
Tablo 5-7 Gözlem değerleri

Örnek No	1. Ölçü	2. Ölçü	3. Ölçü	4. Ölçü	5. Ölçü	6. Ölçü	7. Ölçü	8. Ölçü	9. Ölçü	10. Ölçü	11. Ölçü	12. Ölçü	13. Ölçü	14. Ölçü
1	74,013	74,001	74,004	74,002	74,012	73,999	74,009	74,013	74,012	73,989	74,011	74,010	74,019	74,006
2	74,004													
3	74,007													
4	74,020	74,009	74,001	74,019	73,994	74,020	73,987	74,012	74,026	73,999	73,967	73,996	74,015	74,010
5	74,013	74,007	73,979	74,005	74,006	73,984	74,010	74,006	74,003	74,011	74,014	73,976	74,013	74,013
6	74,010													
7	74,012	74,007	74,000	74,019	74,003	74,013	74,002	74,012	74,007	74,000	74,019	74,003	74,013	74,002
8	74,012	74,007	74,000	74,019	74,003	74,013	74,002	73,996	74,002	73,977	74,014	74,015	74,001	74,004
9	74,020	74,029	74,009	74,038	74,017	74,028	74,007	74,006	74,003	74,018	73,997	74,006	74,007	74,039

Tablo 5-8 Örnek Ortalamaları ve Aralıkları ile Kümülatif Ortalamalar ve Aralıklar

Örnek Numarası	Örnek Ortalaması	Kümülatif Ortalama	Örnek Aralıkları	Kümülatif Aralık
1	74,007	74,007	0,030	0,030
2	74,001	74,004	0,024	0,027
3	74,001	74,003	0,024	0,026
4	74,005	74,004	0,040	0,029
5	74,003	74,003	0,037	0,031
6	74,001	74,003	0,024	0,030
7	74,008	74,003	0,032	0,030
8	74,005	74,003	0,038	0,031
9	74,016	74,005	0,042	0,032

2., 3. ve 6. örneklerin ilk birimleri, uyarı limitleri içinde olduğu için geri kalan 13 birim kontrol edilmemiştir. Bu durum proses ortalaması ve proses standart sapmasını değiştirmemektedir. Diğer örneklemelerin ilk birimleri uyarı limitleri dışında olduğu için geri kalan 13 birim kontrol edilmiştir. 9. örneğin ortalaması üst kontrol limitinin üstüne çıktığı için proses kontrol dışındadır. Prosese ait iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ diyagramı Şekil 5-8' de görülmektedir



Şekil 5-8 İki Aşamada Örneklemeli $\bar{X}$ Diyagramı

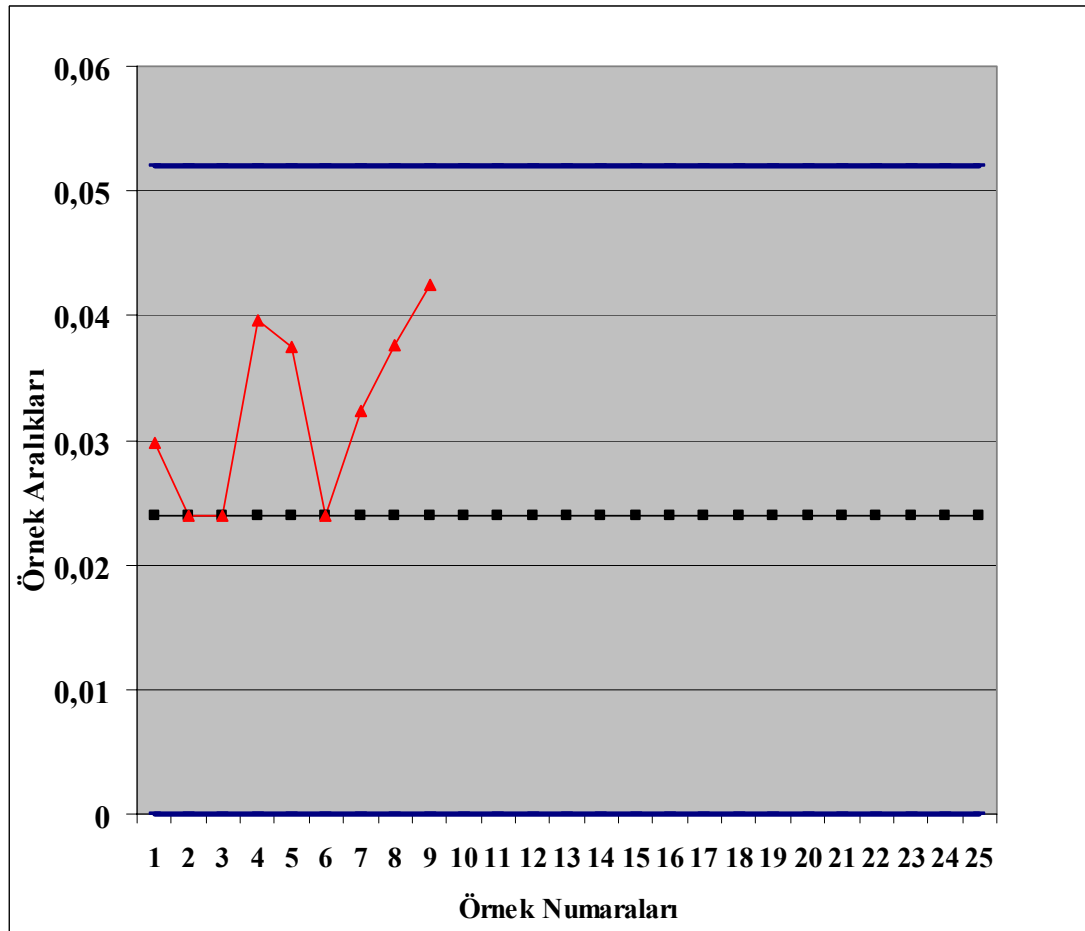
R kontrol diyagramı için kontrol limitleri, bölüm 3.2.6’da verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}\ddot{U}KL &= k_R \sigma_0 \\ &= 5.13 * 0.0103 \\ &= 0.052\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}O.\dot{C} &= \bar{R} \\ &= 0.024\end{aligned}$$

$$AKL = 0$$

Tablo 5-8’e göre örnek aralıkları kontrol limitleri içindedir. Proses ait iki aşamada örneklemeli R diyagramı Şekil 5-9’ da görülmektedir.



Şekil 5-9 İki Aşamada Örneklemeli R Diyagramı

ARL₁ değerini hesaplayabilmek için önce δ ve γ değerleri bulunmalıdır. μ_1 , kontrol dışına çıkan 9. örneğin kümülatif ortalamasıdır. Bu değer, Tablo 5-8' den 74.005 olarak bulunur.

$$\begin{aligned}\delta &= \mu_1 - \mu_0 / \sigma_0 \\ &= 74.005 - 74.001 / 0.0103 \\ &= 0.39\end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

γ , σ_1 / σ_0 formülü ile ve σ_1 , $\frac{\bar{R}}{d_2}$ formülü ile hesaplanır. $\bar{R}$, kontrol dışına çıkan 9. örneğin kümülatif aralığıdır. Bu değer, Tablo 5-8'den 0.032 olarak bulunmuş ve $\sigma_1 = 0.032 / 2.326 = 0.0138$ olarak hesaplanmıştır. Buradan γ değeri,

$$\begin{aligned}\gamma &= \sigma_1 / \sigma_0 \\ &= 0.0138 / 0.0103 \\ &= 1.35\end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

9. örnek kontrol dışında olduğu için 9. örneğin X_1 ve $X_{\min}$ değerleri, Tablo 5-7' den sırayla 74.02, ve 74.003 olarak bulunmuştur. Buradan,

$$\begin{aligned}\text{Durum 1 : } X_{\min} &\leq X_1 \leq X_{\min} + k_R(n)\sigma_0 \\ &: 74.003 \leq 74.02 \leq 74.003 + 0.052 \\ &: 74.003 \leq 0.753 \leq 74.055\end{aligned}$$

sağlandığı için 4.27'deki formül kullanılmıştır.

ARL₁, Matlab programında 4-19, 4-22, 4-26, 4-27 ve 4-28' deki formüller kullanılarak formülize edilmiştir.

```

function ARL1 (k, kRσ0, δ, γ, n0, w, Xl, Xmin, μ0, σ0)
P'1=normcdf(w)-normcdf(-w);
o=normcdf(((k/γ)*(n0/(n0-1))0.5)-((xl-μ0)/γ*σ0)*(1/(n0-1)0.5)-((δ/γ)*(n0-1)0.5));
o1= normcdf(-1*((k/γ)*(n0/(n0-1))0.5)-((xl-μ0)/γ*σ0)*(1/(n0-1)0.5))*((δ/γ)*(n0-1)0.5));
Pr1=o-o1;
if xl≤Xmin+ kRσ0 & Xl>Xmin
aa=(normcdf((Xl+ kRσ0- μ0- δ * σ0)/( γ * σ0))-normcdf((Xl- μ0- δ * σ0)/( γ * σ0)));
bb=(normcdf((Xl- μ0- δ * σ0)/( γ * σ0))-normcdf((Xl- kRσ0- μ0- δ * σ0)/( γ * σ0)));
Pr2=(n0-1)*(aa-bb)(n0-2);
elseif xl= xmin
Pr2=(normcdf((Xl+ kRσ0- μ0- δ * σ0)/( γ * σ0))-normcdf((Xl- μ0- δ * σ0)/( γ * σ0)))(n0-1);
end
P'2= Pr1*Pr2;
P=P'1+ P'2;
ARL1=1/(1-P)

```

Fonksiyondaki tüm parametre değerleri girilerek, ARL₁ değeri Matlab'de,

ARL₁(3, 0.052 0.39, 1.35, 14, 1, 0.753, 74.02, 74.03, 0.0103)

ARL₁ =
9.1166

olarak hesaplanmıştır. Bu değer sapmanın yaklaşık 9. örnekte tayin edildiğini göstermektedir.

Buradan iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramının, standart $\bar{X}$ -R diyagramına göre aynı yada yakın boyuttaki sapmaları daha hızlı tayin ettiği gözlenmiştir. Standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile , δ=0.39 ve γ=1.25 boyutlarındaki sapmalar 12.

örnekte tayin edilirken, iki aşamada örnekleme $\bar{X}$ -R diyagramı ile $\delta=0.39$ ve $\gamma=1.35$ boyutlarındaki sapmalar 9. örnekte tayin edilmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇ

Günümüz, tüketici isteklerinin ve ihtiyaçlarının farklılaştığı ve rekabet koşullarının arttığı bir ortamda, işletmelerin kalite kavramına doğru yönelmelerini gerektirmektedir. Dolayısıyla hedef, üretileni satmak yerine satılabilir kaliteli ürün üretmek olarak değişmiştir.

Kaliteli üretim, ürünün tasarım aşamasından başlayan ve satış sonrası güvenceye kadar devam eden bir süreçten ibarettir. Bu sürecin kontrolü, istenilen standartlarda ve spesifikasyonlarda ürün üretimini sağlamaktadır. Süreç kontrolü, istatistiki yöntem yada tekniklerin tüm üretim aşamalarına uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. İstatistiksel süreç kontrolü olarak adlandırılan bu uygulamalar, işletmelerin kusurlu ürün üretimini en aza indirerek maliyetlerin düşürülmesini olanaklı hale getirmektedir.

Bu çalışmada istatistiksel süreç kontrol tekniklerinden biri olan Standart $\bar{X}$ -R diyagramları ile iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramları anlatılmış ve bu iki diyagramın, proses sapmalarını tayin edebilmelerinin yani performanslarının ARL hesabı ile nasıl karşılaştırılacağı gösterilmiştir. Amaç proses sapmalarını daha önce tayin edebilen diyagramın tayin edilmesidir.

Uygulama, toz metalürjisi konusunda çalışan ve burçlar, dişliler, kilit ve ispanyolet parçaları üreten bir firmada yapılmıştır. İki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci uygulamada burçların et kalınlıklarına ilişkin analiz yapılmış ve elde edilen verilerden standart $\bar{X}$ -R diyagramları ile proses ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Standart $\bar{X}$ -R diyagramları ile yapılan analizde 5. örnekte proses ortalamasının kontrol dışına çıktığı fakat bu sapmanın standart sapmayı değiştirmedeği gözlenmiştir. Daha sonra, prostesten iki aşamada örnekleme ile örnekler alınmış ve proses ortalamasında aynı boyuttaki sapma 3. örnekte tayin edilmiş ve bu sapma yine standart sapmayı değiştirmemiştir. ARL₁ hesabı yapılarak aynı sonuçlar elde edilmiştir. Standart $\bar{X}$ -R diyagramına ait ARL₁ formülü ile

sapma 5.örnekte, iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramına ait ARL_1 formülü ile sapma 3.örnekte tayin edilmiştir.

İkinci uygulamada burçların ağırlıklarına ilişkin analiz yapılmış ve elde edilen verilerden standart $\bar{X}$ -R diyagramları ile proses ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Standart $\bar{X}$ -R diyagramları ile yapılan analizde 12. örnekte prosesin ortalamasında ve standart sapmasında kayma meydana geldiği gözlenmiştir. Daha sonra, prosesten iki aşamada örnekleme ile örnekler alınmış ve proses ortalamasında aynı ve standart sapmasındaki sapma 9. örnekte tayin edilmiştir. Fakat ortalamadaki sapmanın standart sapmayı değiştirdiği fakat kontrol dışına çıkarmadığı gözlenmiştir.

Standart $\bar{X}$ -R diyagramına ait ARL_1 formülü ile sapma 12.örnekte, iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramına ait ARL_1 formülü ile sapma 9.örnekte tayin edilmiştir.

Uygulama çalışmalarından, iki aşamada örneklemeli $\bar{X}$ -R diyagramlarıyla yapılan proses kontrollerinde, proses ortalaması ve standart sapmasında meydana gelen sapmaların, standart $\bar{X}$ -R diyagramı ile yapılan analizlere göre daha hızlı saptandığı anlaşılmıştır. Proseste meydana gelebilecek sapmaların tayini için kaç örnek alınması gerektiği, bu sapmaların boyutlarını yaklaşık olarak tahmin edebilen yani proses hakkında bilgi sahibi olan proses yöneticileri tarafından, ARL_1 formülleriyle daha önceden hesaplanabilmektedir. Bu yöntem sayesinde kusurlu ürünler zamanında tayin edilerek, işletmelerin kayıpları ve maliyetleri en aza indirgenmiş olacaktır.

KAYNAKÇA

- Adam, Everett E., : **Production and Operations Management: Concepts, Models and Behavior**, New York, Prentice Hall Int. Editions, Fourth Edition, 1989
- Ebert, Ronald J.
- Akkurt, Mustafa : **Kalite Kontrol-Excel Destekli**, İstanbul, Birsen Yayınevi, 2002
- Ateinsa, O.O., : “Statistical Process Control and Forecasting”,
Ang, B.W., **International Journal of Quality Science** , Vol. 2,
Tang, L.C. No. 1, 1997, s.37-51.
- Banks, Jerry : **Principles of Quality Control**, New York, John Wiley & Sons, cop., 1989
- Baxley, Robert V. : “An Application of Variable Sampling Interval Control Charts”, **Journal of Quality Technology**, Vol.27, No. 4, October 1995, s.275-282
- Besterfield, Dale H. : **Quality Control**, New Jersey, Prentice Hall Int. Inc., Fourth Edition, 1994
- Costa, Antonio F.B. : “Joint Economic Design of $\bar{X}$ and R Charts For Processes Subject To Two Independent Assignable Causes”, **IEE Transactions**, , Vol.25, No. 6, November 1993, s.27-33
- Costa, Antonio F.B. : “ $\bar{X}$ Charts with Variable Sample Size”, **Journal of Quality Technology**, Vol. 26, 1994, s. 155-163

- Costa, Antonio F.B. : “Joint $\bar{X}$ and R Charts with Variable Sample Sizes and Sampling Intervals”, **Journal of Quality Technology**, Vol. 31, No. 4, October 1999, s. 387-396
- Costa, Antonio F.B. : “Joint $\bar{X}$ and R Charts with Variable Parameters”, **Journal of Quality Technology**, Vol. 31, No. 4, October 1998, s. 408-414
- Cost, Antonio F.B. : “ $\bar{X}$ Charts with Variable Parameters”, **Journal of Quality Technology**, Vol. 31, No. 4, October 1999, s. 408-414
- Costa, Antonio F.B.,
Rahim, M.A. : “Joint $\bar{X}$ and R Charts with Two Stage Samplings”, **Quality and Reliability Engineering International**, Vol. 20, No. 7, 2004, s. 699-708
- Croasdale, Robert : “Control Charts For A Double-Sampling Scheme based On Average Production Run Length”, **International Journal of Production Research**, Vol.12, No. 5, 1974, s.585-592
- Cox, M.A. A. : “Towards the Implementation of a Universal Control Chart and Estimation of Its Average Run Length using a Spreadsheet: An Artificial Neural Network is employed to Model thr Parameters in a Special Case”, **Journal of Applied Statisits**, Vol. 28, No. 3, 2001, s. 353-364
- Daudin, J.J. : “Double Sampling $\bar{X}$ Charts”, **Journal of Quality Technology**, Vol.24, No.2, April, 1992, s.78-84

- De Megalhaes, M.S.,
Costa, Antonio F.B.,
Neto, Moura D. : “Adaptive Control charts : A Markovian Approach for Processes Subject To Independent Disturbances”
International Journal of Production Economics, Vol.99, No: 1-2, 2006, s. 236-246
- Dechert, Jerry,
Lynn, Jaeger,
Bennett, Mary,
Case, Ken : **Abbott Diagnostics-Practical Quality Control Guide**, 1996, (Çevrimiçi)
http://www.abbottdiagnostics.com/Your_Health/Thyroid/Testing/quality.cfm (01.12.2005)
- Dhillon, Balbir S. : **Quality Control, Reliability and Engineering Design**, New York, Marcel Decker Inc., 1985
- Dilworth, James B. : **Operations Management: Design, Planning and Control for Manufacturing and Service**, McGraw Hill Int. Edition, New York, 1992
- Evans, James R.,
Lindsay, William M. : **The Management and Control of Quality**, New York, West Publishing Company 1988
- Faigenbaum, A.V. : **Total Quality Control**, New York, McGraw Hill Int. Edition, Third Edition, 1991
- Gaither, Norman : **Production and Operation Management**, Dryden Press, Sixth Edition, 1994
- Grant, Eugene L.,
Leanworth, Richard S. : **Statistical Quality Control**, McGraw Hill Int. Edition, New York, Sixth Edition ,1988
- He, D.,
Grigoryan, A.,
Sigh, M. : “Design of Double and Triple Sampling X-bar Control Charts Using Genetic Algorithms”,
International Journal of Production Research, Vol.40, No. 6, 2002, s.1387-1404

- Heizer, Jay : **Production and Operations Management**, New Jersey, Prentice Hall Int. Editions, Fourth Edition, 1996
- Render, Barry
- Juran, J.M. : **Juran's Quality Control Handbook**, New York, McGraw Hill Int. Edition, Fourth Edition, 1988
- Khoo, Michael B.C. : "Performance Measures for the Shewhart $\bar{X}$ Control Chart", **Quality Engineering**, Vol. 16, No. 4, 2004, s. 585-590
- Kobu, Bülent : **Endüstriyel Kalite Kontrol**, İ.Ü İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yayını, İkinci Baskı, İstanbul, 1987
- Kobu, Bülent : **Üretim Yönetimi**, İstanbul, Avcıol Basım-Yayın, Onuncu Baskı, 1999
- Liberatore, Ralph L. : "Teaching the Role of SPC in Industrial Statistic", **Quality Progress**, Vol. 34, No. 7, July 2001 s. 89-94
- Lin, Yu-Chang, : "Adaptive $\bar{X}$ Control Charts with Sampling at Fixed Times", **Quality Reliability Engineering International**, Vol. 21, 2005, s.163-175
- Chou, Yu-Chao
- Mears, Peter : **Quality Improvement Tools and Techniques**, New York, McGraw Hill Int. Edition, 1995
- Montgomery, Douglas : **Introduction To Statistical Quality Control**, New York, John Wiley & Sons, cop., Fourth Edition, 2001
- C.

- Rahim,M.A.,
Costa,Antonio F.B. : Joint Economic Design of $\bar{X}$ and R Charts Under “Weibull Shock Models”, **Quality and Reliability Engineering International**, Vol. 16, No.2, s. 143-156 2000.
- Pearson, E.S.,
Hartley, H.O. : “The Probability Integral of the Range in Samples of Observations from a Normal Population”, **Biometrika**, Vol. 32, No.3/4, April 1992,s.301-310
- Prabhu, S.S.,
Runger G.C.,
Keats, J.B. : “ $\bar{X}$ Chart with adaptive sample Sizes”, **International Journal of Production Research**, Vol.31, No. 12, 1993, s.2895-2909
- Reynolds, Marion R.,
Amin, Raid W.,
Arnold Jesse C.,
Nachlas, Joel A. : “ $\bar{X}$ Chart with Variable Sampling Intervals”, **Technometrics**, Vol. 30, No. 2, May 1988
- Riggs, James L. : **Production Systems: Planning, Analysis and Control**, New York, John Wiley & Sons, cop., Fourth Edition, 1987
- Runger G.C.,
Pignatello, Joseph J. : “Adaptive Sampling for Process Control”, **Journal of Quality Technology**, Vol. 23, No. 2, April 1991, s. 135-154
- Ryan, Thomas P. : **Statistical Methods for Quality Improvement**, New York, John Wiley & Sons, cop., 1989
- Saniga, Erwin M. : “Joint Economiccally Optimal Design of $\bar{X}$ and R Control Charts”, **Management Science**, Vol. 24, No. 4, December 1977, s. 420-431

- Spanos, Costas J., : “Using Qualitative Observations for Process Tuning
Chen, Raymond, L. and Control”, **IEEE Transaction**, Vol.10, No. 2,
May 1997, s.307- 347
- Stoumbos, Z. G., : “Control charts Applying a Sequential Test at Fixed
Reynols, Marion R. sampling Intervals”, **Journal of Quality Technology**,
Vol. 29, No. 1, January 1997, s. 21-33
- Straker, David : **A Toolbook for Quality Improvement and
Problem Solving**, New York, Prentice Hall Int.
Editions, 1995
- Tagaras, George : “A Survey of Recent Developments in the Design of
Adaptive Control Charts”, **Journal of Quality
Technology**, Vol. 30, No. 3 , July 1998, s. 212-226
- Tatar, Tevfik : **İşletmelerde Üretim Yönetimi ve Teknikleri**,
Ankara, Ankara Devlet Mühendislik ve Mimarlık
Akademisi Yayınları, 1982
- Tekin, Mahmut : **Üretim Yönetimi**, Konya, Arı Ofset, Üçüncü Baskı,
1996
- Weindling, Joachim. I., : “Mean action Time of the Control Charts with
Littauer, Sebastian B., Warning Limits”, **Journal of Quality Technology**,
De Oliveira, Tiago J. Vol. 2, No.2 , April 1970, s. 79-85
- Wheeler, Donald J. : **Advanced Topics in Statistical Process Control**,
Knoxville, SPC Press, 1995
- Zimmer, Lora S., : “Evaluation of Three-State Adaptive Sample Size $\bar{X}$
Montgomery, D.C., Control Chart”, **International Journal of Production
Runger, G.C. Research**, Vol.36, No. 3, 1998, s. 733-743

- Zimmer, Lora S.,
Montgomery, D.C.,
Runger, G.C. : “Guidelines for the Application of Adaptive Control
Charting Schemes”, **International Journal of
Production Research**, Vol.38, No. 9, 2000, s. 1977-
1992
- (Çevrimiçi 1) : <http://www.igeme.org.tr/TUR/pratik/kalite.pdf>
(31.01.2006)
- (Çevrimiçi 2) : http://freeshost21.websamba.com/uu_endustri/b.htm
(31.01.2006)
- (Çevrimiçi 3) : [http://www.isixsigma.com/library/content/c040202a.
asp](http://www.isixsigma.com/library/content/c040202a.asp) (31.01.2006)
- (Çevrimiçi 4) : [http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section
3/pmc321.htm](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc321.htm) (22.05.2004)

EKLER

EK-1 $\bar{X}$, s ve R Diyagramlarının Orta Çizgi ve 3σ Kontrol Limitleri İçin Faktörler (Mongomery, 2001: 761)

Örnek büyüklüğü	Ortalama Diyagramı			Standart Sapma Diyagramı						Aralık Diyagramı				
	Kontrol Limitleri İçin Faktörler			Orta Çizgi İçin Faktör	Kontrol Limitleri İçin Faktörler					Orta Çizgi İçin Faktör	Kontrol Limitleri İçin Faktörler			
	A	A ₂	A ₃	c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	p	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	0	3,267	0	2,606	1,128	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	0	2,568	0	2,276	1,693	0,888	0	4,358	0	2,574
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	0	2,266	0	2,088	2,059	0,88	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	0	2,089	0	1,964	2,326	0,864	0	4,918	0	2,114
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,7630	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	0,446	1,534	0,458	1,511	3,588	0,744	1,356	5,82	0,373	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585

EK – 2 Normal Dağılım Tablosu (Besterfield, 1994:472)

(Not: Tablo Değerleri Eksi Sonsuz ile "X" Arasındaki Alanları Göstermektedir)

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2117	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
+0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
+0.1	0.5398	0.5483	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5733
+0.2	0.5793	0.5882	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
+0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
+0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
+0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
+0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
+0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
+0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
+0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8268	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
+1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
+1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
+1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
+1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
+1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
+1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
+1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
+1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
+1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
+1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
+2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
+2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
+2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
+2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
+2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
+2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
+2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
+2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
+2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
+2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
+3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
+3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
+3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
+3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
+3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
+3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998

n W	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,00	0,0000	0,0000																	
0,05	0,0282	0,0007	0,0000																
0,10	0,0564	0,0028	0,0001																
0,15	0,0845	0,0062	0,0004	0,0000															
0,20	0,1125	0,0110	0,0010	0,0001															
0,25	0,1403	0,0171	0,0020	0,0002															
0,30	0,1680	0,0245	0,0034	0,0004	0,0000														
0,35	0,1955	0,0332	0,0053	0,0008	0,0001														
0,40	0,2227	0,0431	0,0079	0,0014	0,0002	0,0000													
0,45	0,2497	0,0543	0,0111	0,0022	0,0004	0,0001													
0,50	0,2763	0,0666	0,0152	0,0033	0,0007	0,0002	0,0000												
0,55	0,3027	0,0800	0,0200	0,0048	0,0011	0,0003	0,0001												
0,60	0,3286	0,0944	0,0257	0,0068	0,0017	0,0004	0,0001	0,0000											
0,65	0,3542	0,1099	0,0323	0,0092	0,0025	0,0007	0,0002	0,0001											
0,70	0,3794	0,1263	0,0398	0,0121	0,0036	0,0011	0,0003	0,0001	0,0000										
0,75	0,4041	0,1436	0,0483	0,0157	0,0050	0,0016	0,0005	0,0002	0,0001										
0,80	0,4284	0,1616	0,0578	0,0200	0,0068	0,0023	0,0008	0,0002	0,0001										
0,85	0,4522	0,1805	0,0682	0,0250	0,0090	0,0032	0,0011	0,0004	0,0001	0,0000									
0,90	0,4755	0,2000	0,0797	0,0309	0,0117	0,0044	0,0016	0,0006	0,0002	0,0001									
0,95	0,4983	0,2201	0,0922	0,0375	0,0150	0,0059	0,0023	0,0009	0,0003	0,0001	0,0000								
1,00	0,5205	0,2407	0,1057	0,0450	0,0188	0,0078	0,0032	0,0013	0,0005	0,0002	0,0001	0,0000							
1,05	0,5422	0,2618	0,1201	0,0535	0,0234	0,0101	0,0043	0,0018	0,0008	0,0003	0,0001	0,0001							
1,10	0,5633	0,2833	0,1355	0,0629	0,0287	0,0129	0,0057	0,0025	0,0011	0,0005	0,0002	0,0001	0,0000						
1,15	0,5839	0,3051	0,1517	0,0733	0,0348	0,0163	0,0075	0,0035	0,0016	0,0007	0,0003	0,0001	0,0001						
1,20	0,6039	0,3272	0,1688	0,0847	0,0417	0,0203	0,0098	0,0047	0,0022	0,0010	0,0005	0,0002	0,0001	0,0000					
1,25	0,6232	0,3495	0,1868	0,0970	0,0495	0,0250	0,0125	0,0062	0,0030	0,0015	0,0007	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000				
1,30	0,6420	0,3719	0,2054	0,1104	0,0583	0,0304	0,0157	0,0080	0,0041	0,0021	0,0010	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000			
1,35	0,6602	0,3943	0,2248	0,1247	0,0680	0,0366	0,0195	0,0103	0,0054	0,0028	0,0015	0,0008	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000		
1,40	0,6778	0,4168	0,2448	0,1400	0,0787	0,0437	0,0240	0,0131	0,0071	0,0038	0,0021	0,0011	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001		
1,45	0,6948	0,4392	0,2654	0,1562	0,0904	0,0517	0,0292	0,0164	0,0092	0,0051	0,0028	0,0016	0,0009	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	
1,50	0,7112	0,4614	0,2865	0,1733	0,1031	0,0606	0,0353	0,0204	0,0117	0,0067	0,0038	0,0022	0,0012	0,0007	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
1,55	0,7269	0,4835	0,3080	0,1913	0,1168	0,0705	0,0422	0,0250	0,0148	0,0087	0,0051	0,0030	0,0017	0,0010	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
1,60	0,7421	0,5053	0,3299	0,2101	0,1316	0,0814	0,0499	0,0304	0,0184	0,0111	0,0067	0,0040	0,0024	0,0014	0,0008	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001
1,65	0,7567	0,5269	0,3521	0,2296	0,1473	0,0934	0,0587	0,0366	0,0227	0,0140	0,0086	0,0053	0,0032	0,0020	0,0012	0,0007	0,0004	0,0003	0,0002
1,70	0,7707	0,5481	0,3745	0,2498	0,1639	0,1064	0,0684	0,0437	0,0277	0,0175	0,0111	0,0069	0,0043	0,0027	0,0017	0,0011	0,0007	0,0004	0,0003
1,75	0,7841	0,5690	0,3971	0,2706	0,1815	0,1204	0,0792	0,0517	0,0336	0,0217	0,0140	0,0090	0,0058	0,0037	0,0024	0,0015	0,0010	0,0006	0,0004
1,80	0,7969	0,5894	0,4197	0,2920	0,2000	0,1355	0,0910	0,0607	0,0403	0,0266	0,0175	0,0115	0,0075	0,0049	0,0032	0,0021	0,0013	0,0009	0,0006
1,85	0,8092	0,6094	0,4423	0,3138	0,2193	0,1516	0,1039	0,0707	0,0479	0,0323	0,0217	0,0145	0,0097	0,0065	0,0043	0,0028	0,0019	0,0012	0,0008
1,90	0,8209	0,6290	0,4649	0,3361	0,2394	0,1686	0,1178	0,0818	0,0565	0,0388	0,0266	0,0182	0,0124	0,0084	0,0057	0,0039	0,0026	0,0018	0,0012
1,95	0,8321	0,6480	0,4874	0,3587	0,2602	0,1867	0,1329	0,0940	0,0661	0,0463	0,0323	0,0225	0,0156	0,0108	0,0075	0,0052	0,0035	0,0024	0,0017
2,00	0,8427	0,6665	0,5096	0,3816	0,2816	0,2056	0,1489	0,1072	0,0768	0,0548	0,0389	0,0276	0,0195	0,0137	0,0097	0,0068	0,0048	0,0033	0,0023
2,05	0,8528	0,6845	0,5317	0,4046	0,3035	0,2254	0,1661	0,1216	0,0886	0,0643	0,0465	0,0335	0,0241	0,0173	0,0124	0,0088	0,0063	0,0045	0,0032
2,10	0,8624	0,7019	0,5534	0,4277	0,3260	0,2460	0,1842	0,1371	0,1015	0,0749	0,0550	0,0403	0,0295	0,0215	0,0156	0,0114	0,0082	0,0060	0,0043
2,15	0,8716	0,7187	0,5748	0,4508	0,3489	0,2673	0,2033	0,1536	0,1156	0,0866	0,0646	0,0481	0,0357	0,0264	0,0196	0,0144	0,0106	0,0078	0,0057
2,20	0,8802	0,7349	0,5957	0,4739	0,3720	0,2893	0,2232	0,1712	0,1307	0,0994	0,0753	0,0569	0,0429	0,0323	0,0242	0,0181	0,0136	0,0102	0,0076
2,25	0,8884	0,7505	0,6163	0,4969	0,3955	0,3118	0,2440	0,1899	0,1470	0,1134	0,0872	0,0669	0,0511	0,0390	0,0297	0,0226	0,0172	0,0130	0,0099
2,30	0,8961	0,7655	0,6363	0,5196	0,4190	0,3348	0,2656	0,2095	0,1645	0,1286	0,1003	0,0779	0,0605	0,0468	0,0361	0,0279	0,0215	0,0165	0,0127
2,35	0,9034	0,7799	0,6558	0,5421	0,4427	0,3582	0,2878	0,2300	0,1830	0,1450	0,1145	0,0902	0,0709	0,0556	0,0435	0,0340	0,0265	0,0207	0,0161
2,40	0,9103	0,7937	0,6748	0,5643	0,4663	0,3820	0,3107	0,2514	0,2025	0,1625	0,1300	0,1037	0,0825	0,0655	0,0519	0,0411	0,0325	0,0256	0,0202
2,45	0,9168	0,8069	0,6932	0,5861	0,4899	0,4059	0,3341	0,2735	0,2230	0,1811	0,1466	0,1183	0,0953	0,0766	0,0615	0,0493	0,0394	0,0315	0,0251
2,50	0,9229	0,8195	0,7110	0,6075	0,5132	0,4300	0,3579	0,2964	0,2443	0,2007	0,1644	0,1342	0,1094	0,0890	0,0722	0,0586	0,0474	0,0383	0,0309

$\begin{matrix} n \\ W \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2,50	0,9229	0,8195	0,7110	0,6075	0,5132	0,4300	0,3579	0,2964	0,2443	0,2007	0,1644	0,1342	0,1094	0,0890	0,0722	0,0586	0,0474	0,0383	0,0309
2,55	0,9286	0,8315	0,7282	0,6283	0,5364	0,4540	0,3820	0,3198	0,2665	0,2213	0,1833	0,1514	0,1247	0,1026	0,0842	0,0690	0,0565	0,0462	0,0377
2,60	0,9340	0,8429	0,7448	0,6487	0,5592	0,4782	0,4064	0,3437	0,2894	0,2429	0,2033	0,1697	0,1413	0,1174	0,0974	0,0807	0,0668	0,0552	0,0455
2,65	0,9390	0,8537	0,7607	0,6685	0,5816	0,5022	0,4309	0,3680	0,3130	0,2653	0,2243	0,1891	0,1591	0,1336	0,1120	0,0937	0,0783	0,0654	0,0545
2,70	0,9438	0,8640	0,7759	0,6877	0,6036	0,5259	0,4555	0,3927	0,3372	0,2885	0,2462	0,2096	0,1780	0,1509	0,1278	0,1080	0,0911	0,0768	0,0647
2,75	0,9482	0,8737	0,7905	0,7063	0,6252	0,5494	0,4801	0,4175	0,3617	0,3124	0,2690	0,2311	0,1981	0,1696	0,1449	0,1236	0,1053	0,0896	0,0761
2,80	0,9523	0,8828	0,8045	0,7242	0,6461	0,5725	0,5044	0,4425	0,3867	0,3368	0,2926	0,2536	0,2194	0,1894	0,1632	0,1405	0,1208	0,1037	0,0889
2,85	0,9561	0,8915	0,8177	0,7415	0,6665	0,5952	0,5286	0,4675	0,4119	0,3617	0,3169	0,2770	0,2416	0,2103	0,1829	0,1587	0,1376	0,1192	0,1031
2,90	0,9597	0,8996	0,8304	0,7580	0,6863	0,6174	0,5525	0,4923	0,4372	0,3870	0,3417	0,3011	0,2647	0,2324	0,2036	0,1782	0,1558	0,1360	0,1186
2,95	0,9630	0,9073	0,8424	0,7739	0,7055	0,6390	0,5760	0,5171	0,4625	0,4126	0,3670	0,3258	0,2887	0,2554	0,2255	0,1989	0,1752	0,1542	0,1355
3,00	0,9661	0,9145	0,8537	0,7891	0,7239	0,6601	0,5991	0,5415	0,4878	0,4382	0,3927	0,3512	0,3134	0,2792	0,2484	0,2207	0,1959	0,1737	0,1538
3,05	0,9690	0,9212	0,8645	0,8036	0,7416	0,6806	0,6216	0,5656	0,5129	0,4639	0,4186	0,3769	0,3387	0,3039	0,2723	0,2436	0,2178	0,1944	0,1734
3,10	0,9716	0,9275	0,8746	0,8174	0,7587	0,7003	0,6436	0,5892	0,5378	0,4895	0,4446	0,4029	0,3645	0,3292	0,2970	0,2675	0,2407	0,2164	0,1943
3,15	0,9741	0,9334	0,8842	0,8305	0,7750	0,7194	0,6649	0,6124	0,5623	0,5150	0,4706	0,4292	0,3907	0,3551	0,3224	0,2923	0,2647	0,2394	0,2164
3,20	0,9763	0,9388	0,8931	0,8429	0,7905	0,7377	0,6856	0,6350	0,5864	0,5401	0,4965	0,4555	0,4171	0,3814	0,3483	0,3177	0,2895	0,2635	0,2396
3,25	0,9784	0,9439	0,9016	0,8546	0,8053	0,7553	0,7055	0,6569	0,6099	0,5649	0,5222	0,4817	0,4437	0,4081	0,3748	0,3438	0,3151	0,2885	0,2638
3,30	0,9804	0,9487	0,9095	0,8657	0,8194	0,7721	0,7248	0,6782	0,6329	0,5893	0,5475	0,5078	0,4703	0,4348	0,4016	0,3704	0,3413	0,3142	0,2890
3,35	0,9822	0,9531	0,9168	0,8761	0,8327	0,7881	0,7432	0,6988	0,6553	0,6131	0,5725	0,5337	0,4967	0,4617	0,4286	0,3974	0,3681	0,3407	0,3150
3,40	0,9838	0,9572	0,9237	0,8859	0,8454	0,8034	0,7609	0,7186	0,6769	0,6363	0,5970	0,5592	0,5230	0,4885	0,4557	0,4246	0,3953	0,3677	0,3417
3,45	0,9853	0,9609	0,9302	0,8951	0,8573	0,8179	0,7778	0,7376	0,6978	0,6589	0,6209	0,5842	0,5489	0,5151	0,4827	0,4519	0,4227	0,3950	0,3689
3,50	0,9867	0,9644	0,9361	0,9037	0,8685	0,8316	0,7939	0,7558	0,7180	0,6807	0,6442	0,6087	0,5744	0,5413	0,5096	0,4792	0,4502	0,4226	0,3964
3,55	0,9879	0,9677	0,9417	0,9117	0,8790	0,8446	0,8091	0,7732	0,7373	0,7017	0,6668	0,6326	0,5994	0,5672	0,5362	0,5063	0,4777	0,4504	0,4242
3,60	0,9891	0,9706	0,9468	0,9192	0,8889	0,8568	0,8236	0,7898	0,7558	0,7220	0,6886	0,6558	0,6237	0,5926	0,5624	0,5332	0,5051	0,4781	0,4522
3,65	0,9901	0,9734	0,9516	0,9261	0,8981	0,8683	0,8372	0,8055	0,7735	0,7414	0,7096	0,6782	0,6474	0,6173	0,5881	0,5596	0,5321	0,5056	0,4801
3,70	0,9911	0,9759	0,9559	0,9326	0,9067	0,8790	0,8501	0,8204	0,7902	0,7600	0,7298	0,6998	0,6704	0,6414	0,6132	0,5856	0,5588	0,5329	0,5078
3,75	0,9920	0,9782	0,9600	0,9386	0,9148	0,8891	0,8622	0,8345	0,8062	0,7776	0,7491	0,7206	0,6925	0,6648	0,6376	0,6110	0,5850	0,5598	0,5352
3,80	0,9928	0,9803	0,9637	0,9441	0,9222	0,8985	0,8736	0,8477	0,8212	0,7944	0,7675	0,7406	0,7138	0,6873	0,6613	0,6357	0,6106	0,5861	0,5622
3,85	0,9935	0,9822	0,9672	0,9493	0,9291	0,9073	0,8842	0,8602	0,8355	0,8103	0,7850	0,7596	0,7342	0,7090	0,6841	0,6596	0,6355	0,6118	0,5887
3,90	0,9942	0,9839	0,9703	0,9540	0,9355	0,9155	0,8941	0,8718	0,8488	0,8254	0,8016	0,7777	0,7537	0,7298	0,7061	0,6827	0,6596	0,6369	0,6145
3,95	0,9948	0,9856	0,9732	0,9583	0,9415	0,9230	0,9034	0,8827	0,8614	0,8395	0,8173	0,7948	0,7723	0,7497	0,7273	0,7050	0,6829	0,6611	0,6397
4,00	0,9953	0,9870	0,9758	0,9623	0,9469	0,9300	0,9120	0,8929	0,8731	0,8528	0,8321	0,8111	0,7899	0,7686	0,7474	0,7263	0,7053	0,6845	0,6640
4,05	0,9958	0,9883	0,9782	0,9660	0,9519	0,9365	0,9199	0,9024	0,8841	0,8653	0,8460	0,8264	0,8065	0,7866	0,7666	0,7466	0,7268	0,7070	0,6874
4,10	0,9963	0,9895	0,9804	0,9693	0,9566	0,9425	0,9273	0,9112	0,8943	0,8769	0,8590	0,8408	0,8223	0,8036	0,7848	0,7660	0,7472	0,7285	0,7099
4,15	0,9967	0,9906	0,9824	0,9724	0,9608	0,9480	0,9341	0,9193	0,9038	0,8878	0,8712	0,8543	0,8371	0,8196	0,8021	0,7844	0,7667	0,7491	0,7315
4,20	0,9970	0,9916	0,9842	0,9752	0,9647	0,9530	0,9404	0,9269	0,9126	0,8978	0,8826	0,8669	0,8509	0,8347	0,8183	0,8018	0,7852	0,7686	0,7520
4,25	0,9974	0,9925	0,9859	0,9777	0,9682	0,9576	0,9461	0,9338	0,9208	0,9072	0,8931	0,8787	0,8639	0,8488	0,8336	0,8182	0,8027	0,7871	0,7715
4,30	0,9976	0,9933	0,9874	0,9800	0,9715	0,9619	0,9514	0,9402	0,9283	0,9159	0,9029	0,8896	0,8760	0,8620	0,8479	0,8336	0,8191	0,8046	0,7899
4,35	0,9979	0,9941	0,9887	0,9821	0,9744	0,9657	0,9562	0,9460	0,9352	0,9238	0,9120	0,8998	0,8872	0,8744	0,8613	0,8480	0,8345	0,8210	0,8073
4,40	0,9981	0,9947	0,9899	0,9840	0,9771	0,9692	0,9607	0,9514	0,9416	0,9312	0,9204	0,9092	0,8976	0,8858	0,8737	0,8614	0,8490	0,8364	0,8237
4,45	0,9984	0,9953	0,9910	0,9857	0,9795	0,9724	0,9647	0,9563	0,9474	0,9379	0,9281	0,9178	0,9073	0,8964	0,8853	0,8740	0,8625	0,8508	0,8391
4,50	0,9985	0,9958	0,9920	0,9873	0,9817	0,9754	0,9684	0,9608	0,9527	0,9441	0,9352	0,9258	0,9162	0,9062	0,8960	0,8856	0,8750	0,8643	0,8534
4,55	0,9987	0,9963	0,9929	0,9887	0,9837	0,9780	0,9717	0,9649	0,9575	0,9498	0,9417	0,9332	0,9244	0,9153	0,9060	0,8964	0,8867	0,8768	0,8667
4,60	0,9989	0,9967	0,9937	0,9899	0,9855	0,9804	0,9747	0,9686	0,9620	0,9550	0,9476	0,9399	0,9319	0,9236	0,9151	0,9064	0,8975	0,8884	0,8791
4,65	0,9990	0,9971	0,9944	0,9911	0,9871	0,9825	0,9775	0,9719	0,9660	0,9597	0,9530	0,9460	0,9388	0,9313	0,9235	0,9155	0,9074	0,8991	0,8906
4,70	0,9991	0,9974	0,9951	0,9921	0,9885	0,9845	0,9799	0,9750	0,9696	0,9640	0,9579	0,9516	0,9451	0,9383	0,9312	0,9240	0,9165	0,9090	0,9012
4,75	0,9992	0,9977	0,9956	0,9930	0,9898	0,9862	0,9822	0,9777	0,9729	0,9678	0,9624	0,9567	0,9508	0,9446	0,9383	0,9317	0,9249	0,9180	0,9110
4,80	0,9993	0,9980	0,9962	0,9938	0,9910	0,9878	0,9842	0,9802	0,9759	0,9713	0,9665	0,9614	0,9560	0,9505	0,9447	0,9387	0,9326	0,9264	0,9199
4,85	0,9994	0,9983	0,9966	0,9945	0,9920	0,9892	0,9860	0,9824	0,9786	0,9745	0,9702	0,9656	0,9608	0,9558	0,9505	0,9452	0,9396	0,9340	0,9281
4,90	0,9995	0,9985	0,9970	0,9952	0,9930	0,9904	0,9876	0,9844	0,9810	0,9774	0,9735	0,9694	0,9650	0,9605	0,9559	0,9510	0,9460	0,9409	0,9356
4,95	0,9995	0,9987	0,9974	0,9958	0,9938	0,9916	0,9890	0,9862	0,9832	0,9799	0,9765	0,9728	0,9689	0,9649	0,9607	0,9563	0,9518	0,9472	0,9424
5,00	0,9996	0,9988	0,9977	0,9963	0,9946	0,9926	0,9903	0,9878	0,9851	0,9822	0,9791	0,9759	0,9724	0,9688	0,9650	0,9611	0,9571	0,9529	0,9486

$\begin{matrix} n \\ W \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5,00	0,9996	0,9988	0,9977	0,9963	0,9946	0,9926	0,9903	0,9878	0,9851	0,9822	0,9791	0,9759	0,9724	0,9688	0,9650	0,9611	0,9571	0,9529	0,9486
5,05	0,9996	0,9990	0,9980	0,9967	0,9952	0,9935	0,9915	0,9893	0,9869	0,9843	0,9815	0,9786	0,9756	0,9723	0,9690	0,9655	0,9618	0,9581	0,9543
5,10	0,9997	0,9991	0,9982	0,9971	0,9958	0,9942	0,9925	0,9906	0,9884	0,9861	0,9837	0,9811	0,9784	0,9755	0,9725	0,9694	0,9661	0,9628	0,9593
5,15	0,9997	0,9992	0,9985	0,9975	0,9963	0,9950	0,9934	0,9917	0,9898	0,9878	0,9856	0,9833	0,9809	0,9783	0,9757	0,9729	0,9700	0,9670	0,9639
5,20	0,9998	0,9993	0,9986	0,9978	0,9968	0,9956	0,9942	0,9927	0,9911	0,9893	0,9874	0,9853	0,9832	0,9809	0,9785	0,9760	0,9735	0,9708	0,9681
5,25	0,9998	0,9994	0,9988	0,9981	0,9972	0,9961	0,9949	0,9936	0,9922	0,9906	0,9889	0,9871	0,9852	0,9832	0,9811	0,9789	0,9766	0,9742	0,9718
5,30	0,9998	0,9995	0,9990	0,9983	0,9975	0,9966	0,9956	0,9944	0,9931	0,9917	0,9903	0,9887	0,9870	0,9852	0,9833	0,9814	0,9794	0,9773	0,9751
5,35	0,9998	0,9995	0,9991	0,9985	0,9979	0,9971	0,9961	0,9951	0,9940	0,9928	0,9915	0,9901	0,9886	0,9870	0,9854	0,9836	0,9819	0,9800	0,9781
5,40	0,9999	0,9996	0,9992	0,9987	0,9981	0,9974	0,9966	0,9957	0,9948	0,9937	0,9925	0,9913	0,9900	0,9886	0,9872	0,9856	0,9841	0,9824	0,9807
5,45	0,9999	0,9997	0,9993	0,9989	0,9984	0,9978	0,9971	0,9963	0,9954	0,9945	0,9935	0,9924	0,9912	0,9900	0,9888	0,9874	0,9860	0,9846	0,9831
5,50	0,9999	0,9997	0,9994	0,9991	0,9986	0,9981	0,9975	0,9968	0,9960	0,9952	0,9943	0,9934	0,9924	0,9913	0,9902	0,9890	0,9878	0,9865	0,9852
5,55	0,9999	0,9997	0,9995	0,9992	0,9988	0,9983	0,9978	0,9972	0,9965	0,9958	0,9951	0,9942	0,9933	0,9924	0,9914	0,9904	0,9893	0,9882	0,9870
5,60	0,9999	0,9998	0,9996	0,9993	0,9989	0,9985	0,9981	0,9976	0,9970	0,9964	0,9957	0,9950	0,9942	0,9934	0,9925	0,9916	0,9907	0,9897	0,9887
5,65	0,9999	0,9998	0,9996	0,9994	0,9991	0,9987	0,9983	0,9979	0,9974	0,9969	0,9963	0,9956	0,9950	0,9943	0,9935	0,9927	0,9919	0,9910	0,9901
5,70	0,9999	0,9998	0,9997	0,9995	0,9992	0,9989	0,9986	0,9982	0,9977	0,9973	0,9968	0,9962	0,9956	0,9950	0,9944	0,9937	0,9929	0,9922	0,9914
5,75	1,0000	0,9999	0,9997	0,9995	0,9993	0,9991	0,9988	0,9984	0,9981	0,9976	0,9972	0,9967	0,9962	0,9957	0,9951	0,9945	0,9939	0,9932	0,9925
5,80		0,9999	0,9998	0,9996	0,9994	0,9992	0,9989	0,9986	0,9983	0,9980	0,9976	0,9972	0,9967	0,9963	0,9958	0,9952	0,9947	0,9941	0,9935
5,85		0,9999	0,9998	0,9997	0,9995	0,9993	0,9991	0,9988	0,9986	0,9982	0,9979	0,9976	0,9972	0,9968	0,9963	0,9959	0,9954	0,9949	0,9944
5,90		0,9999	0,9998	0,9997	0,9996	0,9994	0,9992	0,9990	0,9988	0,9985	0,9982	0,9979	0,9976	0,9972	0,9968	0,9964	0,9960	0,9956	0,9952
5,95		0,9999	0,9998	0,9998	0,9996	0,9995	0,9993	0,9991	0,9989	0,9987	0,9985	0,9982	0,9979	0,9976	0,9973	0,9969	0,9966	0,9962	0,9958
6,00		0,9999	0,9999	0,9998	0,9997	0,9996	0,9994	0,9993	0,9991	0,9989	0,9987	0,9984	0,9982	0,9979	0,9977	0,9974	0,9971	0,9967	0,9964
6,05		0,9999	0,9999	0,9998	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9992	0,9990	0,9989	0,9987	0,9984	0,9982	0,9980	0,9977	0,9975	0,9972	0,9969
6,10		0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9996	0,9995	0,9993	0,9992	0,9990	0,9989	0,9987	0,9985	0,9983	0,9981	0,9978	0,9976	0,9973
6,15		1,0000	0,9999	0,9999	0,9998	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9990	0,9989	0,9987	0,9985	0,9983	0,9981	0,9979	0,9977
6,20			0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9990	0,9989	0,9987	0,9986	0,9984	0,9982	0,9980
6,25			0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9991	0,9989	0,9988	0,9986	0,9985	0,9983
6,30			0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9991	0,9990	0,9988	0,9987	0,9986
6,35			1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9991	0,9990	0,9989	0,9988
6,40				0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9992	0,9991	0,9990
6,45				1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9696	0,9995	0,9994	0,9994	0,9993	0,9992	0,9991
6,50					0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995	0,9995	0,9994	0,9993	0,9993
6,55					0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995	0,9995	0,9994	0,9994
6,60					1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995	0,9995
6,65						0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996	0,9995
6,70						1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996
6,75							1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9997
6,80								0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9997
6,85								1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
6,90									0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998
6,95									1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998
7,00											1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
7,05												0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
7,10												1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
7,15														1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
7,20																1,0000	1,0000	0,9999	0,9999
7,25																		1,0000	1,0000