

T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

ÇOKDEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROLUNDA
MALİYET ANALİZİ

D O K T O R A T E Z İ

Nimetullah BURNAK

ESKİŞEHİR, 1986

İ Ç İ N D E K İ L E R

Ş E K İ L L E R L İ S T E S İ.....	v
T A B L O L A R L İ S T E S İ.....	vi
S E M B O L L E R L İ S T E S İ.....	vii
G İ R İ Ş.....	1

B İ R İ N C İ B Ö L Ü M

İŞLETME YÖNETİMİNDE KALİTE KONTROLU

I.1. TEMEL KAVRAMLAR.....	5
I.1.1. İşletme ve Üretim Süreci.....	6
I.1.2. Üretimde Kalite.....	7
I.1.3. Kalite Kavramı.....	9
I.1.4. Üretim Yönetimi ve Kalite.....	11
I.1.5. Kalite Kontrolü.....	13
I.2. KALİTE KONTROLUNUN GELİŞİM SÜRECİ.....	15
I.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLU.....	22
I.3.1. Tek Boyutlu İstatistiklerin Kullanılması.....	26

I.3.1.1. <u>Değişkenlik Kontrol</u>	
<u>Grafikleri.....</u>	28
I.3.1.2. <u>Kusur ve Kusurlu Kontrol</u>	
<u>Grafikleri.....</u>	32
I.3.2. Çok Bileşenli İstatistiklerin	
Kullanımı.....	36
I.4. KALİTE KONTROLUNUN İŞLETMEYE KATKILARI	
ve YÜKÜ.....	40

İ K İ N C İ B Ö L Ü M

KALİTE KONTROLU MALİYETLERİ

II.1. KALİTE KONTROLUNDA MALİYET BİLEŞENLERİ.....	44
II.1.1. Koruma Maliyetleri.....	48
II.1.2. Ölçme ve Değerleme Maliyetleri.....	49
II.1.3. Başarısızlık Maliyetleri.....	51
II.1.3.1. <u>İçsel Başarısızlık</u>	
<u>Maliyetleri.....</u>	52
II.1.3.2. <u>Dışsal Başarısızlık</u>	
<u>Maliyetleri.....</u>	53
II.2. KALİTE KONTROL MALİYETLERİNİN MODELLENMESİ..	55
II.2.1. Modelleme Gereği.....	55
II.2.2. Temel Karar Değişkenleri.....	56
II.2.3. Amaçlar.....	60

II.2.4. Kısıtlar.....	61
II.3. KALİTE KONTROL MALİYET MODELİ İÇİN ÖNEMLİ DAĞILIMLAR.....	62
II.3.1. Çokdeğişkenli Normal Dağılım.....	63
II.3.2. T^2 İstatistiği ve Dağılımı.....	69
II.4. MONTGOMERY-KLATT MALİYET MODELİ.....	74
II.4.1. Modelin Varsayımları.....	75
II.4.2. Modelin Değişkenleri.....	76
II.4.3. Modelin Genel Yazılımı.....	77

Ü Ç Ü N C Ü B Ö L Ü M

MONTGOMERY-KLATT MODELİNİN BİR ARMATÜR İŞLETMESİNDE GENİŞLETİLEREK UYGULANMASI

III.1. ARMATÜR SANAYİİ VE ELE ALINAN İŞLETME.....	88
III.2. ÜRETİM SİSTEMİ İÇİNDE KALİTE KONTROL MALİYET ANALİZİ YAPILACAK OLAN PARÇA.....	90
III.2.1. Uygulama Yapılacak İşletmede Üretim Sistemi ve Kalite Kontrolü.....	90
III.2.2. Ele Alınan Parça	92
III.3. MONTGOMERY-KLATT MODELİNDE ÜÇ KALİTE ÖZELLİĞİ DURUMU.....	95

III.4. MODEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	98
III.4.1. Maliyet Parametreleri.....	98
III.4.2. Modelin Diğer Parametreleri.....	99
III.4.2.1. λ 'nın Belirlenmesi.....	99
III.4.2.2. q Vektörünün Belirlenmesi.....	102
III.4.2.3. f Vektörünün Belirlenmesi.....	104
III.5. MODELİN ÇÖZÜMÜ.....	109
III.5.1. Modelin Sadeleştirilmesi.....	109
III.5.2. Verilen α İçin Çözüm.....	111
III.5.3. Duyarlılık Analizleri.....	121
S O N U Ç.....	134
K A Y N A K L A R.....	139
E K L E R.....	148

Ş E K İ L L E R L İ S T E S İ

ŞEKİL I.1. İstatistiksel Kontrol Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	26
ŞEKİL II.1. Kalite Kontrolü Maliyetleri.....	47
ŞEKİL II.2. Eniyi Kalite Maliyeti Grafiği.....	54
ŞEKİL III.1. Rakorun Teknik Resimleri.....	93
ŞEKİL III.2. Bazı n Değerleri için $B[C^*]$ Maliyet Grafikleri.....	114
ŞEKİL III.3. ÇÖZÜM Programının Genel Akış Şeması..	116
ŞEKİL III.4. XT2 Programının Genel Akış Şeması....	118
ŞEKİL III.5. T^2 Kontrol Grafiği.....	119
ŞEKİL III.6. $\mu_1 = \mu_0 + \delta_1$ İçin Maliyet Parametrelerinin Değişmesinin Çözümüne Etkisi.....	126
ŞEKİL III.7. $\mu_1 = \mu_0 + \delta_2$ İçin Maliyet Parametrelerinin Değişmesinin Çözümüne Etkisi.....	127
ŞEKİL III.8. I. Grup Maliyet Parametreleri İçin δ' 'nin Değişmesinin Çözümüne Etkisi.....	129
ŞEKİL III.9. II. Grup Maliyet Parametreleri İçin δ' 'nin Değişmesinin Çözümüne Etkisi.....	133

T A B L O L A R L İ S T E S İ

TABLO III.1. Sarı Dövme Mamul Kullanımı.....	87
TABLO III.2. Kalite Özellikleri Ölçüm Değerleri.....	97
TABLO III.3. Arıza Sayısı Dağılımı.....	100
TABLO III.4. Bazı n Değerleri için K ve $B[C^*]$ Maliyetleri.....	113
TABLO III.5. Belirlenen Parametrelere Göre Modelin Çözüm Sonuçları.....	117
TABLO III.6. Maliyet Parametreleri Grupları.....	122
TABLO III.7. Kontrol Dışı Durumu $\mu_1 = \mu_0 + \delta_1$ İçin Maliyet Parametre Gruplarına Göre Çözüm Sonuçları.....	124
TABLO III.8. Kontrol Dışı Durumu $\mu_1 = \mu_0 + \delta_2$ İçin Maliyet Parametre Gruplarına Göre Çözüm Sonuçları.....	125
TABLO III.9. Maliyet Parametreleri I. Grup Sabit İken δ 'nın Değişmesine Göre Çözüm Sonuçları.....	130
TABLO III.10. Maliyet Parametreleri II. Grup Sabit İken δ 'nın Değişmesine Göre Çözüm Sonuçları.....	132

S E M B O L L E R L İ S T E S İ

- α : I.Tip Hata; anlam düzeyi.
- X : pxl boyutlu rassal vektör.
- B : Beklenen değer işlemi.
- μ : Çokdeğişkenli normal dağılımın ortalama vektörü.
- Σ : Çokdeğişkenli normal dağılımın kovaryans matrisi.
- $\bar{X}$: Örnek ortalaması.
- δ : μ_0 'dan sapma miktarı vektörü.
- n : Numuneye alınacak birim sayısı.
- p : Kalite özelliği sayısı.
- $T_{\alpha,p,n-1}^2$: T^2 -kontrol grafiğinin üst limiti.
- μ_0 : Süreç kontrol altında iken kalite özellikleri anakütlesinin ortalaması.
- μ_1 : Süreç kontrol dışı iken kalite özellikleri anakütlesinin ortalaması.
- X_i : Numunedeki i .inci birim; pxl boyutlu kalite özellikleri vektörü.
- S : Numune kovaryans matrisi, pxp boyutlu.
- γ : Sürecin herhangi bir anda μ_i , $i = 0,1$, durumunda olma olasılıkları vektörü.
- f : Süreç μ_i , $i = 0,1$ durumunda iken kusurlu ürün üretme olasılıkları vektörü.
- α : Numune alındığında sürecin μ_i , $i = 0,1$ durumunda olması olasılıkları vektörü.

- q : Sürecin μ_i , $i = 0,1$ olduğu bilindiğinde kontrol yönteminin süreci kontrol dışı göstermesi olasılıkları vektörü.
- p : k birim üretimi süresince sürecin kontrol altında veya dışında kalması olasılıkları vektörü.

G İ R İ Ő

Bir işletme ürettiği mal veya hizmetin tüketiciler tarafından devamlı olarak talep edilmesini ve aynı alanda faaliyet gösteren diğer işletmelere karşı üstün bir seviyede olmak ister. Genelde sözedilen beklentilere ulaşabilmek için işletme ürettiği mal veya hizmeti, tüketicinin ihtiyaçlarını karşılayan özellik veya özelliklere sahip olacak şekilde üretmeye çalışır. Böyle bir durumda, kalite ve kalite kontrolü işletme yönetiminin her zaman üzerinde durması gereken bir konu olarak ortaya çıkmaktadır.

Rekabet ortamındaki işletmenin kalite düzeyini olması gereken bir yere getirmesi ve onun diğer faaliyetlerle olan ilişkilerini belirlemesi amaçlarına ulaşmada atılmış önemli bir adım olacaktır. Yapılan çalışmalarda bilimsellikten uzaklaşmamak ilke edinilmeli ve kalite kontrolü ile ilgili bilim dallarından yararlanılmalıdır.

İşletmenin diğer faaliyetlerinde olduğu gibi, kalite kontrolü yaptığıında da bazı giderlerle karşılaşacağı açıktır. Bu giderlerin neler olabileceği ve nerelerden kaynaklanabileceği işletme yapısına uygun olarak belirlenebilir. Kalite kontrolü için yapılacak giderler toplamının bir matematiksel model çerçevesinde ifade edildiğinde, karar vericiye ilgili konuda bir seçenekler kümesi türetme olanağı sağlayabilir. Matematiksel modelin çözümüne bağlı olarak alınacak kararların tutarlılığı arttırılmış olur.

İşletme çevresiyle etkileşim halindedir. Çevrede meydana gelebilecek değişimlerden işletmenin de etkilenmesi kaçınılmazdır. Ayrıca işletme içinde de değişimler olabilir. Örneğin, yeni bir tezgâhın üretimde yer alması veya bazı ücretlerin yükselmesi maliyetlerin bir kısmını etkileyebilecektir. Kalite kontrolunda geliştirilen maliyet modellerinin veya varsa kısıtlarının olası değişimlere karşı duyarlı olması her açıdan önem taşımaktadır.

Ülkemiz işletmelerinin kalite kontrolü konusundaki tutum ve davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan araştırmalarda olumlu yönde kayda değer sonuçlara rastlamak çok zordur. İşletmelerin büyük çoğunluğu kalite sorunlarına gerçek anlamda eğilmemişler, yüzeysel olarak ilgilenmişlerdir. Ekonomide izlenen politikada son yıllarda yapılan değişiklikler sonucu işletmeler bu konuya gereken önemi vermeye başlamışlardır. Kamu ve özel kesimde kalite ve kalite kontrolü güncel bir konu haline gelmiş ve gerekli çalışmalar başlatılmıştır.

Kalite kontrolunda kontrol grafiklerinin kullanılması ürünün bir kalite özelliğinin dikkate alınması geniş kabul gören bir yaklaşımdır. Bu nedenle istatistiğin tek değişkeni inceleyen kesiminden geniş ölçüde yararlanılır. Fakat çoğu ürünün kalitesi birden fazla kalite özelliği ile tanımlanmakta ve böylece uygulanacak kontrol grafiğinin bu özellikleri yansıtacak biçimde olması gerekmektedir. Birden fazla kalite özelliğinin incelendiği çok-değişkenli kalite kontrolunda amaca uygun olan T^2 istatistiği ve onun için düzenlenen T^2 - kontrol grafiği kullanılmaktadır.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda yapılan çalışma üç bölümde oluşmuştur. Kalite ve kalite kontroluna ilişkin kavramlar, gelişim süreci, genel çizgileriyle bazı kontrol grafikleri ile birlikte kalite kontrolunun işletmeye olan katkıları birinci bölümde kısaca yer almıştır.

İşletmenin kalite kontrolu uygulaması durumunda katlanacağı maliyetler ikinci bölümde incelenmiştir. Bu bölümde kalite maliyetlerinin bir model çerçevesinde incelenmesinin gereği ve çalışmada uygulanacak Montgomery-Klatt maliyet modelinin tanıtımı da ikinci bölümün kapsamındadır.

Üçüncü bölümde, Montgomery-Klatt maliyet modelinin uygulaması açıklanmıştır. Uygulamanın yapıldığı işletme ve ilgili sanayi dalına ilişkin açıklamanın yanısıra modelin parametrelerinin belirlenmesi bu bölümde yapılmıştır. Ele

alınan ürünün üç kalite özelliği gözönüne alınarak geliştirilen bilgisayar programları yardımıyla modelin çözümü ve seçilen bazı parametrelere göre gerçekleştirilen duyarlılık analizleri de üçüncü bölümde verilmiştir.

Çokdeğişkenli kalite kontrolunda, Montgomery-Klatt maliyet modelinin üç kalite özelliğine uygulanması ve bağlı olarak yapılabilecek çalışmalar sonuçta tartışılmıştır.

B İ R İ N C İ B Ö L Ü M

İŞLETME YÖNETİMİNDE KALİTE KONTROLU

I.1. TEMEL KAVRAMLAR

İnsanlar varlığını sürdürebilmek için ihtiyaçlarını değişik biçimlerde karşılamaya çalışmıştır. İnsan kendisi için ürettiği malın fazlasını, kendisinde olmayan bir başka mal ile değiştirerek ihtiyacını karşılamıştır. Yapılan bu değişmelerde birey kendi malına bir değer vererek karşı taraftan da eş değerde başka bir mal istemiştir.

İhtiyaçların giderek çoğalması ekonomik faaliyetler denilebilecek değişimin boyutlarını da etkilemiştir. Zaman içinde toplumda bu işle uğraşan kişi ve kuruluşlar ortaya çıkmış ve ekonomik iş bölümü meydana gelmiştir. Toplum içinde yer alan kuruluşların her biri toplum için ekonomik mal veya hizmet üretmektedir.

I.1.1. İşletme ve Üretim Süreci

Bir ekonomik mal veya hizmet, genellikle, bir üretim süreci sonunda ortaya çıkar. Süreç, ürün veya hizmetlerin istenilen kalitelere ulaşmak amacıyla makinaların, aletlerin, yöntemlerin, malzemelerin ve görevlendirilmiş insanların oluşturdukları bir birleşimdir(1). Üretimin gerçekleştirilebilmesi için üretim elemanlarının bir araya getirilmesi gerekir. Söz konusu yer de işletme olacaktır. İşletme, "ekonomik mal veya hizmet üretmek veya ayrıca, pazarlamak için faaliyette bulunan kuruluştur" şeklinde tanımlanmaktadır(2). Bir başka tanımda ise, "belirli bir kâr getiren ve doyum sağlayan değerler yaratmak ve dağıtmak için var olan kuruluş, işletmedir(3)" denilmektedir.

İşletmenin topluma hizmet, varlığını sürdürmek ve uzun dönemde kâr etmek olmak üzere başlıca üç amacı vardır. İşletme, ürettiği mal veya hizmetlerle toplumun ihtiyaçlarını karşıladığı, ona yararlı olduğu sürece varlığını devam

-
- (1) C.A. BICKING, F.M. GRUNA, Jr., J.M. JURAN (ed.), "Process Control by Statistical Methods", Quality Control Handbook, 3. Bası, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s.23/1.
 - (2) İ. CEMALCILAR, D. BAYAR, İ.C. AŞKUN, Ş. ÖZ-ALP, İşletmecilik Bilgisi, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayını, No: 122, Ankara, 1976, s.3.
 - (3) F. NIXON, Managing to Achieve Quality and Reliability, McGraw-Hill Book Co., Londra, 1971, s.4.

ettirecektir. Yaptığı faaliyet nedeniyle katlandığı risk sonucu işletme kâr eder veya uğradığı zarara göre varlığı sona erer.

Hizmet veya mal üretmek için oluşturulmuş işletmelerin genel amaçlarını destekleyen özel amaçları da vardır. Bunlardan biri, sürekli olarak tüketicilere daha iyi kaliteli mal veya hizmet sunmaktır. İşletme bu amacını gerçekleştirdiği sürece sürekliliğini sağlar ve topluma karşı görevini yerine getirmiş olur.

I.1.2. Üretimde Kalite

İşletmenin ürettiği ürün veya hizmeti tüketiciler, erişim süresi, fiyatı, kullanıma uygunluğu ve benzeri birçok açıdan değerlendirir. Ürün veya hizmet ne tür olursa olsun, tüketici ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olduğuna göre, belirli özelliklere sahip olması gerekir. Değerlendirmeye, bir başka ifadeyle, tüketicinin amaçlarına kullanım süresinde başarılı bir biçimde hizmet verip vermediğine konu olan özellik, kullanım uygunluğudur(4). Her türde ürün veya hizmet için kullanılan bu kavram "kalite" olarak adlandırılmaktadır.

(4) J.M.JURAN, "Basic Concepts", Quality Control Handbook, 3. Bası, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s.2/2.

Kullanım uygunluğu göreceli bir kavramdır. Ürün veya hizmetin kullanıcıya yararlı olan yönlerini kalite kavramı belirler.

Bir televizyon alıcısının net görüntüsü herhangi bir kimse için kullanım uygunluğu olarak değerlendirilirken, elektronik bilgisine sahip bir kişi için kullanılan devreler önemlidir. Bir otomobil lastiğinin ömrü, bankada müşteriye gösterilen yakın ilgi ve işlemlerin çabukluğu, vb. kullanım uygunluğu olarak değerlendirilebilir. Kullanıcıya göre değiştiğinden, genel kabul gören ve bu kavramı açıklayan bir terim yoktur(5).

Kalite sözcüğü, uzun yıllar "kullanım uygunluğu" kavramını açıklamak için kullanılmıştır. Teknolojik gelişmeler nedeniyle "güvenilirlik" (reliability) kavramı ortaya çıkmış ve kalitenin geleneksel anlamı zayıflatılarak "kalite ve güvenilirlik" birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Kalite konusunda yapılan çalışmalar veya bu amaçla düzenlenen etkinlikler güvenilirlik kavramını da içeren başlıklar altında gerçekleştirilmiştir. İngiltere'de 1966-1967 yılı "Kalite ve Güvenilirlik Yılı" (Quality and Reliability Year) olarak belirlenmiş(6), yapılan etkinliklere katılan firmaların çalışmaları ürün kalitesini geliştirme yönünde olmuştur.

(5) J.M. JURAN, A.g.k., s.2/2.

(6) F. NIXON, A.g.k., s.21.

Juran'ın "kullanım uygunluğu" olarak tanımladığı kalitenin sanayide farklılıklar göstermesinin yanısıra, firma içinde de farklı anlamlar taşımaktadır. Firmanın satınalma bölümü için kalite, gelen malzemenin şartnameye uygunluğu olarak tanımlanır. Üretim bölümü için ise, kalite ürünün tasarlanan spesifikasyonlara uygunluğu veya sıfır kusurlu üretim olabilir. Pazarlama bölümü, ürüne yönelik tüketici şikayetlerinin az veya hiç olmamasını ürünün kalite göstergesi olarak değerlendirebilir.

I.1.3. Kalite Kavramı

Sanayinin yanısıra, işletme içinde de farklı anlamlar yüklenen kalite kavramının değişik tanımlarının da yapılacağı açıktır. Kalite, Latince "qualitas", nasıl oluştuğu anlamına gelen "qualis" sözcüğünden gelmektedir(7). Avrupa Kalite Kontrol Örgütü'nün (European Organization for Quality Control) yayınladığı sözlükte ve bundan yararlanılarak Türk Standardları Enstitüsü'nün hazırladığı sözlük tasarısında kalite, "bir ürünün veya hizmetin ihtiyaçları karşılama yeteneğine

(7) M. KARABAY, "Kalite ve Kalite Kontrolü Kavramları ve Tanımları için Kriterler", Kalite Kontrolü Yöneticiler Toplantısı ve Sempozyumu, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No: 177, Ankara, 1976, s.57; E. FIRATLI, Yeni Mamul Kalite Kontrolü, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No: 7, Eskişehir, 1983, s.1.

dayanan tüm özellik ve özelliklerdir"(8) şeklinde tanımlanmaktadır. A.V. Feigenbaum ise "tüketicilerin beklentilerini karşılayacak biçimde mühendislik ve üretim safhalarında belirlenen ürün özelliklerinin bileşimi, sözkonusu ürünün kalitesi olarak adlandırılır"(9) demektedir. Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odaları Birliği, Makina Mühendisleri Odası kaliteye ilişkin şu tanımı kabul etmiştir: "Kalite, bir sanayi ürününün belli bir görevi, her cins üründe başka başka olmak üzere, en az bir zaman süresince devam ettirebilmesi için sahip olması gereken özelliği veya özellikleridir"(10). Kalite kontrolü alanında ileri gelen isimlerden biri olan K. Ishikawa ise "kalite, ürünün veya hizmetin tüketiciyi tatmin etmek için sahip olduğu özelliklerdir"(11) şeklinde bir tanım yapmaktadır.

Kalite kavramının yapılan bazı tanımlarında ise kavramın ekonomik yönüne de değinilmektedir. "Tüketicilerin talebine göre ayarlanmış ve bu ürün için ödenen ile kullanım

(8) TSE, Kalite Kontrolunda Kullanılan Terimler (Tasarı), Türk Standardları Enstitüsü, 1.Bası, TS 658.562, Ankara, 1984, s.8.

(9) A.V. FEIGENBAUM, Total Quality Control, McGraw-Hill Publishing Co., Inc., New York, 1961, s.13.

(10) Ö. ERSAY, "Kalite Politikası ve Hedefleri", Kalite Kontrolu Yöneticiler Toplantısı ve Sempozyumu, MPM Yayınları, No: 177, Ankara, 1976, s.126.

(11) K. ISHIKAWA, Quality Control, Japanese Standards Association, 1-24, Akasaka-4, Minato-ku, Tokyo, 1984, s.13.

süresi arasındaki oran, bu ürünün, kalitesini verir"(12) şeklinde yapılan tanım, kalitenin ekonomik boyutunun varlığını da göstermektedir. Aynı noktayı dikkate alan bir başka kalite tanımı da "bir ürünün kalitesi, tüketici gereksinmelerini mümkün en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan mühendislik ve imalat karakteristiklerinin bileşiminden oluşur"(13) denilmektedir.

Kalitenin yapılan tanımları incelenirse tümünde ürünün veya hizmetin "tüketici ihtiyaçlarını karşılaması" özelliğinin ortak olduğu görülür. Bir başka özellik ise ürün veya hizmetin ekonomik düzeyde olması beklentisidir. İzleyen kesimlerde kalite kavramına ilişkin anlayışımız "bir ürün veya hizmetin tüketici ihtiyaçlarını ekonomik düzeyde karşılayabilmesi için tasarım ve üretim safhalarında kazandırılan özellik veya özellikler" olacaktır.

I.1.4. Üretim Yönetimi ve Kalite

İşletmeler çeşitli fonksiyonları yerine getirirler. Bir kısım fonksiyonlar tüm işletmeler için geçerli olduğu halde, diğer bir kısmı da belirli türdeki işletmeler için geçerlidir. Üretim, işletmenin bir türsel fonksiyonudur(14).

(12) M. ŞENEL, Kalite Kontrolü, Yayınlanmış Ders Notları, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1984.

(13) B. KOBU, Endüstriyel Kalite Kontrolü, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 2763, İstanbul, 1981, s.14.

(14) İ. CEMALCILAR, vd., A.g.k., s.17.

ve işletme için büyük bir öneme sahiptir. Üretim, ürün ve hizmetin yaratıldığı bir süreçtir(15). Üretim sürecinde malzeme, işgücü, makina ve sermaye belirlenen amaç doğrultusunda ürün veya hizmet üretimi için uygun yöntemlerle düzenli olarak birleştirilir. Üretilen ürün veya hizmetin kalite, fiyat, vb. yönlerden tüketicide doyum sağlaması, diğer bir deyişle, kullanım uygunluğuna sahip olması gerekir. İşletme, ürün veya hizmet üretirken kâr elde etmek amacını da sürekli canlı tutacaktır. Sözkonusu amaçlara ulaşabilmek için üretimin etkin bir şekilde örgütlenmesi ve üretim sürecinde bu etkinliği koruyacak ve arttıracak önlemlerin alınması zorunludur. Belirtilen işleri yerine getirmek bir yöntem sorunu olmaktadır ki, buna üretim yönetimi denilmektedir. Üretim yönetimi, "işletmenin elinde bulunan malzeme, makina, işgücü ve sermaye kaynaklarının belirli miktarlardaki ürünün istenilen niteliklerde (kalitede), istenilen zamanda ve olabilir en düşük maliyetle üretimini sağlayacak biçimde bir araya getirilmesidir(16)" şeklinde tanımlanmaktadır.

Tanım incelendiğinde miktar, kalite, zaman ve maliyet olmak üzere dört kavramın üretimde önemli bir yere sahip olduğu görülür. Belirtilen kavramlar çerçevesinde, üretilen

(15) E.S. BUFFA, Models for Production and Operations Management, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1963, s.14.

(16) B. KOBU, Üretim Yönetimi, (4. Baskı), İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3029, İstanbul, 1982, s.7.

ürün veya hizmetin tüketici isteklerini miktar, kalite, zaman ve fiyat açısından en iyi şekilde karşılamasını sağlamak üretim yönetiminin amaçları arasında yer almaktadır. Diğer amaçlar da stok kontrolu ve işletme kaynaklarının eniyi kullanımı olarak sıralanabilir.

I.1.5. Kalite Kontrolu

Üretim yönetimi amaçlarına ulaşabilmesi için üretim sistemine ilişkin kararlar almak durumundadır. Stok ve üretim kontrolu, üretim sisteminin bakım-onarım ve güvenilirliği, kalite kontrolu, işgücü planlaması, maliyet analizi ve araştırma-geliştirme çalışmaları alınacak kararların temelini oluşturmaktadır(17).

Kontrol, var olan bir durumu değiştirmek veya değişmesini önlemek için tasarlanmış bir davranış biçimidir(18). Bir başka deyişle, kontrol, bir konuda standartların kurulması ve bu standartların sağlanması sürecidir. Sözkonusu süreci oluşturan adımlar, kaliteye ilişkin problemlere uygulandığında aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Kontrol edilecek ürünün belirlenmesi,
- b. Ölçü biriminin seçilmesi,

(17) E.S. BUFFA, A.g.k., s.27.

(18) R.C. VAUGHN, Quality Control, Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1974, s.3.

- c. Standard değerin belirlenmesi (kalite özelliğinin belirlenmesi),
- d. Seçilen ölçü birimine göre ölçme yapabilecek cihazın sağlanması.
- e. Ölçüm yapılması,
- f. Ölçüm değeri ile standard arasındaki farkın açıklanması,
- g. Fark için karar verilmesi ve harekete geçilmesi.

Juran, yukarıdaki adımlar çerçevesinde, kalite kontrolunu, "gerçek kalite düzeyinin ölçüldüğü, standardla karşılaştırıldığı ve farklılık karşısında harekete geçildiği bir düzenleme süreci" olarak tanımlamaktadır(19). Feigenbaum ise kalite kontroluna yönelik tüm faaliyetleri "toplam kalite kontrolu" (Total Quality Control) olarak adlandırmaktadır. Toplam kalite kontrolu tanımını da, "tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak ve doyum sağlamak amacıyla işletme içindeki çeşitli bölümlerin kalitenin yaratılmasına, korunmasına ve geliştirilmesine yönelik çabaların bütünlleştirilmesini sağlayan etkili bir sistemdir" şeklinde vermektedir(20). Kalite kontrolunun yukarıdaki tanımlarını özetler yapıya sahip olması nedeniyle, "kalite kontrolu bir ürünün üretim safhasında ve kullanım alanında endüstrinin o ürün

(19) J.M. JURAN, A.g.k., s.2/11.

(20) A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.12.

için istediği kaliteyi elde etmek üzere yapılması gereken tüm işlemlerdir"(21) şeklinde de tanımlanmaktadır.

Kalite kontrolünün verilen tanımları biri diğerinden biraz daha geniş kapsamlı niteliktedir. Ürün kalitesi için belirlenen standarda üretim sürecinde uyulup uyulmadığı, sapma olması durumunda gerekli düzeltici önlemlerin alınması gerektiği ve bu işlemlerin ekonomik olarak gerçekleştirilmesi vurgulanmıştır. İzlenen kesimlerde kalite kontrolü, tüketicilerin isteklerini karşılamak amacıyla üretilen ürün veya hizmeti belirlenen kalite düzeyinde en ekonomik bir biçimde gerçekleştirmek için yapılması gereken tüm işlemlerdir, şeklinde ele alınacaktır.

I.2. KALİTE KONTROLÜNÜN GELİŞİM SÜRECİ

Kalite ve kalite kontrolü konusunda ilk çalışmaların, üretim ve bağlı olarak mal değişiminin başladığı çağlara kadar uzanması doğaldır. Batıdaki sanayi devrimi sonucu, birçok konuda olduğu gibi, kalite konusunda da önemli gelişmeler olmuştur. Birinci Dünya Savaşı'na kadar olan sürede, imalat sanayiindeki işletmelerin küçük olması ve fazla karmaşık olmaması nedeniyle, üretilen ürünün kontrolü operatörler ve ustabaşılar tarafından yerine getirilmekteydi(22).

(21) M. ŞENEL, A.g.k.

(22) A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.17.

Sanayinin ilerlemesi, işletmelerin de daha karmaşık bir yapıya sahip olmalarına neden olmuştur. Ayrıca, üretimin artması ürün kontrolünü da etkilemiştir. Benzeri birçok gelişmeler kalite kontroluna da yansımış yeni kavram ve yöntemlerin ortaya çıkmasını ve kullanılmasını gerekli kılmıştır.

İstatistik biliminin kalite kontrolunda kullanılması 1920'lerde başlamıştır. A.B.D.'de Bell Telefon Laboratuvarları'nda, bir fizikçi olan W.A. Shewhart istatistik yöntemleri kalite kontrolunda ilk kez uygulamıştır(23). Birçok kaynakta kendi adıyla da anılan kontrol grafiklerini geliştirirken istatistikten geniş ölçüde yararlanmıştır. Kalite kontrolu ve kontrol grafikleri üzerine yaptığı tüm çalışmalarını 1931 yılında "Economic Control of Quality of Manufactured Product" adlı kitabında yayınlamıştır. Aynı yıllarda yine Bell Telefon Laboratuvarları'nda çalışan H.F. Dodge ve H.G. Romig, numune alma ile kontrol işlemi üzerindeki çalışmaları sonucu kendi adlarıyla bilinen numune alma tablolarını hazırlamışlardır.

II. Dünya Savaşı'na kadar geçen sürede, kalite kontrolunda istatistik yöntemlerin uygulanması, işletmeler tarafından benimsenmesi çok yavaş olmuştur. A.B.D.'de 1942'den ilgi görmeye başlayan kalite kontrolu İngiltere dışında

(23) J.M. JURAN, A.g.k., s.23-2; F. NIXON, A.g.k., s.29; N. İŞCİL, İstatistiksel Kalite Kontrolu, Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayın No: 88, Ankara, 1975, s.59.

Avrupa ve Uzak Doğu Ülkeleri için 1950 yılına kadar önemsiz olarak kalmıştır(24). Savaşın getirdiği zorlamalar karşısında kalite kontrolu yeniden önem kazanmış ve hızla gelişmiştir. Bilimsel temellere oturtulan kalite kontrolu yöntemleri savaş sonrası daha da büyük bir ilgi görmüş ve hızla yayılmıştır. Yapılan çalışmalara paralel olarak ilgili yayınlarda da önemli artışlar kaydedilmiştir. Bir çok ülkede kalite konusunda faaliyet gösteren birlikler oluşturulmuştur. Üniversitelerde bu konularda programlar uygulanmış ve mühendislik dalı açılmıştır. Kalite kontrolunun önem kazanmaya başladığı 1920'lerde sadece birkaç kişinin sorumluluğunda görülen kalite ve kalite kontrolu, II. Dünya Savaşı'nı izleyen yıllarda işletmenin bir bölümünün görevi niteliğine kavuşmuştur. 1960 sonrası yıllarda Feigenbaum'un tanımladığı "toplam kalite kontrolu" kavramıyla işletmenin sadece bir bölümü olmaktan kurtarılmaya çalışılan kalite kontrolu tüm işletmenin sorumluluğuna bırakılmıştır. Toplam kalite kontrolu kavramı "bütünleşik kalite kontrolu" (integrated quality control) veya Japonya'daki şekliyle "işletme genelinde kalite kontrolu" (company-wide quality control-CWQC)(25) kavramıyla uygunluk kazanmıştır.

Kalite ve kalite kontrolu konusundaki çalışma ve uygulamaların gelişmiş ülkelerde çok yaygın olmasına karşın,

(24) N. İŞCİL, A.g.k., s.59.

(25) K. ISHIKAWA, A.g.k., s.4.

Ülkemiz işletmelerinde gereken önemin verildiğini söylemek olanaksızdır. Gelişmekte olan ülke sanayii uzun yıllar yüksek iç talebi karşılamaya çalışmıştır. Gümrük duvarlarının koruması . altında çalışmalarını sürdüren işletmeler, ürün veya hizmet kalitesi sorunlarını sürekli geri plana itmişlerdir.

Cumhuriyet Döneminde ıkarılan yasalar ve tüzüklerle sanayi ve tüketim malları denetlenmeye çalışılmıştır. İzleyen yıllarda ürünlere ilişkin standardlaştırma çalışmaları 1954 yılında kurulan, ancak 132 sayılı Kuruluş Kanunu 1960 yılında kabul edilen Türk Standardları Enstitüsü'ne (TSE) bırakılmıştır(26). Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'na bağlı olarak Devlet adına sosyal ve ekonomik yaşam için gerekli standartları hazırlamak, standartlara uygun ve kaliteli üretimi sağlamak TSE'nin başlıca görevleridir. Diğer ülkelerdeki ve uluslararası benzer kuruluşlarla işbirliği yapmaktadır. TSE'nin hazırladığı 4600'n üzerindeki standartlardan 750 tanesinin kullanımı zorunlu olup diğerlerinin kullanımı işge bağlıdır(27). Başbakanlık Kararnamesi'yle istenilen standart zorunlu uygulamaya konmaktadır.

(26) E. ÖZGEN, "Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın Standardizasyon, Belgelendirme ve Piyasa Denetimindeki Görevleri", Kalitenin Ulusal Ekonomiye Katkısı Konferansı, Konferans Bildirileri, Ankara, Eylül 1981, s.26.

(27) M.Y. ARIYRK, "Türk Standardları Enstitüsü'nün İşlm lkeleri ile İlgili alışmaları", Standard, Türk Standardları Enstitüsü Yayını, S.279, Nisan 1985, Ankara, s.23.

Planlı döneme geçilmesinden sonra Kalkınma Planları'nda ve yıllık programlarda imalat sanayii ürünlerinin dış pazarlarda rekabet edebilecek düzeyde olması hedeflenmesine karşın, işletmelerin hedefe ulaşma doğrultusunda hareket ettikleri söylenemez. IV. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda(28) kalite kontrolü ve eğitimi çalışmalarına sektör programları dışında da özellikle yer verilmiştir. Ürün kalitesine, standarda uygunluk türünden belgelendirme işlemlerinin TSE'nin yanı sıra, Mühendis Odaları veya Sanayi Odaları tarafından da yapılabilmesine olanak tanınmıştır.

Dış pazarlara açılmayan imalat sanayii 1975 yılı sonrasının ağır ekonomik koşulları altında çok zor durumlara düşmüştür. Yaşama uğraşı veren işletmeler bu yıllarda kalite ve kalite kontrolüne yönelik yatırımlara gerek duymamışlardır. İmalat sanayiinde faaliyet gösteren 58 işletmeyi kapsayan bir araştırma(29) sonuçlarına göre;

- a) Kalite kontrolüne yönelik amaçları belirleyen işletme politikaları belirlenmemiştir;

(28) D.P.T., IV. Beş Yıllık Kalkınma Planı 1979-1983, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Yayın No: DPT.: 1664, Ankara, Nisan-1979, s.48, 274, 280.

(29) B. KOBU, Türk İmalat Sanayiinde Kalite Kontrol Uygulamaları Üzerinde Bir Araştırma, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 2793, İstanbul, Ocak 1981, s.55-57.

- b) Kalite ve ilgili kavramlar işletmeler tarafından bilinmeyen veya çok azı tarafından bilinçsizce üzerinde durulan konulardır;
- c) Kalite kontrolü maliyetleri yeterince bilinmemektedir;
- d) İstatistiksel kalite kontrol yöntemleri çok az sayıda işletme tarafından uygulanmaktadır.

Bir başka araştırmaya göre ise, 600 işletmenin hiçbirinde bütünleşik kalite kontrolü tekniklerinin uygulanmadığı belirlenmiştir(30). Yaklaşık 200 işletmede bitmiş ürün kontrolü yapıldığı ve 40 işletmede ise kalite kontrolü amacıyla hiçbir çalışma yapılmadığı ortaya çıkmıştır.

Ülke düzeyinde kalite kontrolüne yönelik eğitim veya bilinçlendirme çalışmaları da yapılamamıştır.

1980 yılında alınan kararlarla, ekonomide izlenen politikada yeni boyutlar ortaya çıkmıştır. İşletmelere zorunlu uygulamaların yanısıra özendirici önlemler de getirilmiştir. İşletmelerde yeni politikanın etkisi nedeniyle kalite kontrolü zorunlu olarak gündeme gelmiştir. Kamu ve özel sektör kuruluşları tarafından standartlar ve kalite kontrolü

(30) A. TEZEREN, "Verimlilik-Kalite İlişkileri ve Verimlilik Artışının Dışa Açılmadaki Önemi", Verimlilik, Milli Prodüktivite Merkezi Yayını, C.13, S.1, 1984, Ankara, s.90.

konusunda özellikle yakın yıllarda ülke içinde ve uluslararası düzeyde toplantılar düzenlenmiştir. Sanayi ürünlerinin ilgili standartlara uygunluğu 1980 yılına kadar hemen hemen hiç denetlenmemiştir. 1980 yılından sonra ise ancak sembolik ölçülerde denetim uygulanabilmiştir(31). Özellikle son 7-8 yıl içindeki uygulamalar standardlaştırma ve kalite denetimi için öngörülen hedeflere ulaşamamış dolayısıyla başarı çok sınırlı kalmıştır.

Gözlemler veya rassal deneyler sonucu elde edilen verilerden göstergeler türetmek, yorumlamak için geliştirilen istatistik tekniklerin birçoğu kalite kontrolunda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kalite kontrolu faaliyetleri içindeki kararların büyük bir bölümü istatistik temele dayanır. Kaliteyle ilgili problemin belirlenmesinden sonra uygun verilerin derlenmesi gerekir. Verilerden istenen göstergeler türetilerek yapılan test sonuçlarına göre ilgili kararlar alınır. Tüm işlemler süresince İstatistik'ten geniş ölçüde yararlanılır.

İstatistiğin kalite kontrolunda sürekli yer alması "istatistik" sözcüğünün "kalite kontrolu" ile birlikte kullanılmasına neden olmuştur. Özellikle 1940 ve izleyen yıllarda istatistik yöntemlerin kalite kontrolunda kullanımı

(31) M. GÖK, "Standardlaştırma, Kalite Deneyimi ve Türkiye'deki Uygulamaları", Standard, Türk Standardları Enstitüsü Yayını, S.274, Ankara, Mart 1985, s.39.

yaygınlaşmıştır. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar "istatistiksel kalite kontrolü" (statistical quality control) vb. başlıklarda yayınlanmıştır(32). Kalite kontrolüne ilişkin yayınlarda bu dönemde büyük bir artış olmuştur. Yanısıra, işletme yöneticileri de kalite kontrolünü istatistik yöntemlerin üretim sürecine uygulanması biçiminde algılamışlardır.

1.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ

Herhangi bir bilimsel temele dayanmayan numune alma işlemi de sonuçların hatasız olmasına, yöneticinin sağlıklı kararlar almasına yeterli olmayacaktır. Alınacak numune büyüklüğü, numune alma sıklığı ve ondan çıkarılacak sonuçlar kontrol elemanına bırakıldığında yanılmanın büyümesi kaçınılmazdır. Numune almadaki hata ve kontrol elemanının yanlış tutumu ulaşılmak istenen sonuçları önemli ölçüde etkileyecektir. Elinde sağlıklı ve yeterli veri olmayan bir karar vericinin, işletmenin geleceğine yönelik sağlıklı kararlar alması beklenemez.

İstatistik yöntemleri kullanmaksızın yapılan kalite kontrolünde varılan sonuçlar, bilimsel ve gerçekçi olmaktan uzak kalacaktır. İşletmenin dışarıdan almak zorunda olduğu hammaddenin veya kendi ürettiği ürünlerin tümünü kontrol etmesi birçok yönden mümkün değildir. Kontrol yapacak nitelikli elemanlar ve uygun ölçü aletleri gereklidir. Kontrol

(32) J.M. JURAN, A.g.k. s.2/12.

süreci ve ekonomik olması işletme için önemlidir. Hammaddenin veya üretilen ürünlerin muayenesinde ürünün yapısının bozulması sözkonusu ise, tümünün muayenesi sonucunda elde birşey kalmayacaktır. Yanısıra işletmenin sermayesi de sınırsız değildir; en iyi şekilde kullanılması gerekir. Kısaca değinilen bu noktalar, işletmenin varlığını sürdürebilmesi için gözönünde bulundurulmalıdır.

İstatistiksel kalite kontrolü, TSE'nin hazırladığı sözlük taslağında "istatistik tekniklerin kullanıldığı kalite kontrolünün bir bölümüdür" şeklinde tanımlanmaktadır (33). Bir başka tanımda ise "istatistiksel kalite kontrolü, yararlı bir pazara sahip bir ürünün ekonomik olarak gerçekleştirilmesine yönelik tüm safhalarında istatistik prensiplerin ve tekniklerin uygulanmasıdır" denilmektedir(34).

Ürün kalitesi diğer bir deyişle, ürünün kullanıma uygun olabilmesi için sahip olması gereken kalite özellikleri, çeşitli etkiler nedeniyle belirli bir miktarda değişimin etkisi altındadır(35). Bir üretim sürecinde üretilen ürünlerin hiçbirisi diğerinin tam benzeri değildir. Değişim, küçük veya büyük oranda olsun, tüm üretim süreçlerinde

(33) TSE, Kalite ..., A.g.k., s.27.

(34) W.E. DEMING, "On The Use Of Theory" Industrial Quality Control, American Society for Quality Control, C.13, S.1, Milwaukee, Wisconsin, 1956, s.12.

(35) J.M. JURAN, A.g.k., s.2/12.

kaçınılmaz bir olgudur. Değişime yol açan nedenler iki türdür. Birinci türde olanlar üretim sürecinde içsel olarak vardır. Kararlı ve rassal bir yapıya sahip olduklarından bunlardan kaçınılamaz ve kontrol edilemezler. İkinci türde olanlar, diğer bir deyişle kararlı ve rassal nedenlerin dışında kalanlar tanımlanabilir ve giderilebilirler(36). Üretim sürecinde yapılan kalite kontrolunda istatistik yöntemler uygulanarak sözkonusu belirlenebilir sapmalar ortaya çıkarılır. Gerekli düzeltme çalışmaları sonucunda, spesifikasyonlardan sapmalar giderilir. Üretimi sadece süreçteki içsel ve kararlı olan rassal nedenler etkiler. Sapmaların belirlenebilir nedenleri olmaksızın işleyen bir sürece "istatistiksel kontrol durumundadır" veya kısaca "kontrol altındadır" denilir(37). Tersî durumda ise süreç kontrol dışındadır.

Bir üretim sürecinin son amacı belirlenen spesifikasyonları sağlayan, başka deyişle, kaliteli ürünler üretmektir. Amaca ulaşabilmek için sürecin kontrolu gerekir. Ürün kaliteside böylece kontrol edilmiş ve belirli bir düzeyi koruması sağlanmış olur. Kalite kontrolunda kullanılan istatistik yöntemler, yapıları gereği belirlenebilir nedenleri

(36) E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, Statistical Quality Control, McGraw-Hill International Book Co., Kogakusha, Tokyo, 1980, s.1.

(37) C.A. BICKING, vd., A.g.k., s.23/3.

açığa çıkarıcı, teşhis edici niteliktedirler. Olasılık kurallarından hareketle ürünün istenilen kalitede olup olmadığı saptarlar. Değişimin varlığının saptanması durumunda düzeltici etkileri yoktur(38).

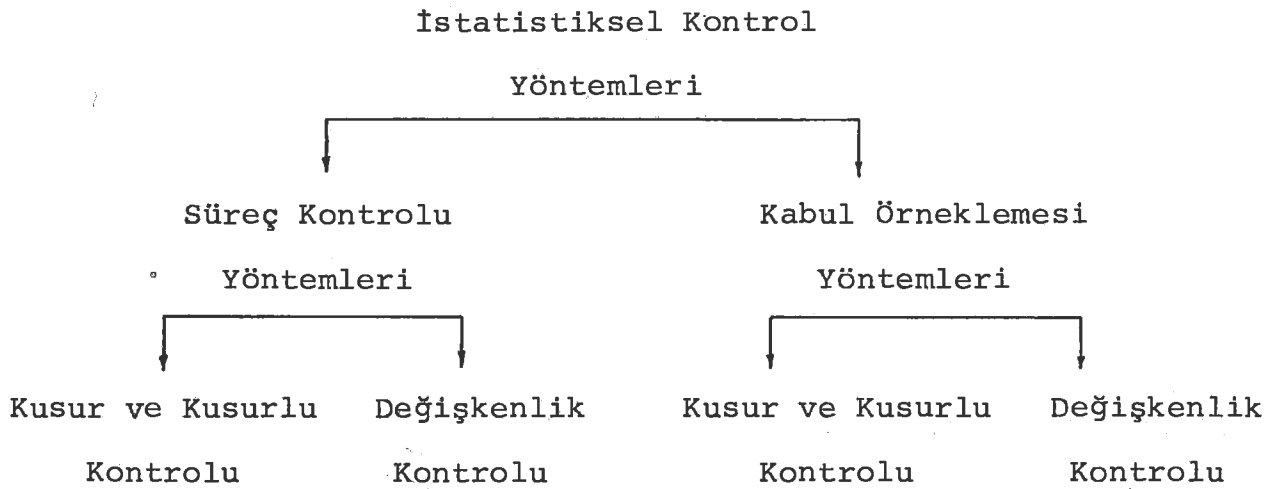
Istatistik yöntemler üretilen ürünün kalitesini kontrolde kullanıldıklarının dışında, alınan veya üretilmiş ürünlerin kabulüne ilişkin karar vermede kullanılırlar. Ürünlerin "sağlam-kusurlu" veya "geçer-geçmez" vb. gibi iki özelliğine göre sınıflandırılması gerektiğinde uygulanan kabul planlarında numune alma önem kazanır. Alınacak numunenin büyüklüğü, sıklığı ve türü istatistik yöntemlerle belirlenir. Numuneden elde edilecek göstergelere göre, ürünlerin kabul veya reddine ilişkin karar verilir.

Istatistiksel Kalite Kontrolünde kullanılan istatistik yöntemler, açıklamalar çerçevesinde ŞEKİL I.1.'de verildiği gibi sınıflandırılabilir(39).

Istatistiksel Kalite Kontrolünde kontrol altında olup olmadığı incelenen kalite özelliğinin, açık ifadeyle değişken veya kusurun, boyutu uygulanacak yöntem açısından önemlidir. Eğer kalite birden fazla kalite özelliğinin aynı anda

(38) L.L. CHAO, Statistics for Management, Brooks/Cole Publishing Co., Monterey, California, 1980, s.604.

(39) R.G. SCHROEDER, Operations Management, McGraw-Hill Book Co., New York, 1981, s.542; E.S. BUFFA, A.g.k., s.427.



ŞEKİL I.1. İstatistiksel Kontrol Yöntemlerinin Sınıflandırılması

kontrol altında olmasına bağlı ise, kontrol edilecek değişken veya kusur çok bileşenli (boyutlu) bir yapıya sahip olacaktır. Kalitenin bir kalite özelliği tarafından belirlenmesi durumunda değişken veya kusur tek bileşenli olacaktır.

I.3.1. Tek Boyutlu İstatistiklerin Kullanılması

İşletme yönetimi işletmeye yönelik bir karar alma durumunda iken, ilgilenilen olaya ilişkin olabildiğince fazla bilgi ve göstergeye sahip olmak ister. İlgilenilen olayın bütününe ilişkin davranış göstergeleri "parametre" olarak adlandırılmaktadır(40). Birçok durumda ilgilenilen olayın

(40) İ. KARA, Olasılık, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1983, s.136.

tümünü gözlemek, incelemek değişik nedenlerden ötürü mümkün değildir. İlgilenilen olay veya topluluk anakütle olarak adlandırılırsa, anakütleden oluşturulan altkümelere örnek, yapılan işleme de örnekleme denilmektedir(41). Örnekteki birimlerden, anakütle parametrelerine bağlı olmaksızın türetilen ve birimleri temsil edebilen sayısal değerler de istatistik (42) olarak adlandırılır.

Kalite kontrolu açısından olaya bakılırsa, satın alınan hammadde, bir üretim süreci sonunda elde edilen ve tüketiciye sunulan ürünler birer anakütle niteliğindedir. Hammadde veya ürün için önceden belirlenen spesifikasyonlar da anakütle parametreleriyle eşdeğerdedir. Üretilen ürünlerin oluşturacağı anakütleye bir anda erişilemeyeceğine göre, üretim anında belirli kurallar çerçevesinde numuneler almak gerekir. Numunelerden türetilen sayısal değerler istatistiklerden ürünün istenilen spesifikasyonlara uyup uymadığı belirlenir.

Kalite kontrolunda yaygın bir uygulama alanına sahip olan kontrol grafiklerinde kullanılan ve kalite özelliğini gösteren istatistikler genelde tek boyutludur. İncelenen kalite özelliği bir değişken veya kusur olabilir. Kontrol grafiği, "süreç performans verilerinin önceden belirlenmiş

(41) İ. KARA, A.g.k., s.370.

(42) L.L.LAPİN, Statistics for Modern Business Decisions,
Harcourt Brace Jovanovich, Inc., New York, 1973, s.204.

ve kontrol limitleri olarak çizilmiş değerlerle karşılaştırılmasını sağlayan grafikler", şeklinde tanımlanmaktadır(43). Süreç performans verileri, üretim sürecinden belirli bir kurala göre alınmış ölçüler veya bunlardan türetilen göstergeler kümesidir. Kontrol grafiğinin biraz daha ayrıntılı tanımı ise "ürünün gerçek kalite özelliklerinin aynı konuda önceki deneyimlerden hareketle saptanmış limitlerle kronolojik sırada karşılaştırmaya yarayan grafikler", şeklindedir(44).

Ayrıntılı özelliklerine girilmeksizin tek boyutlu istatistiklerin kullanıldığı kontrol grafikleri aşağıda verilmiştir.

I.3.1.1. Değişkenlik Kontrol Grafikleri

Ürünün kalite özellikleri, üretim sürecinin yapısındaki içsel şans nedenlerinin etkisi altında değişme gösterirler. Bu değişkenliğin oluşması kaçınılmazdır. Bir üründe ölçülen kalite özelliğinin değeri izleyen üründe farklı olacaktır. İçsel şans nedenlerinden oluşan değişimin belirli değerler arasında olması beklenir. Dışında olması durumunda, üretim sürecinin dışsal bir etkinin altında olduğu ortaya çıkar. Söz konusu etki belirlenebilir ve düzeltici önlemlerle giderilebilir.

(43) C.A. BICKING, vd., A.g.k., 23/2.

(44) A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.250.

Değişkenliğin izlenmesi için kullanılan kontrol grafiklerinin temel amacı sözedilen dışsal etkinin varlığının belirlenmesidir. Kontrol grafiklerinin bu amaç için kullanılmalarında iki durumla karşılaşılır(45):

- a) Ürünün kalite özelliğine ilişkin standartlar verilmediğinde sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi;
- b) Ürünün kalite özelliğine ilişkin standartlar verildiğinde sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi.

Her iki durum için de düzenlenen kontrol grafikleri birbirinin benzeridir. Sadece kontrol limitlerinin hesaplanmasında bazı farklılıklar vardır.

Değişkenliğin kontrolunda yaygın olarak kullanılan grafikler Ortalama, Değişim Aralığı, Standart Sapma, Değişim Katsayısı kontrol grafikleri olmak üzere başlıca dört türdedir(46).

- a) Ortalama ($\bar{X}$) Kontrol Grafiği: Üretilen ürünlerin ölçülebilen kalite özelliklerinin, X_i , merkezi eğilim

(45) E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, A.g.k., s.4; C.A. BICKING, vd., A.g.k., s.23/3.

(46) Ayrıntılı bilgi için bkz: A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.248-278; E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, A.g.k., s.75-145; C.A. BICKING, vd., A.g.k., 23/1-23/34; N. İŞÇİL, A.g.k., s.68-82; M. ŞENEL, A.g.k.

ölçüsü $\bar{X}$ daki değişimin saptanması için kullanılır. Üretim anında belirli bir kurala göre alınan n birimlik m numunede kaliteyi belirleyen özellik ölçülür. Numune temelinde, ölçümlerin aritmetik ortalaması alınır ve kontrol grafiği üzerinde işaretlenir. İlgili kalite özelliğine ilişkin standartlardan veya olmadığında numune ortalamaları kullanılarak kontrol limitleri hesaplanır. Numune ortalamalarının kontrol limitleri arasında olup olmadığı belirlenir. Aritmetik ortalamanın değişimlere karşı daha duyarlı olması nedeniyle $\bar{X}$ - kontrol grafiği geniş bir uygulama alanına sahiptir.

b) Değişim Aralığı (R) Kontrol Grafiği: Numuneler arasında birimlerin değişim aralıklarının izlenmesinde kullanılan bir kontrol grafiğidir. Her numune için $R_j = \max(X_1) - \min(X_1)$, $j = 1, 2, \dots, m$, olmak üzere bulunan değişim aralıklarından hareketle grafiğin kontrol limitleri hesaplanır. R_j değerlerinin dağılımı incelenir. Hesaplama işlemlerinin kolaylığı nedeniyle ve numunedeki birim sayısı az, $n \leq 10$, olduğunda $\bar{X}$ -kontrol grafiği ile birlikte kullanılır. Böyle durumda $\bar{X}$ - kontrol grafiğine ilişkin kontrol limitlerinin hesabında değişim aralıklarının ortalamasından, $\bar{R}$, yararlanılır.

c) Standard Sapma (σ) Kontrol Grafiği: Numune standard sapmalarının kontrolunda kullanılan grafiktir. Ürün kalitesini belirleyen özelliği ortalama değerden sapmalarının dağılımının izlenmesinde R - kontrol grafiğine göre daha duyarlıdır. $\bar{X}$ - kontrol grafiği ile birlikte kullanılır.

$\bar{X}$ - kontrol grafiğinin kontrol limitleri de, standard sapmaların ortalamasından, $\bar{\sigma}$, hareketle belirlenir.

d) Değişim Katsayısı (v) Kontrol Grafiği: Standart sapmanın aritmetik ortalamaya bölünmesiyle elde edilen değişim katsayısı v için düzenlenen grafiktir. Özellikle tekstil sanayiinde üretilen ipliklerin belirli bir biriminin ağırlık, mukavemet vb. özelliklerinin kontrolunda kullanılır(47).

Değişkenlik kontrolunda kullanılan diğer iki grafiğe de aşağıda kısaca değinilmiştir.

e) Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği (Control Charts For Moving Averages): Sürekli üretim süreçlerinde, hammadedeki ve süreçteki ürünün aynı kalite özelliği için $\bar{X}$ - kontrol grafiği yerine düzenlenen kontrol grafiğidir. Kontrol limitlerinin belirlenmesi $\bar{X}$ - kontrol grafiğine benzermesine karşın $\bar{X}$ yerine hareketli ortalamalar alınır. Hareketli değişim aralıklarına göre düzenlenen R - kontrol grafiği ile desteklendiğinde sürecin değişimleri de izlenebilir. Özellikle sürekli üretimin yer aldığı kimyasal süreçler için uygundur.

(47) M. ŞENEL, A.g.k.; D.J. COWDEN, Statistical Methods in Quality Control, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1957, s.249.

f) Regresyon Kontrol Grafiği (Regression Control Charts): Üretim sürecinde yer alan birçok işlemde kullanılan aletlerin aşınması kaçınılmazdır. İşlenen parçalarda alet aşınması nedeniyle belirli yönde boyutsal değişimler gözlenir. Alınan numune ortalamaları da bağlı olarak artan veya azalan bir seyir izler. Böyle bir işlemde ortalamalar için regresyon kontrol grafiği düzenlenir. Belirlenen spesifikasyonlar aşılmadan önce uyarı notkaları saptanır ve buralarda süreç gözden geçirilir.

I.3.1.2. Kusur ve Kusurlu Kontrol Grafikleri

Ürün kalitesi bazı durumlarda ölçülebilir nitelikteki bir kalite özelliği tarafından belirlenmez. Kalite özelliklerinin kusur olarak gözlendiği durumlar da söz konusudur. Diğer bir ifadeyle, muayene edilen ürün birimi spesifikasyonlara uyup uymadığına göre sınıflandırılır. İlgilenilen kalite özelliğini taşıyan veya taşımayan ürün sayıları veya oranları için düzenlenen grafiklere "kusur ve kusurlu kontrol grafikleri" (control charts for attributes) (48) denilmektedir.

Muayene (inspection), kalite özelliklerinin belirlenen standartlara göre değerlendirmesi işlemidir (49). Muayene

(48) E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, A.g.k., s.221-222; A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.279; C.A. BICKING, vd., A.g.k., s.23/17.

(49) J.M. JURAN, H.M. COOK, Jr., "Inspection and Test", Quality Control Handbook, Mc Graw-Hill Book Co., New

edilen ürün birim spesifikasyonlara uyup uymamasına göre sınıflandırılırken kusur ve kusurlu kavramlarını dikkate almak gerekir. Ürün birimi bir veya daha fazla spesifikasyona uymuyorsa "kusurlu" olarak adlandırılır. Sağlanmayan her bir spesifikasyon ise "kusur" olarak nitelenir(50). Kusur ve kusurlu kontrol grafikleri, bu iki kavramı gözönüne alarak da düzenlenir.

Kusur ve kusurlu kontrol grafikleri, uygulandıkları kalite özelliklerine göre dört başlık altında incelenebilir(51).

a) Kusurlu Oranı (p) Kontrol Grafiği: Kusurlu ürün sayısının toplam ürün sayısına oranından elde edilen kusurlu oranının, p_i , kontrolunda kullanılır. Ayrıca ölçülebilen, değişkenlik gösteren kalite özelliklerinin geçer-geçmez mas-tarları ile kontrolu yapıldığında da kusurlu oranı kontrol grafiği kullanılabilir. Grafik üzerindeki kontrol limitleri önceden belirlenmiş değerlere göre veya alınan numunelerden hesaplanan p_i kusurlu oranları yardımıyla belirlenir. Numüne

(50) E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, A.g.k., s.255; A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.279; F. AKÜN, İstatistik ve Kalite Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Üniversitesi, Kütüphane Sayı: 923, İstanbul, 1973, s.115.

(51) Ayrıntılı bilgi için bkz.; E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, A.g.k., s.222-272; C.A. BICKING, vd., A.g.k., s.23/19-23/44; N. İŞÇİL, A.g.k., s.82-96.

kusurlu oranları, kontrol limitlerine göre izlenir. Numune-deki birim sayısının 50'den büyük veya birim sayısı ile p_1 kusurlu oranları ortalaması çarpımının 4 veya daha fazla olması gerekir. Grafiğin uygulanmasında belirtilen noktaların dikkate alınması, sonuçların sağlıklı olması açısından yararlı olur.

b) Kusurlu Sayısı (np) Kontrol Grafiği: Kusurlu birim sayılarının kontrolü amacıyla kullanılan grafikdir. Numune-deki birim sayıları eşit olduğunda p - kontrol grafiği yerine de kullanılabilir. Grafiğin kontrol limitleri, önceden belirlenmiş değerler yoksa, numunelerdeki birim sayıları, n_1 ve numune kusurlu oranları p_1 , birlikte kullanılarak hesaplanır.

c) Kusur Sayısı (c) Kontrol Grafiği: Numunedeki birimlerin muayenesi sonucu belirlenen toplam kusur sayısının, c_1 , kontrolü amacıyla kullanılan grafikdir. Uygulamasında, numunedeki birim sayılarının eşit olmasına dikkat edilmesi gerekir. Numune birimlerinin taşıdığı kusur sayısı, c_1 , değerleri yardımıyla veya önceden belirlenmiş değerlerden hareketle, grafiğin kontrol limitleri hesaplanır.

d) Birim Başına Kusur Sayısı (u) Kontrol Grafiği: Numunedeki bir birime düşen kusur sayısının, u_1 , kontrolünde kullanılan grafikdir. Ürünün taşıdığı kusur sayısına göre derecelenmesinde yararlı sonuçlar verir. Ayrıca numuneden numuneye kusurun oluşacağı alanın değişmesi sözkonusu olduğunda c - kontrol grafiğinin yerini alır. Önceden belirlenmiş

bir birime düşmesi beklenen kusur sayısına, $\bar{u}'$ göre veya numunedeki birimler için hesaplanmış birime düşen ortalama kusur sayısı, $\bar{u}$, kullanılarak grafiğin kontrol limitleri hesaplanır.

Kalite kontrolunda, kısaca değinilen değişkenlik kontrol grafikleri dışında birkaç grafik daha vardır(52). Bazılarının kullanımı çok yaygın olmayan bu kontrol grafiklerinden biri gözlem birimleri için düzenlenen kontrol grafiğidir. Spesifikasyon limitlerinin çok iyi belirtildiği bu kontrol grafiğindeki numunedeki birim değerleri hiçbir işlem yapılmaksızın grafik üzerine işaretlenir. $\bar{X}$ - kontrol grafiğinin anlaşılamadığı durumlarda kullanılabilen bir grafikdir. Çok duyarlı olmadığından süreç sapmalarını izleyebilmek amacıyla R - kontrol grafiğiyle desteklenir.

Gözlem birimleri için düzenlenen kontrol grafiği, alınan numunelerin merkezi eğilimine ilişkin bilgi vermez. $\bar{X}$ yerine numunelerin medyanı belirlenip grafik üzerine işaretlenirse, merkezi eğilimin davranışı izlenebilir. Belirtilen şekilde düzenlenen kontrol grafiği medyan kontrol grafiği olarak adlandırılır. Eğer sözedilen her iki grafik birleştirilerek kullanılırsa gözlem birimlerinin spesifikasyonlara, medyanın da karşı gelen kontrol limitlerine göre incelenmeleri sağlanır.

(52) E.L. GRANT, R.S. LEAVENWORTH, A.g.k., s.286-302;
C.A. BICKING, vd., A.g.k., s.30-34.

Ürün kalitesi aralarında ilişki olan birden fazla kalite özelliği ile belirlendiğinde alışıl gelmiş tek değişkene göre düzenlenen kontrol grafiklerini kullanmak olanaksızdır. Çokdeğişkeni ele alan bir kontrol grafiği kullanmak gerekir. Kısaca değinilen bu noktaları dikkate alan grafik, olaya uygun olan T^2 - istatistiği için düzenlenen T^2 - kontrol grafiğidir.

I.3.2. Çok Bileşenli İstatistiklerin Kullanılması

Üretim süreci, tasarımda belirlenen ürün kalite özelliklerine uygun olarak ürünün meydana getirilmeye çalışıldığı safhadır. Süreçteki işlem noktalarında ürün için belirlenen spesifikasyonlara yeterince özen gösterilmezse amaçlanan kaliteye ulaşılamayacağı açıktır. Üretim sürecinde kullanılan kalite kontrol yöntemleri genellikle ürünün bir kalite özelliğini dikkate alır. Özellikle değişken kalite özelliklerinin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi amacıyla birlikte kullanılan ortalama-değişim aralığı veya ortalama-standard sapma kontrol grafikleri, ürünün bir kalite özelliğine göre düzenlenir(53). Söz konusu grafiklerin

(53) J.E. JACKSON, "Quality Control Methods for Two Related Variables", Industrial Quality Control, American Society for Quality Control, Milwaukee, Wisconsin, Ocak 1956, s.41; D.C. MONTGOMERY P.J. KLATT, "Minimum Cost Multivariate Quality Control Tests", AIIE Transactions, C.4, S.2, Haziran 1972, s.103.

ekonomik olarak uygulanmasına ilişkin çalışmalarda(54), ürün kalitesinin sadece bir kalite özelliğinden oluştuğu varsayılır. Öte yandan sanayi ürünlerinin çoğu birden fazla kalite özelliği ile tanımlanır ve bunların bileşik etkisi ürün kalitesini belirler(55).

Eğer bir ürünün kalitesi ölçülebilir iki kalite özelliği tarafından belirleniyorsa kontrol için yapılan ölçümlerden x ve y gibi iki sayı elde edilir. Herbiri için, örneğin, $\bar{X}$ - kontrol grafiği düzenlenir ve uygulanırsa kontrol altında olarak görünebilirler. Süreç gerçekten kontrol dışı olduğu birçok zamanda da her iki değişken kontrol altında olarak görünebilir(56). Belirtilen durumda ortaya çelişki çıkar.

Birbiriyle ilişkili değişkenlerin ayrı ayrı kontrol grafikleri ile kontrol edilmeleri, yukarıdaki çelişkili duruma ek olarak hatalı olasılıklara da yol açmaktadır. Örneğin, bir motor blokunda kullanılacak silindir gömleğinin iç ve dış çapları sırasıyla X ve Y olsun. Ayrıca X ve Y birlikte ürün kalitesini belirlesinler. Her iki çapın varyansları eşit ve ortalama çaplar $\pm 3\sigma$ limitlerinde $\bar{X}$ - kontrol

(54) H.A. KNAPPENBERGER, A.H.E. GRANDAGE, "Minimum Cost Quality Control Tests", AIIE Transactions, C.1, S.1, Mart 1959, s.24.

(55) J.E. JACKSON, "Quality Control Methods for Several Related Variables", Technometrics, C.1, S.4, Kasım 1959, s.359; D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.103.

(56) J.E. JACKSON, "Quality Two", A.g.k., s.4.

grafiği ile kontrol edilsinler. Eğer numune ortalamaları $\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ karşı gelen kontrol limitleri arasında ise üretim süreci, bir başka deyişle, ürün kalitesi kontrol altında olarak kabul edilecektir. Kalite kontrol altında iken, $\bar{X}$ veya $\bar{Y}$ nın kontrol limitleri dışına çıkması olasılıkları eşit ve 0,002, açık ifadeyle,

$$P(I. Tip Hata/\mu_x) = P(I. Tip Hata/\mu_y) = 0,002$$

olsun. Her iki ortalamanın kontrol dışına çıkması olasılığı, bağımsız kabul edildiklerinden,

$$P(I. Tip Hata/\mu_x, \mu_y) = (0,002) (0,002) = 4 \cdot 10^{-6}$$

olacaktır ki 0,002 den çok farklıdır. Ayrıca, her ikisinin de kontrol altında olma olasılıkları da $(1 - \alpha) (1 - \alpha) = (0,998) (0,998) = 0,9960$ olur. Görülüyor ki her iki çapı ayrı ayrı $\bar{X}$ - kontrol grafikleri ile kontrol etmek, kontrol yönteminde önemli aksaklıklara neden olmaktadır.

Ürün kalitesini belirleyen kalite özelliklerinin sayısı arttıkça, kontrol sistemindeki aksaklıkların da artacağı açıktır. Eğer p tane istatistiksel kalite özelliğiyle ilgilenilir ve her birine $P(I. Tip Hata/\mu_x) = \alpha$ olan $\bar{X}$ kontrol grafiği uygulanırsa

$$P\left(\begin{array}{l} p \text{ kalite özelliğinin} \\ \text{kontrol limitleri} \\ \text{arasında olması} \end{array} \middle/ \begin{array}{l} p \text{ kalite özel-} \\ \text{liği kontrol} \\ \text{altında} \end{array}\right) = \prod_{i=1}^p (1-\alpha) = (1-\alpha)^p$$

olur. Böyle bir test için gerçek I. Tip Hata olasılığı(57)

$$P(\text{I. Tip Hata}) = 1 - (1 - \alpha)^P$$

olacaktır.

Kalitesiyle ilgilenilen ürün, p tane kalite özelliğine sahip ve istatistiksel olarak bağımsız değilseler, aralarındaki ilişkileri de dikkate alan bir kontrol yöntemiyle kontrol edilmesi gerekir. Kalite özellikleri arasındaki ilişkileri içeren çok değişkenli kalite kontrolü yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılanı T^2 - Kontrol Grafiği yöntemidir(58). p -kalite özelliğinin oluşturduğu uzayı tek boyutlu uzaya indirgemesi nedeniyle, Hotelling'in geliştirdiği T^2 istatistiği çokdeğişkenli kalite kontrolü için uygun bir istatistik olmaktadır.

İncelenen ürünün kalitesi iki kalite özelliği tarafından belirleniyorsa, her ikisinin de kontrol altında olmasını sağlayan kontrol alanı bir elips olmaktadır(59). İşlemlerindeki basitlik nedeniyle, T^2 - kontrol grafiğine göre uygulanması ve anlaşılması daha kolaydır. Ayrıca her iki uygulama ile de aynı sonuca ulaşılmaktadır.

(57) D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.104.

(58) D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.104.

(59) J.E. JACKSON, "Quality ... Two ...", A.g.k., s.4-5.

Ürün kalitesinin bir tek kalite özelliği tarafından belirlendiği görüşü günümüzde de değerini korumaktadır. İki veya daha fazla birbiriyle ilişkili kalite özelliklerinin ürün kalitesini belirlediği görüşü W.A. Shewhart tarafından ortaya konmuştur. Belirtilen görüş çerçevesinde H. Hotelling, bu problemleri ayrıntılı olarak inceleyen çalışmalar yapmıştır(60). İzleyen yıllarda aralıklı olarak, bazı araştırmacılar aynı konuda çalışmalar yapmışlardır.

Ürün kalitesini belirleyen kalite özelliklerinin çok değişkenli normal dağılım gösterdikleri varsayılmaktadır. Normallik varsayımı geniş bir biçimde henüz incelenmemiştir. Başka olasılık modellerini içeren çok değişkenli kontrol yöntemleri geliştirme, normal dağılım dışında çok değişkenli dağılımlara ilişkin bilgilerin az oluşu nedeniyle doğrudan yapılamamaktadır(61).

I.4. KALİTE KONTROLUNUN İŞLETMEYE KATKILARI VE YÜKÜ

Büyüklikleri dikkate alınmaksızın tüm işletmelerde değişik derecelerde kalite kontrolü yapılmaktadır. Uygulanan yöntemler bilimsel bir temele dayandırılmamış olabilir. Amaç

(60) H. HOTELLING, "The Generalization of Student's Ratio", Annals of Mathematical Statistics, C.2, 1931, s.360-378.

(61) R.G. HEIKES, D.C. MONTGOMERY, J.Y.H. YEUNG, "Alternative Process Models in the Economic Design of T^2 Control Charts", AIIE Transactions, C.6, S.1, Mart 1974, s.56.

tüketiciye mal veya hizmet üreterek onun ihtiyaçlarını karşılamak olduğuna göre kontrol kaçınılmaz olmaktadır.

Serbest ticarete dayalı ekonomilerde olduğu kadar, merkezi planlama tarafından yönlendirilen ekonomik sistemlerde de tüketici, ihtiyacını karşılayacak ürün veya hizmeti arar(62). Tüketici, satın aldığı ürünün belirli bir süre için amacına uygun olarak kendisinden beklenilene yerine getirmesini ister. İşletme, tüketicinin bu davranışlarını dikkate alarak üretimini sürdürmek durumundadır. Seçim konusunda kalite de önemli bir yere sahip olduğundan işletme bu noktaya da eğilmek zorundadır. Kaliteye yeterince önem verilmemesi işletmenin pazar kaybetmesine ve sonuçta varlığının tehlikeye girmesine neden olacaktır.

İşletmelerde, değişik türlerde kararlar almak sürekli gündeme gelir. Yeni bir üretim yönteminin deneme uygulamaları, hassasiyetini kaybetmeye başlamış makina ve aletlerin yenileme programlarının hazırlanması, işletmeye yeni eleman alınması, vb. faaliyetler karar almayı gerektirir. Kararlar ilgili konuda türetilen bir dizi seçenek arasında seçim yapmayı gerektirir. Kâr amacıyla çalışan işletmelerde, seçenekler arasında seçimin temelini her seçeneğin maliyetler ve işletme gelirleri üzerindeki beklenen etkisi oluşturur.

(62) W. MASING, "Kalite Yönetiminin Boyutları ve Geleceği", Kalitenin Ulusal Ekonomiye Katkısı Konferansı, Konferans Bildirileri, Ankara, Eylül 1981, s.9.

Kalite kontrolu, genelde etkileri kısa dönemde görülmeyen bir işletme faaliyetidir. Kalite veya kalite kontroluna yönelik alınacak kararlar işletmenin geleceğini etkileyecek niteliktedir. Kararların yaratacağı etkiler aşağıdaki şekilde sıralanabilir(63):

- a. Ürünlerin kalite düzeyleri gelişir. Kusurlu ürünler azalır.
- b. Ürün güvenilirliği artar.
- c. Maliyetler azalır.
- d. Malzeme tasarrufu sağlanır.
- e. Üretim miktarı artar ve daha akılcı üretim çizelgelemesi yapılabilir.
- f. Yeniden işleme ve iş kaybının önlenmesiyle, iş gücünden tasarruf ve etkin kullanımı sağlanır.
- g. Yeni teknik ve yöntemler bulunur ve varolanlar geliştirilir.
- h. Üretici ve tüketici arasındaki sözleşmelerde açıklık sağlanır.
- i. Sahip olunan pazar genişletilir.
- j. İşletmenin bölümleri arasında daha iyi ilişkiler kurulur.

(63) K. ISHIKAWA, A.g.k., s.12; F. NIXON, A.g.k., s.23-24.

- k. İnsan ilişkileri geliştirilir ve çalışanların morali yükselir.
- l. Kurulan bilgi sistemiyle hatalı veri ve raporlar azaltılır.
- m. Bakım-onarım, gerektiğinde ek cihaz ve donanımın alınması ve yerleştirilmesi daha akılcı bir biçimde yapılır.
- n. Ürünlerin güvenilirliğinin artması ve yeni değeri nedeniyle işletmenin büyümesi ve rekabet gücünün sürekliliği sağlanır.

İşletmede kalite kontroluna yönelik kararlar uygulanırken bazı harcamaların yapılması kaçınılmazdır. Etkili bir ölçme, değerlendirme ve muhasebe sistemi ile yapılan harcamaların hangilerinin kalite kontroluna ait olduğunun belirlenmesi gerekir. Harcama kayıtlarının düzenli tutulmaması yapılan çalışmaların değerlendirilmesini zorlaştıracaktır. Ortaya çıkabilecek sorunların enaza indirgenmesi amacıyla kalite kontrolu maliyet bileşenlerinin dikkatli bir tanımı ve sınıflandırması yapılmalıdır. Böylece kalite kontrolunun maliyeti duyarlı bir şekilde hesaplanabilecek, karar vericiler de, kalite kontrolu yapmakla katlandığı külfeti ve beklediği faydayı karşılaştırabilecektir. Belirtilen bakış açısından hareketle izleyen bölümde kalite kontrolu maliyetleri ele alınmıştır.

İ K İ N C İ B Ö L Ü M

KALİTE KONTROLU MALİYETLERİ

II.1. KALİTE KONTROLUNDA MALİYET BİLEŞENLERİ

İşletmelerin sahip oldukları pazar, ürettikleri ürün veya hizmete karşı tüketicilerin talebi ile belirlenir. Tüketicisi ürün veya hizmeti satın alırken ödeyeceği paraya karşılık birçok beklentiler içindedir. Ürün veya hizmetin fiyatı ile pazardaki benzer rakiplerinin fiyatları, diğer bir deyişle ekonomik yönü, en az belirli bir süre için yerine getirmesi beklenen fonksiyonu talebi etkileyen önemli etkenler arasındadır. Ürün veya hizmetin maliyeti de onun ekonomik yönünü etkiler. Kalite kontrolünün yaratacağı maliyetler belirlenip enküçüklenmeye çalışılırsa, ürün veya hizmetin ekonomik yönüne önemli katkılar sağlanmış olur. Yapılan kısa açıklama çerçevesinde kalite kontrolunda oluşan maliyetlerin belirlenmesi gerekir.

Yaptıkları her faaliyet sonucu işletmelerin karşılaştıkları sorunlardan biri de, ürettikleri ürün veya hizmetin ekonomik yönünde etkili olan maliyetlerin belirlenmesidir. Kalite kontrolü de bir işletme faaliyeti olduğundan katlanılması gereken bir maliyet yaratacaktır. Genelde "kalite ekonomisi" (economics of quality) (64) veya "kalite maliyetleri" (quality costs) (65) başlıkları altında incelenen kalite kontrol maliyetleri (KKM) konusundaki çalışmalar 1950 yılları öncesine kadar uzanır. Belirtilen dönemde KKM, sadece muayene nedeniyle oluşan maliyetleri kapsamaktadır. Kalite kontrolü ile ilgili diğer maliyetler ise başka maliyet kalemleri içinde yer almıştır.

1950'yi izleyen yıllarda kalite kontrolüne yönelik programlara para unsuru katılmıştır. Bu yeni yaklaşımı Juran, "toplam kaçınılabılır kalite maliyetleri" (total avoidable quality costs) olarak tanımlanan "maden ocağındaki altın" (gold in the mine) kavramı ile açıklamıştır (66).

(64) B.L. HANSEN, Quality Control: Theory and Applications, Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi, 1966, s.377; A.G. ROBERTSON, Quality Control and Reliability, Thomas Nelson and Sons, Ltd., Londra 1971, s.30.

(65) A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.83; B.KOBU, A.g.k., s.389; D.M. LUNDVALL, J.M. JURAN, "Quality Costs", Quality Control Handbook, 3. Bası, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s.5/1.

(66) D.M. LUNDVALL, J.M. JURAN, A.g.k., s.5/2.

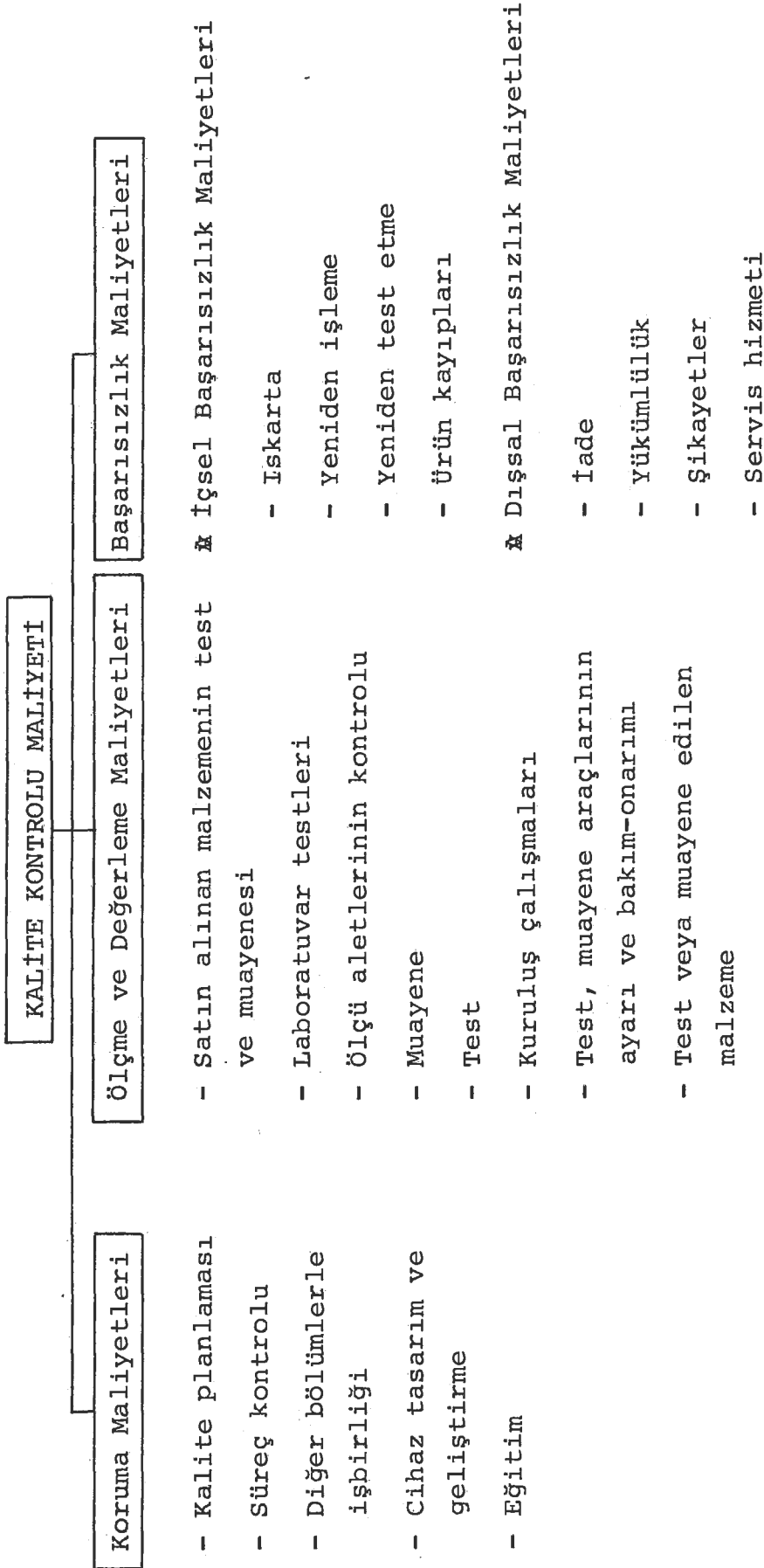
Kavramın temelinde kusurlu üretiminden kaynaklanan maliyetlerin akılcı yaklaşımlarla giderilebileceği düşüncesi vardır. Kalite kontrolu alanında yapılan birçok çalışmanın amacını bu kavram oluşturmuştur. Özellikle 1960'lı yıllarda yürütülen "sıfır kusur" (zero defects) programları bu kavramı temel almışlardır.

Kaliteye yönelik bir programın gerçek değeri onun işletme gelirine ve tüketici tatminine katkıda bulunabilme etkinliğiyle anlaşılır. Belirtilen nedenle, kalite yönetim sisteminin var olduğu işletmede KKM, etkili bir kalite yönetimi sisteminin bütünleyici bir parçasını oluşturur. İşletme faaliyetleri açısından üzerinde önemle durulması gereken KKM genelde,

- a. Koruma Maliyetleri (Prevention Costs)
- b. Ölçme ve Değerleme Maliyetleri (Appraisal Costs)
- c. Başarısızlık Maliyetleri (Failure Costs)

olmak üzere, üç ana başlık altında toplanmaktadır(67). Söz konusu maliyetler ŞEKİL II.1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

(67) A.V. FEIGENBAUM, A.g.k., s.83-89; D.M. LUNDVALL, J.M. JURAN, A.g.k., s.5/2-6.



ŞEKİL II.1- Kalite Kontrolü Maliyetleri

II.1.1. Koruma Maliyetleri

İşletmenin ürettiği ürün veya hizmet için amaçladığı kalite düzeyine erişmek ve bu düzeyden sapmaları önlemek amacıyla bazı ön çalışmalar yapması gerekir. Hazırlık safhası olarak da nitelenebilecek bu aşamada yapılan harcamalar koruma maliyetleri (prevention costs) olarak adlandırılır. Ayrıca varolan bir kalite kontrol sisteminde, kaliteyi iyileştirme yönlü harcamaların da değerlendirildiği bu başlık altında yer alan maliyet bileşenleri ve ilgili açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- a. Kalite Planlaması Maliyeti: Kalite Kontrol (KK) bölümünde görevli personelin kalite sisteminin planlanmasında, ürün tasarım ve tüketicinin kalite isteklerinin uygun yöntem ve açıklamalarla üretim kontrol bölümlerine aktarılmasında harcadığı süreye ilişkin maliyetlerdir.
- b. Süreç Kontrolü Maliyeti: KK bölümünde veya görevlendirilmiş personelin varolan üretim araçlarının hedeflenen kaliteye yönelik yeterliliklerinin belirlenmesi; KK planlarının yerleştirilmesi ve etkin biçimde uygulanması amacıyla ilgili atölye personeline teknik destek sağlanması; süreç etkinliğini arttırıcı önlemlerin alınması; varsa süreci etkileyen etmenlerin saptanması ve giderilmesi çalışmalarında harcadıkları süreye ilişkin maliyetlerdir.

- c. KK Bölümü Dışındaki Bölümlerle Kalite Planlaması Maliyeti: KK bölümünde görevli olmayan diğer bölüm personelinin gerektiğinde KK'na yönelik çalışmalar için harcadıkları süreye ilişkin maliyettir.
- d. Cihaz Tasarım ve Geliştirme Maliyeti: KK'da ölçme güvencesi sağlayan ve kontrollarda kullanılan cihazların tasarım ve geliştirilmesinde çalışan personelin harcadığı süreye ilişkin maliyettir. Cihazın satın alınması ve amortismanı bu maliyete dahil edilmez.
- e. Eğitim Maliyeti: İşletme içinde programlı bir biçimde yürütülen, diğer bölümlerde çalışanları da kalite ve KK teknikleri konusunda bilgili kılan eğitim çalışmalarının maliyetidir.

Belirtilen maliyet bileşenlerinin tümünde, kırtasiye, malzeme, kullanılıyorsa bilgisayar zamanı ve benzeri harcamalar da yer alır.

II.1.2. Ölçme ve Değerleme Maliyetleri

İşletmeler üretim sürecinde amaçlanan ürün veya hizmet kalitesinin sağlanıp sağlanmadığının araştırılması, incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi gerekir. Yapılan bu çalışmalarda oluşan maliyetler ölçme ve değerlendirme maliyetleri (appraisal costs) olarak adlandırılır. Belirtilen

kapsamda yer alan maliyet bileşenleri ve açıklamaları aşağıdadır.

- a. Satın Alınan Malzemenin Test ve Muayene Maliyeti:
Satın alınan malzeme kalitesinin belirlenmesi amacıyla ilgili personelin yaptığı test ve muayenelerde harcanan süreye ilişkin maliyetlerdir. Ayrıca satıcı firma sahasında yerinde kontrol amacıyla gönderilen personelin maliyeti bu bileşende yer alır.
- b. Laboratuvar Test Maliyeti: Özellikle satın alınan malzemenin işletme içi veya dışındaki laboratuvarlarda kontrol edilmesinin getirdiği maliyettir.
- c. Ölçü Aletlerinin Kontrolü Maliyeti: Laboratuvarlarda veya diğer yerlerde KK amacıyla kullanılan ölçü aletlerinin ayarlanması ve bakım-onarımına ilişkin maliyetlerdir.
- d. Muayene Maliyeti: Ürün kalitesinin yerinde belirlenmesi amacıyla, ilgili üretim noktasında yapılan muayene maliyetidir. Satın alınan malzemenin muayene maliyeti (a) ile muayenede kullanılan cihaz ve aletlerin maliyetleri bu maliyete katılmaz.
- e. Test Maliyeti: Ürünün teknik özelliklerine ilişkin göstergelerini sınamak amacıyla ilgili üretim noktasında yapılan testlerde test personelinin harcadığı süreye ilişkin maliyettir. Satın alınan mal-

zemenin test maliyeti ile testte kullanılan cihaz ve aletlerin maliyetleri kapsam dışıdır.

f. Kuruluş Çalışmaları Maliyeti: Test veya muayene edilecek parçaların ve gerekli cihaz ve aletlerin hazırlanmasının maliyetidir.

g. Ayarlama ve Bakım-Onarım Maliyeti: İlgili personelin test ve muayene araçlarının ayarlanması ve bakım-onarımında harcadıkları süreye ilişkin maliyettir. Sözkonusu işlemler işletme dışında yaptırıldığında katlanılan maliyet bu bileşen içinde değerlendirilir.

h. Test veya Muayene Edilen Ürün Maliyeti: Test veya muayenede kullanılan ürünün getirdiği maliyettir. Tahribatlı veya hasar verici test ve muayenelerde kullanılan ürün maliyetidir.

II.1.3. Başarısızlık Maliyetleri

İşletmenin ürettiği ürün veya hizmetinin tümünün aynı kalite düzeyinde olması beklenemez. İşletme içi veya dışı faaliyetlerden kaynaklanan kaliteye yönelik başarısızlıkların oluşturduğu maliyetler başarısızlık maliyetleri (failure costs) olarak adlandırılır. Bu nedenle iki alt başlık altında incelenirler.

II.1.3.1. İçsel Başarısızlık Maliyetleri

İşletmenin belirlediği kalite düzeyini sağlamayan kusurlu tamamlanmamış ürün ve ürünlerin maliyetleri içsel başarısızlık maliyeti (internal failure costs) başlığında incelenir. Bu başlık altına alınan maliyet bileşenleri aşağıdadır.

- a. Iskarta Maliyeti: İstenilen kaliteyi sağlamadığı belirlenerek hurdaya ayrılan malzeme, tamamlanmamış ürün ve ürünlerden kaynaklanan maliyetlerdir. Iskarta, satın alınan malzemeden veya üretimden kaynaklanabilir.
- b. Yeniden İşleme Maliyeti: İstenilen kaliteyi sağlamayan malzeme veya ürünler için yeniden harcanan işgücü, enerji, makina ve malzeme maliyetidir.
- c. Yeniden Test Etme Maliyeti: Kusurlu bir ürünün yeniden işlenip gelmesi sonucu yapılan test veya muayene maliyetidir.
- d. Mamul Kayıpları Maliyeti: Geliştirilmiş kontrollerle ulaşılabilecek seviyenin altında ürün elde etme (üretim) maliyetidir. Doldurma ve ölçme aletlerindeki değişimler nedeniyle aşırı dolum yapılması maliyeti de bu maliyet kapsamına alınır.

II.1.3.2. Dışsal Başarısızlık Maliyetleri

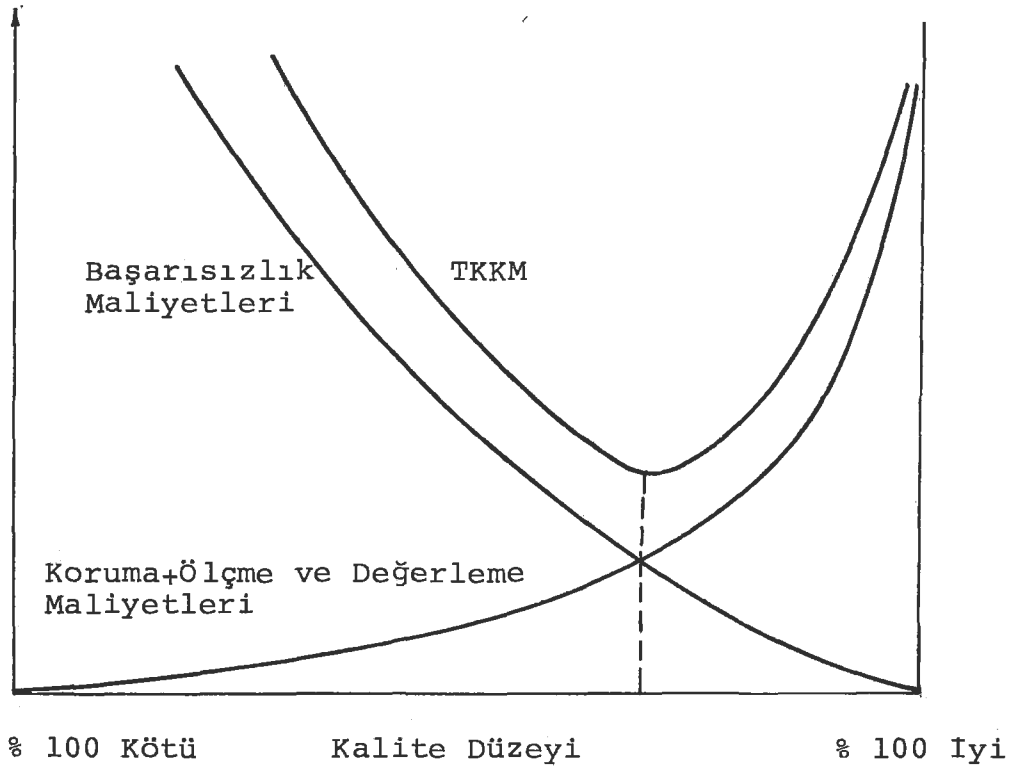
Üretilen ürünün tüketici eline geçmesinden sonra, işletme veya tüketici tarafından belirlenen kusurlar nedeniyle ortaya çıkan maliyetler dışsal başarısızlık maliyeti (external failure costs) olarak adlandırılır. İzlenen maliyet bileşenleri bu alt başlıkta toplanır.

- a. İade Maliyeti: Tüketici tarafından istenilen kalitede olmayışı nedeniyle iade edilen ve değiştirilen ürünlere ilişkin maliyetlerden oluşur.
- b. Yükümlülük Maliyeti: Sözleşme gereği satış sonrası tüketiciye verilen hizmetlerin maliyetidir.
- c. Şikayet Maliyeti: Tüketici şikayetleri karşılamak amacıyla yapılan tüm harcamalar şikayet maliyetini oluşturur.
- d. Servis Hizmeti Maliyeti: Satış sonrası, ürüne yönelik şikayetlerde belirtilmeyen özel test uygulamaları veya bazı hataların giderilmesi amacıyla yapılan harcamalardan kaynaklanan maliyettir.

KKM oluşturan üç ana maliyet bileşeni ile kalite arasında nasıl bir ilişki olduğu kolayca belirlenebilir. Söz konusu bileşenlerin değerleri kaliteli kabul edilen ürün sayısına bölünürse bir birime düşen KKM belirlenmiş olur. İşletmenin amaçladığı kalite düzeyi ile bir birime düşen KKM arasındaki ilişki, maliyet bileşenleri arasındaki ilişkiyi de

yansıtabacaktır. Yanısıra, bileşenlerin birlikte oluşturdukları toplam kalite kontrol maliyetinin (TKKM) de nasıl bir seyir izlediğini gösterir. Kalite düzeyi yatay eksen, Maliyetler düşey eksen, yer almak üzere bir grafik çizilirse aranan ilişkiyi gösteren ŞEKİL II.2'deki grafik elde edilir(68).

Maliyetler



ŞEKİL II.2- Eniyi Kalite Maliyeti Grafiği

Tanımlanan KKM bileşenlerinin genel nitelikte olduğu, her sanayi kolu için farklılıklar göstereceği gözden uzak tutulmamalıdır. Yanısıra, aynı alanda faaliyet gösteren işletmeler arasında da birçok ayrı noktaların olacağı açıktır.

(68) D.M. LUNDVALL, J.M. JURAN, A.g.k., s.5/12.

Görülüyor ki, bir işletme KKM belirlenmesi yönünde bir program hazırladığında, kendi yapısına göre hareket etmesi ve ilgili maliyet bileşenlerini belirlemesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu bileşenler bir model çerçevesinde toplanabilirse işlenmeleri daha sağlıklı olacaktır.

II.2. KALİTE KONTROL MALİYETLERİNİN MODELLENMESİ

II.2.1. Modelleme Gereği

İşletmede yeni bir faaliyeti başlatmadan önce ona ilişkin türetilen tüm göstergeler karar verici tarafından incelenir ve yorumlanır. Göstergelerin arasında ekonomik yapıda olanlar ayrı bir önem taşır. KK konusunda da verilecek bir kararın diğer kararlardan farklı bir yönü yoktur. Kalite kontroluna verilen önem azaldıkça işletmenin katlanacağı kayıplar daha fazla olacaktır.

Üretim sürecinde ürün kalitesini kontrol amacıyla kontrol grafikleri uygulanması üretim sorumlusu kadar üst yönetim içinde bir karar problemi niteliğindedir. Ürünün belirlenen kalite standartlarına uygun olarak üretilmesini sağlamak, üretim sürecinin istenen davranışdır. Kontrol grafiğinin uygulanmasıyla belirlenen amaçtan sapmalar izlenir, düzeltici önlemler alınır. Fakat yapılacak işlemlerin bilimsel temellerden yoksun olmaması gerekir.

Bir önceki kesimde incelenen maliyet bileşenlerinin çoğunu bir arada dikkate alan matematiksel yapı geliştirir-

lebilirse, yani bir matematiksel model bulunabilirse, bu modelden hareketle karar vermeye yönelik bir dizi gösterge doğrudan bulunabilir. Böyle bir model, maliyet parametrelerinin belirlenen değerleri karşısında hangi zaman aralıklarında numune alınacağını, numuneye girecek birim sayısının ne olması gerektiğini vb. karar değişkenlerine atanması gereken değerleri kolaylıkla bulma imkânı sağlayacaktır. Yanısıra, maliyet bileşenlerindeki olabilecek değişimler halinde, karar vericilerin nasıl davranabilecekleri hususu da geliştirilen model üzerinde yapılan duyarlılık analizleriyle önceden tesbit edilebilecektir.

Günümüz teknolojisinin ürünü olan bilgisayar, bugün her büyüklükte işletmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Modelde kullanılacak veri ve bilgilerin çok olması durumunda, matematiksel modelin doğrudan bilgisayara uygulanma özelliği vardır. Çözüm sonucu elde edilen parametrelerdeki birim değişimlerin belirlenen amacı hangi yönde ne şekilde etkileyebileceği model üzerinde kolayca sınanabilir. Böylece modelin duyarlılığı incelenir.

II.2.2. Temel Karar Değişkenleri

İşletmeler, pazardaki rekabet ortamı nedeniyle kalite kontrolü maliyetlerine daha dikkatli eğilme gereği duymuşlardır. Genelde üretim sürecinde kullanılan kontrol grafiklerine ilişkin enküçük kalite kontrol maliyetini veren veya ortalama net geliri enbüyükleyen modeller geliştiril-

miştir. Model, "bir sistem veya alt sistemin davranış gösterimi"(69) olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel yapıda olan sözkonusu modeller, kontrol grafiklerinin uygulanmasında karar vericiye eylem seçenekleri sağlamaktadır.

KK'nda geniş bir uygulama alanına sahip olan grafikler tek değişkenli boyutta ortalama($\bar{X}$), değişim aralığı (R) ve kusurlu oranı (p) kontrol grafikleridir. Ürünün birden fazla kalite özelliğinin birlikte incelendiği çokdeğişkenli boyutta ise T^2 - kontrol grafiği kullanılır. Bir üretim sürecinin ekonomik olarak kontrolü istatistiksel kontrol kavramlarının uygulanmasıyla elde edilir. Sözedilen kavramların uygulanması iki aşamada olur: Birincisi, süreci istatistiksel olarak kararlı duruma getirmek; diğeri ise ulaşılan kararlı durumu korumaktır(70). Kontrol grafikleri ikinci aşamada kullanmaya yararlı olmaktadır. Sürecin kararlı durumunun korunması istenilen kalitede ürün üretimini sağlamakla eşanlamlıdır(71).

(69) İ. KARA, Yöneylem Araştırmasının Yöntembilimi, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No: 96, Eskişehir, 1985, s.59.

(70) I.N. GIBRA, "Economically Optimal Determination of the Parameters of $\bar{X}$ - Control Chart", Management Science, C.17, S.9, Mayıs 1971, s.635.

(71) E.M. SANIGA, L.E. SHIRLAND, "Quality Control in Practice: A Survey", Quality Progress, C.10, S.5, ASQC, Milwaukee Wisconsin, Nisan 1977, s.30.

Kontrol grafiklerinin uygulanmasında karşılaşılan en önemli sorun, numuneyi oluşturacak birim sayısının, ardışık iki numune için uygun aralığın ve kontrol limitinin veya grafik için kritik bölgenin eniyi bir biçimde seçilmesidir(72). Buradaki "eniyi" sözcüğünün anlamı, kontrolün yaratacağı maliyetlerin ve doğal olarak KKM'ne yansımalarının enküçük olmasıdır. Üretim sürecinin uygun bir kontrol grafiğiyle kontrol edilmesi, kaliteli ürün üretimini arttıracaktır. Ürünlerin istenilen kalitede üretilmesi başarısızlık maliyetleri ana bileşenini olumlu yönde etkileyerek azaltmasını sağlayacaktır(73). Sonuçta, üretimde uygulanan kalite kontrol grafiği parametrelerinin eniyi biçimde belirlenmesiyle TKKM ve bunun ürün maliyeti içindeki payı azaltılacaktır.

Belirlenen hedeflere ulaşabilmek amacıyla, kontrol grafikleri için geliştirilen maliyet modellerinde yer alan numuneye alınacak birim sayısı, bir karar değişkenidir. Oluşacak maliyetle doğrudan ilişkilidir. İkinci bir karar değişkeni ise ardışık iki numune aralığının ne olması gerektiğidir. Diğer bir deyişle, alınacak numune sıklığının sap-

(72) D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.105; D.C. MONTGOMERY, R.G. HEIKES, "Process Failure Mechanicms and Optimal Design of Fraction Defective Control Charts", AIIE Transactions, C.8, S.4, Aralık 1976, s.467; A.J. DUNCAN, A.g.k., s.228; J.E. JACKSON, "QCTwo...", A.g.k., s.4.

(73) I.N. GIBRA, A.g.k., s.635-636.

tanmasıdır. Sık aralıklarda veya uzun aralıklarda numune almak maliyet yönünden sakıncalı olabilecektir. Bir üçüncü karar değişkeni ise uygulanan kontrol grafiğine göre değişmektedir. Ortalama ($\bar{X}$) ve kusurlu oranı (p) kontrol grafikleri için sözkonusu karar değişkeni sürecin kontrol dışı, yani ürünün kalitesiz kabul edilmesi için numune ortalamasının belirlenen ortalamaadan kaç standart sapma uzaklaşması gerektiğini belirleyecek değişkendir. Değişim aralığı (R) kontrol grafiği için üst kontrol limiti çarpanı⁽⁷⁴⁾ T^2 - kontrol grafiği için ise üst kontrol limiti $T^2_{\alpha,p,n-1}$ ⁽⁷⁵⁾ karar değişkenidir.

Geliştirilen modellerin parametreleri ise ölçme ve değerlendirme ve başarısızlık maliyetlerinin bileşenleri arasında uygun olanlarının seçilmesinden oluşur. Parametre olarak seçilen maliyet bileşenleri, modelin karar değişkenleriyle doğrudan ilişkilidirler. Kontrol grafiği uygulamasıyla da kalite kontrol maliyetlerine önemli katkıda bulunurlar.

Böylece, geliştirilen maliyet modelleriyle desteklenen kontrol grafikleri sadece sürecin kontrol altında veya

(74) E.M. SANIGA, "Joint Economically Optimal Design of $\bar{X}$ and R-Control Charts", Management Science , C.24, S.4, Aralık 1977, s.421; E.M. SANIGA, D.C. MONTGOMERY, "Economic Quality Control Policies for a Single Cause System", AIIE Transactions, C.13, S.3, Eylül 1981, s.260.

(75) D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.104.

kontrol dışı olduğunu saptayan grafikler olmamaktadır. Yanısıra, belirlenen kalite düzeyinin korunmasını da sağlamaktadırlar.

Kontrol garafiklerinin belirtilen özelliklere göre düzenlenip kullanılmaları üretimde, kontrolde ve doğal olarak ilgili maliyetlerde önemli kazançlar yaratacaktır. Üretimde uygulanacak ve bilimsel temellere dayandırılarak düzenlenen kontrol grafikleri, ilgili maliyetlerde önemli azalmalar sağlayarak TKKM'ni de olumlu yönde etkileyebilecektir.

II.2.3. Amaçlar

Verilen bir fiyattan satılabilecek ürün miktarı üzerinde etkili olan tüketici, ürünün nasıl bir kaliteye sahip olması gerektiği konusunda da etkilidir. Ayrıca tüketici uygun fiyattan iyi kaliteli ürün almak ister. İşletmeler, tüketiciye sundukları ürün veya hizmetin belirtilen noktalarını da dikkate alarak en az maliyetle üretilmesini sağlamaya çalışırlar. KKM üzerinde dikkatlice çalışıldığında ürün maliyetinde önemli azalmalar sağlanır(76). Yanısıra, ürün kalitesine yönelik faaliyetlerin başarısını da önemli katkılar yapılmış olur.

(76) E. SULLIVAN, "Quality Control: Current Ideas", Quality Progress, ASQC, Milwaukee, Wisconsin, Nisan 1983, s.24.

Kontrol grafiklerinin uygulanmasıyla oluşacak maliyetleri enküçüklemek amacıyla geliştirilen modeller matematiksel model yapısındadır. Ölçme ve değerlendirme maliyetleri ve başarısızlık maliyetlerinin sürece uygun olarak seçilen bileşenleri modelin karar değişkenlerini oluşturur. Karar verici, herhangi bir faaliyete ilişkin karar vermek durumunda olduğunda bir tek seçeneğe sahip olmak istemez. Geliştirilen matematiksel, model karar değişkenlerinin farklı değerleri için çözüldüğünde, karar vericiye bir seçenekler kümesi sağlar. Matematiksel modellerin çözümleri net ve tartışmasız olacağından, karar verici güven içinde seçenekleri tartışır.

II.2.4. Kısıtlar

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi KKM'nı enküçüklemeye yönelik bir matematiksel model geliştirilmesi istenmesi halinde, genelde üç karar değişkeni ve çok sayıda parametre söz konusu olmaktadır. ŞEKİL II.2'de görüldüğü gibi, toplam KKM fonksiyonu ki modelleme ile elde edilen yapıdır, konveks bir fonksiyon olup bir noktada enküçük değerine erişecektir. Böylece modelleme evresinde karar değişkenlerine ilişkin veya karar değişkenleri ile maliyet parametreleri arasında gerçekleşmesi zorunlu olan ilişkilere, yani kısıtlara gerek yoktur. Bir başka anlatımla KKM için geliştirilen modeller doğrusal olmayan programlamanın kısıtsız tipi içinde değerlendirilebilirler. Ancak bu genelleme bu tür modellerde kısıtla karşılaşılmayacağı anlamında da değildir.

Çoğu Yöneylem Araştırması yaklaşımlarında gözlendiği gibi(77), KKM'lerine dönük yapılacak bir çalışmada da numune hacmi, kontrol grafiği sınırları veya numune alma zaman aralıklarına ilişkin veya maliyetlere ilişkin karar vericilerin özel tutumları olabilir ki, bunların herbiri modele yansıtılır.

II.3. KALİTE KONTROL MALİYET MODELİ İÇİN ÖNEMLİ DAĞILIMLAR

Üretim bölümü işletmenin en önemli bölümlerinden biridir. Üretilen ürünün kalitesi bu süreçten geçerken oluşur. Süreçteki işlem noktalarında ürün için belirlenen spesifikasyonlara yeterince özen gösterilmezse, amaçlanan kaliteye ulaşılamayacağı açıktır. Üretim sürecinde kullanılan kalite kontrol yöntemleri genellikle ürünün bir kalite özelliğini dikkate alır. Özellikle, değişken kalite özelliklerinin kontrol altında olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan ortalama ($\bar{X}$), değişim aralığı (R) ve standard sapma (σ) kontrol grafikleri ürünün bir kalite özelliğine göre düzenlenir. Söz konusu grafiklerin ekonomik olarak uygulanmasına ilişkin çalışmalar da ürün kalitesinin bir kalite özelliğinden oluştuğu varsayılır(78). Öte yandan

(77) İ. KARA, Yöneylem ..., A.g.k., s.55-56.

(78) A.J. DUNCAN, "The Economic Design of $\bar{X}$ Charts Used to Maintain Current Control of a Process", Journal of American Statistical Association, C.51, New York, Haziran 1956, s.229; I.N. GIBRA, A.g.k., s.636.

sanayi mamullerinin çoğu birden fazla kalite özelliği ile tanımlanır ve bunların bileşik etkisi ürün kalitesini belirler. Örneğin, sağlam ve taşınabilmesi için hafif olması gereken bir ürünün sağlam fakat belirlenenden daha ağır olarak üretilmesi, ürünün kullanma uygunluğu için önemli bir engel oluşturacaktır.

Birbirleriyle ilgili kalite özelliklerine bağımsız kontrol grafikleri uygulamak genelde olumlu sonuç vermeyecektir. Bağımsız kabul edilen değişkenler uygulanan grafiklere göre herbiri kontrol altında görülecek fakat sistem gerçekte kontrol dışında olabilecektir(79). Bu durumun karşıtı da meydana gelebilir. Belirtilen durumu ortadan kaldıran ve değişkenler arasındaki ilişkiyi içeren bir yönteme gerek vardır.

II.3.1. Çokdeğişkenli Normal Dağılım

Normal dağılıma sahip bir anakütleden az sayıda birimden oluşan rassal örnekler alındığında, anakütle ortalamasına ilişkin testte t - dağılımından yararlanılır. n birimlik rassal örneğin alındığı ana kütlenin dağılımı $N(\mu, \sigma^2)$ iken örnek ortalaması ve varyansı, sırasıyla, $\bar{X}$ ve s^2 olmak üzere

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

(79) D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.103.

rassal değişkeni serbestlik derecesi $n-1$ olan t - dağılımına sahip olur(80). t rassal değişkeni yardımıyla, μ_0 önceden belirlenen bir değer olmak üzere

$$H_0: \mu = \mu_0$$

hipotezi test edilir veya $(1-\alpha)$ güven seviyesinde μ için güven aralığı belirlenir.

Anakütleden alınan örnekteki her bir birimin birden fazla özelliğinin incelenmesi gerekirse kullanılacak rassal değişkenin vektörel yapıda olması kaçınılmazdır. t rassal değişkeninin kullanılmadığı böyle durumlarda, onun çok değişkenli yapıda benzeri olan T^2 istatistiği kullanılır.

Çokdeğişkenli normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu (o.y.f.), ortalaması μ ve varyansı σ^2 olan tekdeğişkenli normal dağılım o.y.f.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left\{ - \frac{(x - \mu)^2}{2 \sigma^2} \right\}; \quad -\infty < x < \infty$$

ile benzer yapıdadır.

$X_1, X_2, \dots, X_p$ rassal değişkenlerinin oluşturduğu vektör $X' = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ ise sıfır civarındaki birinci

(80) L.L. Chao, A.g.k., s.321-322; D.V. HUNTSBERGER, D.J. CROFT, P. BILLINGSLEY, Statistical Inference for Management and Economics, 2. Bası, Allyn and Bacon, Inc., Boston, 1980, s.240-242.

moment $B[X] = \mu$ olur ve $p \times 1$ boyutludur. X' in kovaryans matrisi

$$\Sigma = B [(X - \mu) (X - \mu)']$$

olarak tanımlanır. Kovaryans matrisinin köşegeni üzerindeki i -inci eleman, $B [(X_i - \mu_i)^2]$, X 'in i -inci bileşeninin varyansıdır. Köşegen dışındaki bir eleman $B [(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)]$ ise X_i ve X_j bileşenlerinin kovaryansıdır. Ayrıca Σ pozitif belirli (positive definite) simetrik bir matristir. X rassal vektörünün o.y.f. verilen kavramlara göre (81) kovaryans matrisinin determinantı $\det(\Sigma)$, ' ilgili vektörünün evriği olmak üzere,

$$f(x) = (2\pi)^{-p/2} (\det(\Sigma))^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} (x-\mu)' \Sigma^{-1} (x-\mu)\right\} [1]$$

olarak yazılır. İlgili teorem ise aşağıda verilmiştir.

Teorem: Eğer p - boyutlu X rassal vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \frac{(\det(A))^{1/2}}{(2\pi)^{p/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} (x-b)' A (x-b)\right\} [2]$$

(81) T.W. ANDERSON, An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, 2. Baskı, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1960, s.11, 17; D.F. MORRISON, Multivariate Statistical Methods, 5. Baskı, McGraw-Hill Book Company Japan, Tokyo, 1980, s.85.

ise $\mathbf{X}$ 'in beklenen değeri $\mathbf{b}$ ve kovaryans matrisi $\mathbf{A}^{-1}$ olur. Ters olarak, bir μ vektörü ve pozitif belirli bir Σ matrisi verildiğinde,

$$f(\mathbf{x}) = \frac{(\det(\Sigma))^{-1/2}}{(2\pi)^{p/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mu)' \Sigma^{-1}(\mathbf{x}-\mu) \right\} \quad [3]$$

ile ifade edilen bir çokdeğişkenli normal olasılık yoğunluk fonksiyonu vardır ve bu olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip bir $\mathbf{X}$ rassal vektörünün beklenen değeri μ ve kovaryans matrisi Σ 'dir.

Kovaryans matrisinin köşegeni üzerindeki i -inci eleman $\mathbf{X}$ vektörünün i -inci bileşeninin varyansıdır ve,

$$\sigma_i^2 = B \left[(X_i - \mu_i)^2 \right] \quad [4]$$

olarak tanımlanır. Köşegen dışındaki herhangi bir i -inci sıra, j -inci sütun elemanı ise karşı gelen X_i ve X_j bileşenlerinin kovaryansıdır. X_i ve X_j arasındaki kovaryans

$$\sigma_{ij} = \text{Kov}(X_i, X_j) = \frac{\sum_{j=1}^n (X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)}{n} \quad [5]$$

ve korelasyon katsayısı

$$\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_i^2} \sqrt{\sigma_j^2}} \quad [6]$$

olarak tanımlandığından, kovaryans matrisinde kovaryans değerleri σ_{ij} yerine

$$\sigma_{ij} = \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} \quad [7]$$

yazılabilir. Ayrıca $\rho_{ij}=\rho_{ji}$ ve $\sigma_{ij}=\sigma_{ji}$ olduğundan kovaryans matrisi simetriktir.

Anakütle ortalama vektörü ve kovaryans matrisi anakütleden alınan örnekten tahmin edilebilir. p - değişkenli normal dağılıma sahip bir anakütleden rassal olarak alınan n birimlik örnek $X_1, X_2, \dots, X_n$, $n > p$, olsun. Örnekteki her bir X_i , $p \times 1$ boyutlu bir vektördür ve $N(\mu, \Sigma)$ dağılımına sahiptir. Örneğe ilişkin benzerlik fonksiyonu (likelihood function)

$$L = \frac{(\det(\Sigma))^{-n/2}}{(2\pi)^{pn/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)' \Sigma^{-1} (x_i - \mu) \right\} \quad [8]$$

olarak yazılır. μ ve Σ^{-1} nin enbüyük benzerlik tahminlerini (maximum likelihood estimates) sırasıyla μ^*, θ^* , bulabilmek için benzerlik fonksiyonunun logaritması alınır

$$\begin{aligned} \log L = & -\frac{pn}{2} \log(2\pi) + \frac{n}{2} \log(\det(\theta^*)) \\ & -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu^*)' \theta^* (x_i - \mu^*) \end{aligned} \quad [9]$$

ifadesi elde edilir. $\log L$, L ' nin artan bir fonksiyonu olduğundan L ' nin enbüyüklendiği uzayda $\log L$ de enbüyüklenir.

X_{ij} , örnekte yer alan j - inci birimin i - inci bileşeni, $i=1, 2, \dots, p$, $j=1, 2, \dots, n$, olmak üzere örnek ortalaması

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{1j} \\ \vdots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{pj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \vdots \\ \bar{X}_p \end{bmatrix} \quad [10]$$

şeklinde belirlenir. Örnekte yer alan birimlerin örnek ortalamasından sapmalarının kareleri toplamının oluşturacağı matris

$$A = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(X_j - \bar{X})' \quad [11]$$

$$= \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n (X_{1j} - \bar{X}_1)(X_{kj} - \bar{X}_k) \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad i, k = 1, 2, \dots, p$$

olarak tanımlanır. Anakütle ortalamasını ve kovaryans matrisinin enbüyük benzerlik tahminlerine ilişkin teorem ve sonucu aşağıdadır.

Teorem: $X_1, X_2, \dots, X_n, n > p$, dağılımı $N(\mu, \Sigma)$ olan bir anakütleden alınan bir örneği oluşturan gözlem vektörleri ise, μ ve Σ 'nın enbüyük benzerlik tahminleri, sırasıyla, $\hat{\mu} = \bar{X} = (1/n) \sum_{j=1}^n X_j$ ve $\hat{\Sigma} = S = (1/n) A$ olur.

Çıkarma(Corrolary): $X_1, X_2, \dots, X_n, n > p$, dağılımı $N(\mu, \Sigma)$ olan bir anakütleden alınan bir örneği oluşturan vektörler ve $\sigma_{ij} = \sigma_i \cdot \sigma_j \cdot \rho_{ij}$, $\rho_{ii} = 1$ iken;

a) μ 'nün enbüyük benzerlik tahmini

$$\mu = \bar{X} = (1/n) \sum_{j=1}^n X_j$$

olur.

b) X_j 'nin i -inci bileşeni X_{ij} ve $\bar{X}$ 'nin i -inci bileşeni $\bar{X}_i$ olmak üzere, σ_i^2 'nin enbüyük benzerlik tahmini

$$\hat{\sigma}_i^2 = s_i^2 = (1/n) \sum_j (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = (1/n) \left(\sum_{j=1}^n X_{ij}^2 - n\bar{X}_i^2 \right)$$

olur.

c) Korelasyon katsayısı ρ_{ik} 'nin enbüyük benzerlik tahmini

$$\hat{\rho}_{ik} = r_{ik} = \frac{\sum_j (X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{kj} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_j (X_{ij} - \bar{X}_i)^2} \sqrt{\sum_j (X_{kj} - \bar{X}_k)^2}} \quad [12]$$

olur.

II.3.2. T^2 İstatistiği ve Dağılımı

Tekdeğişkenli istatistikte örnek ortalamasından hareketle anakütle ortalamasının testinde kullanılan t istatistiğinin yerini, çokdeğişkenli istatistikte Hotelling'in T^2 istatistiği alır(82). Dağılım $N(\mu, \Sigma)$ olan bir anakütleden

(82) Ayrıntılı bilgi için bkz.: T.W. ANDERSON, A.g.k., s.101-118; D.F. MORRISON, A.g.k., s.128-153; H. HOTELLING, A.g.k., s.360-378.

alınan n birimlik örnek temelinde, $H_0: \mu = \mu_0$ hipotezinin benzerlik oranı testi (likelihood ratio test) T^2 istatistiği ile yapılır.

$X_1, X_2, \dots, X_n$, $n > p$ olmak üzere p özelliği ile ilgilenilen $N(\mu, \Sigma)$ dağılmış anakütleden alınan örnek olsun. Benzerlik fonksiyonu, parametreleri μ ve Σ^{-1} olmak üzere

$$L(\mu, \Sigma^{-1}) = (2\pi)^{-np/2} (\det(\Sigma^{-1}))^{n/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_j (X_j - \mu)' \Sigma^{-1} (X_j - \mu) \right\} \quad [13]$$

şeklinde yazıldığında, benzerlik oran ölçütü

$$\lambda = \frac{\text{enbL}(\mu_0, \Sigma^{-1})}{\text{enbL}(\mu, \Sigma^{-1})} \quad [14]$$

olur. Benzerlik oran ölçütünün payında, sıfır hipotezi tarafından sınırlanan parametre uzayında, paydasında ise tüm parametre uzayında benzerlik fonksiyonu enbüyüktür. Parametreler sınırlanmadığında benzerlik fonksiyonu μ ve Σ^{-1} in enbüyük benzerlik kestirimleri

$$\hat{\mu}_\Omega = \bar{X} \quad \text{ve} \quad \hat{\Sigma}_\Omega = \frac{1}{n} \sum_j (X_j - \bar{X})(X_j - \bar{X})' \quad [15]$$

tarafından tanımlandığında enbüyüktür. $\mu = \mu_0$ olduğunda ise

$$\hat{\Sigma}_\omega = \frac{1}{n} \sum_j (X_j - \mu_0)(X_j - \mu_0)' \quad 16$$

için benzerlik fonksiyonu enbüyüktür. Belirtilen ifadeler sonucu

$$\text{enbL}(\mu, \Sigma^{-1}) = (2\pi)^{-pn/2} (\det(\Sigma_\Omega^{-1}))^{-n/2} \exp(-\frac{1}{2} pn) \quad [17]$$

μ, Σ^{-1}

$$\text{enbL } (\mu_o, \Sigma^{-1}) = (2\pi)^{pn/2} (\det(\Sigma_o^{-1}))^{-n/2} \exp(-\frac{1}{2} pn) \quad [18]$$

$$\Sigma^{-1}$$

olarak bulunur. Benzerlik oran ölçütü de

$$\lambda = \frac{(\det(\Sigma_o))^{n/2}}{(\det(\Sigma_w))^{n/2}} = \frac{(\det(\sum_j (X_j - \bar{X})(X_j - \bar{X})'))^{n/2}}{(\det(\sum_j (X_j - \mu_o)(X_j - \mu_o)'))^{n/2}} \quad [19]$$

olur.

Anakütle kovaryans matrisinin yansız kestirimi olan örnek kovaryans matrisi

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(X_j - \bar{X})' = \frac{1}{n-1} A \quad [20]$$

olarak yazılır ve

$$\sum_{j=1}^n (X_j - \mu_o)(X_j - \mu_o)' = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(X_j - \bar{X})' + n(\bar{X} - \mu_o)(\bar{X} - \mu_o)' \quad [21]$$

eşitliğinden yararlanılırsa, benzerlik oranı ölçütü

$$\lambda = (\det A)^{n/2} / (\det(A + n(\bar{X} - \mu_o)(\bar{X} - \mu_o)'))^{n/2} \quad [22]$$

olur. Her iki tarafın n- inci dereceden kökünün karesi alınırsa

$$\lambda^{2/n} = (\det A) / (\det(A + n(\bar{X} - \mu_o)(\bar{X} - \mu_o)))$$

$$= 1 / (1 + n(\bar{X} - \mu_o)' A^{-1} (\bar{X} - \mu_o))$$

bulunur. T^2 istatistiği,

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu_0)' S^{-1} (\bar{X} - \mu_0) = (n-1) n(\bar{X} - \mu_0)' A^{-1} (\bar{X} - \mu_0) \quad [24]$$

olarak tanımlanırsa,

$$\lambda^{2/n} = \frac{1}{1 + T^2 / (n-1)} \quad [25]$$

elde edilir.

Sonuçta benzerlik oranı testinin kritik bölgesi (red bölgesi), önem seviyesi ve

$$P(\lambda < \lambda_0) = \alpha$$

olmak üzere seçilen λ_0 için

$$\lambda \leq \lambda_0$$

olarak belirlenir.

Testin kritik bölgesini T^2 istatistiğine göre tanımlamak gerekirse

$$\lambda^{2/n} = \frac{1}{1 + T^2 / (n-1)}, \quad \lambda^{2/n} = \frac{1}{1 + T_0^2 / (n-1)} \quad [26]$$

yazılarak yapılan işlemler sonucu kritik bölge

$$T^2 \geq T_0^2 \quad [27]$$

olarak belirlenir.

Yukarıdaki işlemler izleyen teoremden özetlenmiştir.

Teorem: $N(\mu, \Sigma)$ dağılımına sahip bir anakütleden alınan n birimlik örnek ortalaması $\bar{X}$, örnek kovaryans matrisi S olsun. Seçilen önem seviyesi α ve $P(T^2 \geq T_0^2) = \alpha$ olacak şekilde T_0^2 seçilirse, T^2 yukarıda tanımlandığı gibi olmak üzere $N(\mu, \Sigma)$ dağılımı için $H_0: \mu = \mu_0$ hipotezinin benzerlik oranı testinin kritik bölgesi $T^2 \geq T_0^2$ olur.

Dağılımı $N(\mu, \Sigma)$ olan bir anakütle için $H_0: \mu = \mu_0$ hipotezinin benzerlik oran testi $T^2 \geq T_0^2$ ile benzer olduğuna göre, T^2 istatistiğinin H_0 ve seçenek $H_1: \mu \neq \mu_0$ hipotezleri altında dağılımının belirlenmesi gerekir. İlgili teorem aşağıdadır.

Teorem: $X_1, X_2, \dots, X_n$, $n > p$ olmak üzere $N(\mu, \Sigma)$ dağılımına sahip anakütleden alınan n birimlik örnek ve $T^2 = n(\bar{X} - \mu_0)' S^{-1} (\bar{X} - \mu_0)$ olsun. $[T^2 / (n-1)]$ $[(n-p)/p]$ rassal değişkeninin dağılımı, p ve $(n-p)$ serbestlik derecelerine ve $\tau^2 = n(\mu - \mu_0)' \Sigma^{-1} (\mu - \mu_0)$ olarak tanımlanan merkezsizlik (noncentrality) parametresine sahip merkezsiz (noncentral) F dağılımına sahiptir. Eğer $\mu = \mu_0$ ise merkezi F dağılımına sahip olur.

Teoreme göre, seçilen önem seviyesi α ise,

$$T_0^2 = \frac{(n-1) p}{n - p} F_{\alpha, p, n-p} \quad [28]$$

olarak tanımlanır. Bağlı olarak, H_0 doğru olduğunda

$$F = \frac{n - p}{p (n-1)} T^2 \quad [29]$$

rassal değişkeni serbestlik dereceleri p ve $n-p$ olan F dağılımına sahip olur. Buradan H_0 hipotezi altında T^2 nin o.y.f.

$$f(T^2) = \begin{cases} \frac{\Gamma(n/2) [P/(n-p)]^{p/2} \left[\frac{n-p}{p(n-1)} T^2 \right]^{\frac{p}{2}-1}}{\Gamma(p/2) \Gamma((n-p)/2) \left[1 + T^2/(n-1) \right]^{n/2}} ; 0 < T^2 < \infty \\ 0 ; d.d. \end{cases} \quad [30]$$

ve seçenek hipotez H_1 altında T^2 nin o.y.f. merkezsizlik parametresi $\tau^2 = n(\mu_1 - \mu_0)' S^{-1}(\mu_1 - \mu_0)$ iken

$$f(T^{2*}) = \begin{cases} \frac{\exp(-\tau^2/2)}{(n-1) \Gamma\left[\frac{1}{2}(n-p)\right]} \sum_{\beta=0}^{\infty} \frac{(\tau^2/n) \left[T^{2*}/(n-1) \right]^{\frac{p}{2}+\beta-1} \Gamma\left(\frac{n}{2}+\beta\right)}{\beta! \Gamma\left(\frac{n}{2}+\beta\right) \left[1 + T^{2*}/(n-1) \right]^{\frac{n}{2}+\beta}} ; 0 < T^{2*} < \infty \\ 0 ; d.d. \end{cases} \quad [31]$$

olarak tanımlanır.

II.4. MONTGOMERY-KLATT MALİYET MODELİ

Çokdeğişkenli kalite kontrolunda yaygın olarak kullanılan yöntem T^2 - kontrol grafiği yöntemidir. $H_0: \mu = \mu_0$ hipotezinin temelini oluşturduğu yöntemde örnek için hesaplanan T^2 değeri grafik üzerine işaretlenir. İşletmenin diğer faaliyetlerinde olduğu gibi, bu kontrol yönteminin uygulanmasında da bir maliyetin ortaya çıkacağı açıktır. Maliyet ise işletmede üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Mamul kalitesinin çok boyutlu açıdan kontrol etmek için düzenlenen T^2 - kontrol grafiğinin enküçük maliyetle uygulanması gerekir.

II.4.1. Modelin Varsayımları

T^2 istatistiğinin çokdeğişkenli kalite kontrolunda kullanılması karşı gelen kontrol grafiğinin oluşturulmasını gerekli kılar. Montgomery ve Klatt, T^2 kontrol grafiğinin ekonomik bir yapıda uygulanabilmesi için bir maliyet modeli geliştirmişlerdir. Çokdeğişkenli kalite kontrolunda T^2 -kontrol grafiği uygulanması nedeniyle, bir birime düşen beklenen toplam maliyeti veren modelin varsayımları aşağıdadır.

- a. İlgilenilen ürünün p- kalite özelliğinin dağılımı p- değişkenli normal dağılımdır.
- b. Numune ortalaması μ , ürünün p-kalite özelliği için belirlenen ortalama μ_0 olmak üzere $\mu = \mu_0$ iken süreç kontrol altındadır.
- c. μ_0 'dan sapma miktarı pxl boyutlu δ vektörü bilindiğinde süreç ortalama vektörü $\mu_1 = \mu_0 + \delta$ iken süreç kontrol dışındadır.
- d. Sürecin kontrol dışına çıkmadan önce kontrol altında kalma süresi, ortalaması λ^{-1} saat olan üstel dağılıma sahip bir rassal değişkendir.
- e. Süreç kontrol dışına çıktığında, belirleninceye kadar o durumda kalır. Diğer bir ifadeyle, alınan numuneye ilişkin hesaplanan T^2 değerinin T^2 - kontrol grafiğindeki üst kontrol limiti $T^2_{\alpha, p, n-1}$ değerinden büyük olduğu görülünceye kadar süreç kontrol dışında kalır.

II.4.2. Modelin Değişkenleri

T^2 - kontrol grafiği için geliştirilen Montgomery-Klatt maliyet modeli üç ana bileşenden oluşmaktadır. Modelin bileşenleri ve modelde yer alan değişkenler aşağıda tanımlanmıştır.

$B \left[C_1 \right]$: numune almanın ve kontrol yöntemi uygulamanın bir birime düşen beklenen maliyeti

$B \left[C_2 \right]$: kontrol yöntemi sürecin kontrol dışı olduğunu gösterdiğinde sürecin incelemesi ve düzeltilmesinin bir birime düşen beklenen maliyeti

$B \left[C_3 \right]$: kusurlu üretimin bir birime düşen beklenen maliyeti

n : numuneye alınacak birim sayısı

k : ardışık iki numune arasında üretilen birim sayısı

a_1 : numune hacminden bağımsız, numune başına sabit maliyet

a_2 : bir birimin numuneye alma maliyeti

a_3 : araştırma ve düzeltme maliyeti

a_4 : kusurlu birim maliyeti

α : I. Tip hata

p : incelenen kalite özelliği sayısı

$T_{\alpha, p, n-1}^2$: T^2 - kontrol grafiğinin üst kontrol limiti.

μ_0 : Süreç kontrol altında iken kalite özellikleri anakütlesinin ortalaması

μ_1 : Süreç kontrol dışı iken kalite özellikleri anakütlesinin ortalaması

X_i : numunedeki i- inci birim; pxl boyutlu kalite özellikleri vektörü.

S : pxp boyutlu numunenin kovaryans matrisi

M : Sürecin μ_1 durumundan μ_j durumuna geçiş olasılıkları matrisi $i, j = 0, 1 \quad i \neq j$

λ : Ortalama arıza sayısı

λ^{-1} : arızalar arası geçen ortalama süre

II.4.3. Modelin Genel Yazılımı

Geliştirilen maliyet modelinin bileşenleri $B [C_1]$, $B [C_2]$ ve $B [C_3]$ olmak üzere, çokdeğişkenli kalite kontrol yönteminin bir birime düşen beklenen toplam maliyeti

$$B [C] = B [C_1] + B [C_2] + B [C_3] \quad [32]$$

olarak yazılır.

Numune alma ve kontrol yöntemini uygulama maliyeti, numune hacminden bağımsız bir sabit maliyet a_1 ve birim birim mamulün numuneye alınması maliyeti a_2 'de en oluşmaktadır. Ardışık iki numune arasında üretilen (birim) mamul sayısı k ve numunedeki birim sayısı n olmak üzere, ilk maliyet bileşeni

$$B[C_1] = \frac{a_1 + a_2 + n}{k} \quad [33]$$

şeklinde bulunur.

Sürecin görünürde kontrol dışı olduğunda araştırma ve düzeltme maliyeti a_3 olsun.

Z rassal değişkeni

$$Z = \begin{cases} 1 & , T^2 > T_{\alpha, p, n-1}^2 \\ 0 & , T^2 \leq T_{\alpha, p, n-1}^2 \end{cases}$$

şeklinde tanımlansın. Eğer sürecin kontrol altında olduğu düşünülürse araştırma ve düzeltme yapılmayacaktır. Kontrol yöntemi sürecin kontrol dışı olduğunu gösterdiğinde süreci araştırma ve düzeltmenin bir birime düşen beklenen maliyeti

$$B[C_2] = \frac{a_3 P(Z=1)}{k} \quad [34]$$

olur.

Z rassal değişkeninin incelenmesi gerekir. q ve α iki olasılık sütun vektörleri olsun. Süreç için iki durum sözkonusu olduğuna göre, q ve α 'nın elemanlarının tanımlanması sürece bağlı olarak yapılacaktır. Buradan q_i , $i = 0, 1$ için, süreç μ_i durumunda olduğu bilindiğinde kontrol yönteminin sürecin kontrol dışı olduğunu göstermesi olasılığı olur. Açık yazılırsa,

$$q_0 = P(\mu/\mu_0) = P(T^2 > T_{\alpha, p, n-1}^2) = \int_{T_{\alpha, p, n-1}^2}^{\infty} f(T^2) dT^2 \quad [35]$$

$$q_1 = P(\mu_1/\mu_1) = P(T^{2*} > T_{\alpha,p,n-1}^2) = \int_{T_{\alpha,p,n-1}^2}^{\infty} f(T^{2*}) dT^{2*} \quad [36]$$

olmak üzere $q' = [q_0 \ q_1]$ şeklinde bulunur.

α olasılık vektörünün elemanları süreçten numune alındığında, diğer bir ifade ile, kontrol yöntemi uygulandığında sürecin μ_1 durumunda olma olasılıkları olacaktır. Üretim sürecinin kontrol altında ve kontrol dışı olmak üzere iki durumu olduğuna göre, bir durumdan diğerine geçiş veya bulunduğu durumda kalması söz konusudur. Rassal nitelikte olan bu özellik, geçiş olasılıkları matrisi ile açıklanabilir.

Geçiş olasılıkları matrisi M olsun. Süreç için iki durum söz konusu olduğundan M matrisi 2×2 boyutlu olacaktır. Matrisin elemanları, m_{ij} , k birim üretimi sırasında sürecin μ_i durumundan μ_j durumuna geçmesi olasılıklarını gösterir. Sürecin kontrol altında kalma süresi parametresi λ^{-1} olan üstel dağılıma sahip olduğundan, t saat süre için μ_0 durumunda kalma olasılığı

$$p_0 = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda z} dz = e^{-\lambda t} \quad [37]$$

olur. Bir saatte üretilen birim sayısı R ise, k birim üretilinceye kadar μ_0 durumunda, kalma olasılığı

$$p_0 = e^{-\lambda k/R} \quad [38]$$

bağlı olarak kontrol dışı, μ_1 , olma olasılığı da

$$p_1 = 1 - e^{-\lambda k/R} \quad [39]$$

olarak elde edilir.

M matrisinin elemanları, q_i ve p_i , $i = 0, 1$, olasılıkları yardımıyla belirlenir. Sürecin d -inci numune alındığında kontrol altında olduğu bilindiğinde, $(d+1)$ -inci numune alındığında da kontrol altında olma olasılığı, k birim üretimi süresince kontrol altında olma olasılığı olacaktır. Buradan $m_{00} = p_0$ olur. Aynı durum için $(d+1)$ -inci numunede kontrol dışı olma olasılığı k birim üretimi süresinde kontrol dışı olma olasılığı olduğundan $m_{01} = p_1$ yazılır. Sürecin d -inci numunede kontrol altında olma olasılığı, d -inci numunede sürecin kontrol dışı olduğunun belirlenmesi olasılığı ile k birim üretimi süresince kontrol altında olma olasılığı çarpımıdır. Buna göre $m_{10} = q_1 p_0$ olur. Aynı durum için $(d+1)$ -inci numunede kontrol dışı olma olasılığı ise, d -inci numunede kontrol dışı durumunun saptanması olasılığı ile k birim üretimi süresinde kontrol dışına çıkması olasılığının çarpımına d -inci numunede kontrol dışı durumun belirlenemesi olasılığının eklenmesinden oluşur. İlgili olasılıklar yazıldığında $m_{11} = q_1 p_1 + (1 - q_1)$ olur. Sonuçta geçiş olasılıkları matrisi

$$M = \begin{bmatrix} p_0 & p_1 \\ q_1 p_0 & q_1 p_1 + (1 - q_1) \end{bmatrix} \quad [40]$$

olarak elde edilir.

M matrisi, indirgenemeyen periyodik olmayan pozitif kendini tekrar eden bir Markov zincirinin geçiş matrisidir. M matrisi sahip olduğu özellik nedeniyle, kontrol yapıldığında sürecin μ_i durumunda olmasının kararlı durum olasılığı α_i , $i=0, 1$, $\alpha_0 + \alpha_1 = 1$ ve $\alpha' = [\alpha_0 \alpha_1]$ olmak üzere

$$\alpha' M = \alpha' \quad [41]$$

eşitliğini sağlayan bir α olasılık vektörü vardır. Eşitlik açık olarak yazılır,

$$[\alpha_0 \alpha_1] \begin{bmatrix} p_0 & p_1 \\ q_1 p_0 & q_1 p_1 + (1 - q_1) \end{bmatrix} = [\alpha_0 \alpha_1]$$

ve çözümlürse α vektörünün elemanları α_0 ve α_1

$$\alpha_0 = q_1 p_0 / (p_1 + q_1 p_0)$$

$$\alpha_1 = p_1 / (p_1 + q_1 p_0)$$

şeklinde elde edilir.

Yapılan işlemler sonucunda ikinci bileşen

$$B[C_2] = \frac{a_3}{k} [q_0 q_1] \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \end{bmatrix} = \frac{a_3}{k} q' \alpha \quad [42]$$

olarak bulunur.

$B[C_3]$ bileşeni kusurlu birim üretimine bağlı olduğundan, kusurlu birim maliyeti a_4 olsun. W rassal değişkeni

$$W = \begin{cases} 1 & \text{birim kusurlu ise} \\ 0 & \text{birim kusursuz ise} \end{cases}$$

şeklinde tanımlansın. Buradan

$$B [C_3] = a_4 . P(W=1) \quad [43]$$

yazılır. W rassal değişkeninin belirtilen değerleri alma olasılığı, sürecin μ_i durumunda olma olasılıklarına ve o durumda kusurlu birim üretme olasılıklarına bağlıdır.

Sürecin $\mu = \mu_i$, $i=0, 1$ durumunda olduğu bilindiğinde kusurlu birim üretme olasılıkları f sütun vektörünün elemanları olsun. f 'in elemanları X kalite özellikleri vektörünün dağılımına bağlıdır. X vektörünün kovaryans matrisi Σ genelde bilinmediğinden f_i , $i=0, 1$, değerleri tam olarak bulunamazlar. Kovaryans matrisinin, Σ , yansız kestirimi S kullanılarak f_i olasılıkları yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Sürecin $\mu = \mu_i$ durumunda iken kusurlu birim üretme olasılığı f_i , $i=0, 1$ olsun. p -kalite özelliği için belirlenen spesifikasyonların alt ve üst değerlerine ilişkin vektörler, sırasıyla, $L' = [l_1 \ l_2 \ \dots \ l_p]$ ve $U' = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_p]$ ise $L < X < U$ olduğunda birim kusursuz sayılacaktır. Diğer bir ifadeyle, her kalite özelliği spesifikasyonlar arasında olduğunda birim kusursuz olacaktır. Böylece, $f' = [f_0 \ f_1]$ vektörünün elemanları

$$D = \left[(2\pi) (\det(S))^{1/2} \right]^{-1}$$

olmak üzere

$$f_0 = 1 - D \int_{l_1}^{u_1} \int_{l_2}^{u_2} \dots \int_{l_p}^{u_p} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_0)' S^{-1} (x - \mu_0) \right\} dx_1 \dots dx_p \quad [44]$$

$$f_1 = 1 - D \int_{l_1}^{u_1} \int_{l_2}^{u_2} \dots \int_{l_p}^{u_p} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_1)' S^{-1} (x - \mu_1) \right\} dx_1 \dots dx_p \quad [45]$$

şeklinde bulunur.

Sürecin, zaman içinde herhangi bir anda μ_1 durumunda olması olasılıkları, γ vektörünün γ_i elemanları olsun. Sürecin d - inci ve $(d+1)$ - inci numuneler arasında durum değiştirdiği bilindiğinde, durum değişikliği olmadan önce geçen ortalama süre

$$\Delta = \frac{1 - (1 + \lambda k/R) e^{-\lambda k/R}}{\left[1 - e^{-\lambda k/R} \right] \lambda k/R} \quad [46]$$

olur(83). γ_0 , kararlı durum olasılığına, yani numune alındığında kontrol altında olan sürecin, izleyen numune alınıncaya kadar kontrol altında kalması olasılığına ve numune alındığında kontrol altında olma olasılığı ile k birim üretimi süresinde kontrol dışına çıkma olasılığına bağlıdır.

Açık yazılırsa

$$\gamma_0 = \alpha_0 p_0 + \Delta \alpha_0 p_1 \quad [47]$$

olur. γ_1 ise, numune alındığında kontrol dışı olma olasılığı

(83) A.J. DUNCAN, "The Econ Maintain.....", A.g.k., s.231.

ile numune alındığında kontrol dışı olma olasılığı ile numune alındığında kontrol altında olma olasılığı ve k birim üretimi süresinde kontrol dışına çıkma olasılığına bağlıdır. Açık yazılırsa

$$\gamma_1 = \alpha_1 + (1-\Delta) \alpha_0 p_1 \quad [48]$$

olur.

Sonuçta $P(W=1)$ olasılığı, f ve γ olasılık vektörlerinin çarpımına eşittir. Böylece

$$B [C_3] = a_4 (f_0 \gamma_0 + f_1 \gamma_1) = a_4 f' \gamma \quad [49]$$

olarak bulunur.

$B [C_1]$, $B [C_2]$ ve $B [C_3]$ bileşenlerinin belirlenen, sırasıyla, [33], [42] ve [49] nolu denklemlerdeki eşitlikleri [1] nolu genel maliyet modelinde yerlerine konursa, bir birime düşen toplam maliyet

$$B [C] = \frac{a_1 + a_2 n}{k} + \frac{a_3}{k} q' \alpha + a_4 f' \gamma \quad [50]$$

şeklinde bulunur.

Modelde yer alan a_i , $i=1, 2, 3, 4$, maliyet parametreleri test yönteminden bağımsızdır. f faktörü de test yönteminden bağımsız olmasına karşın, her kalite özelliğinin spesifikasyon değerlerine bağlıdır. q , α ve γ vektörleri ise, verilen açıklamalar ışığında test parametreleri

ile fonksiyonel olarak ilişkilidir. Modelin çözümü ile en-küçük beklenen toplam maliyeti verecek numuneyi oluşturan birim sayısı n , ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken birim sayısı k ve T^2 - kontrol grafiğinin üst kontrol limiti $T_{\alpha,p,n-1}^2$ değerleri bulunur.

Ü Ç Ü N C Ü B Ö L Ü M

MONTGOMERY-KLATT MODELİNİN BİR ARMATÜR İŞLETMESİNDE GENİŞLETİLEREK UYGULANMASI

III.1. ARMATÜR SANAYİİ VE ELE ALINAN İŞLETME

Günlük yaşantımızda sıkça kullanılan ürünlerden biri de armatür sanayii ürünleridir. Konutlarda, iş yerlerinde değişik şekil ve kullanım amacıyla karşımıza çıkarlar. Mutfaktaki lavabonun bataryası, kalorifer kazanının su boşaltma musluğu, bir atölyede kullanılan soğutma suyunun kontrolünü sağlayan vana veya hortumla sağlanan bağlantılarda kullanılan rakorlar bunların bazılarıdır. Özellikle konutlarda kullanılan armatürlerin görünümlerinin yanısıra yer aldıkları sistemdeki sıvıyı sızdırmazlıkları da önemlidir. Ayrıca birlikte kullanılacakları diğer tesisat malzemeleri ile de uyuşmaları gerekir.

Türkiye'de musluk batarya, vana, valf vb. sıhhi tesisat malzemesi ile bunlarla birlikte kullanılabilen armatür üreten birkaç büyük ve orta büyüklükte işletme vardır. Yanısıra 150'ye yakın atelyede aynı alanda faaliyet göstermektedir.

Armatür sanayiinin ürünleri genelde inşaat ve gaz aletleri sektörleri tarafından kullanılmaktadır. Belirtilen sektörler dışında otomotiv sanayiinin kullanım payı %2,4'tür(84). Ürünler; kullanılan malzeme piring (sarı) veya pik demir olması nedeniyle pres veya pik döküm şeklinde üretilmektedir. Ayrıca sıhhi tesisat malzemeleri kromajlı ve sarı mamul olarak ikiye ayrılmaktadır. Piring malzeme kullanılarak yapılan sarı dövme ürünleri üretiminin 1977 yılı itibariyle sektörlerle dağılımı TABLO III.1'de verilmiştir.

TABLO III.1. Sarı Dövme Mamul Kullanımı

S e k t ö r	Ton	%
İnşaat	4000	80,0
Gaz Aletleri	790	16,0
Otomotiv	120	2,4
Diğer	80	1,6
TOPLAM	4990	100,0

(84) TSKB, Dövme Araştırması, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş., Yayın No 27, İstanbul, Ocak 1980, s.17.

Sarı dövme ürünlerin, diğer bir deyişle sıhhi tesisat armatürlerinin temel kullanıcısı konut sektörüdür. Konut sektörünün 1980-1981 yıllarında yaşadığı durgunluk sıhhi tesisat malzemeleri üretimini olumsuz yönde etkilemiştir. Sıhhi tesisat malzemesi talebi konut sektöründeki gelişmeye ve yenileme isteğine bağlıdır. Talep yetersizliği nedeniyle 1981 yılında bazı küçük ve orta büyüklükteki işletmeler faaliyetlerini durdurmak zorunda kalmışlardır. Bağlı olarak kapasite kullanımı % 50'nin altına inmiştir. Ancak, imalat sektörünün bu alt sektöründe faaliyetlerini sürdüren işletmelerin kapasiteleri 1987 yılına kadar oluşacak talebi karşılayacak düzeydedir(85). Atıl kapasitenin kullanımıyla oluşacak ürün fazlasının ihracata yönlendirilmesi gerekmektedir. Dış pazarda ürünün rekabet edebilmesi için ise üretim sürecinde ürün kalitesine verilecek önemin daha da artması gerektiği açıktır.

Ürünlerde yer alan bazı parçalar genelde yarı veya tam otomatik tezgâhlarda üretilmektedir. Üretimi için kullanılan hammadde çoğunlukla yurt içinden sağlanmaktadır. İhracatı yapan işletmeler ihracatları arasında gümrüksüz hammadde getirebilmektedir. Büyük üretici firmaların üretim teknolojisi açısından sorunları yoktur. Geniş ölçüde yan

(85) G. ÇÖKLÜ, R. GEVECİ, Yapı Malzemeleri Üretimi ve İhracat İmkânları, İhracatı Geliştirme Merkezi Yayın No 78, İstanbul, Aralık 83, s.26-27.

sanayii gerektiren armatür üretimi, yan sanayi ürünlerinin büyük oranda kalitesiz olması üretici işletmeler için sorun yaratmaktadır.

Konut sektöründe son yıllarda gözlenen canlanma ve devletin konut yapımını özendirici çalışmaları armatür ve sıhhi tesisat malzemeleri üreten sanayiye de yansımıştır. T²-kontrol grafiği için belirlenen maliyet modelinin genişletilerek uygulanması yakın yıllarda kurulan ve armatür ve sıhhi tesisat malzemeleri üreten bir işletmede yapılmıştır.

Uygulamanın yapıldığı işletme, armatüre ve sıhhi tesisat malzemeleri üretmektedir. Genel Müdürlüğe bağlı olarak işletmede, fabrika müdürünün yanısıra farklı dallarda yaklaşık 20 mühendis görev yapmaktadır. Diğer memur, işçi, teknisyen, programcı vb. personel sayısı ise 510 civarındadır. Ayrıca işletme bünyesinde iki tane de müdürlük yer almaktadır.

İşletmenin kuruluş kapasitesi çok yüksek olup, kapasite kullanım oranı yaklaşık % 70-80 civarındadır. Kapasite, ürün türüne göre farklılık göstermemekte olup toplam kuruluş kapasitesidir.

İşletmenin ürünleri holdinge bağlı iç ve dış pazarlama şirketleri tarafından pazarlanmaktadır. Söz konusu şirketler pazarlama işlevinin yanısıra işletmeye ay temelinde talep tahminleri yapmaktadır. Üretim de talep verilerine göre planlanmakta ve ürünler stoklanmaktadır. Bazen ortaya

çıkan ani siparişleri de karşılamak için üretim yapılmaktadır.

III.2. ÜRETİM SİSTEMİ İÇİNDE KALİTE KONTROL MALİYET ANALİZİ YAPILACAK OLAN PARÇA

III.2.1. Uygulama Yapılacak İşletmede Üretim Sistemi ve Kalite Kontrolü

İşletmede üretimde, temel hammadde bakır-çinko alaşımı olan piringten başka yan sanayiden alınan yaylar, rondelalar, plastik ürünler vb. kullanılmaktadır. Külçe veya çeşitli çap ve şekillerde çubuk şeklinde gelen piring malzeme tesisat armatürlerine dönüştürülmek üzere dört ana üretim bölümünde işlenir. Söz konusu bölümler döküm ve sıcak dövme, mekanik işlemler, yüzeysel işlemler ile montaj ve ambalaj bölümleridir. Belirtilen bölümler dışında kalıp atölyesi, kalite kontrolü, laboratuvar, bürolar gibi destek bölümleri de vardır.

İşletmede teknoloji yoğun bir üretim sistemi vardır. Yeni kurulmuş bir işletme olduğundan ilgili sanayi dalının ileri üretim teknolojisi seçilmiştir. Kullanılan makina ve teçhizatın tamamına yakın bir kısmı yarı veya tam otomatik çalışmaktadır. Tezgahlar farklı ürünler işleyebilecek ve üretebilecek yetenektedir. Yapılan ayarlama ve takım değiştirilmelerle aynı tezgâh birçok farklı ürünü üretebilmektedir. Yanısıra aynı tür tezgâhtan birden fazla olması

nedeniyle, birkaç tezgâh aynı ürünün üretimi için kullanılabilir. Özellikle yedek parça gerektiren tezgâh arızalarında ya iş benzer bir tezgâha aktarılmakta veya ondan sökülen parça arızalı parçanın yerine takılmaktadır. Tezgâhın üretim dışı kaldığı benzer durumlar üretimde atıl kapasite sorununu yaratmaktadır.

Basıncılı döküm veya sıcak dövme tekniğiyle üretilen parçalar gerekli diğer işlemlerin yapılabilmesi için mekanik işlemler atölyesine gönderilir. Burada işlenen parçalar, piring çubuklardan otomatik tezgâhlarda üretilen diğer parçalarla birlikte veya ayrı olarak yüzeysel işlemler atölyesine gelir. Kromajlı ürün veya sarı ürün olarak üretilmesi gerekiyorsa ilgili işlemler yapılır. Montaj ve ambalaj bölümüne tüm işlemleri tamamlanarak gelen parçalar yan sanayi ürünleriyle birlikte montaj edilir ve ambalajlanarak ürün stok ambarına sevk edilir.

Genel çerçevede ele alınan üretim sisteminde, ürün kalitesi sürekli ön planda tutulmaya çalışılmaktadır. Hammaddelerin ve yan sanayi ürünlerinin kalite kontrolleri hazırlanan satınalma şartnamelerine göre yapılmaktadır. Yüzeysel işlemlerden geçen parçalar için % 100 muayene uygulanmaktadır. Mekanik işlem gören veya otomatik tezgâhlarda üretilen parçalar için % 100 muayene veya numune alınarak kalite kontrolü yapılmaktadır. Türk Standardları Enstitüsü'nün (TSE) belirlediği standartlarda üretim yapıldığından ürün kalite kontrolü de kolaylaşmaktadır. Ürünlerde yer alan

yan sanayi ürünleri için de TSE standartlarına uygunluk istenmektedir. Yalnız TSE parçalarda şekil açısından bir serbestlik tanımaktadır. Uygulama konusu olan parçada bu serbestlik görülmektedir.

Döküm veya sıcak dövme ile üretilen parçalar taşıdıkları boşluk, çatlak, kırık vb. kusurların belirlenmesi için % 100 muayeneden geçirilerek sağlam veya hurda olarak ayrılırlar. Hurdaya ayrılan parçalar ergitilmek üzere döküm atölyesine, sağlam parçalar mekanik atölyesine gönderilir. Burada işlenen çoğu parçalar genelde sezgisel yaklaşımla kalite kontroluna tabi tutulurlar. Belirli aralıklarla birkaç parçadan oluşan numuneler ölçülerek veya mastarlanarak kontrol edilir. Sonuca göre operatöre gerekli uyarılar yapılır.

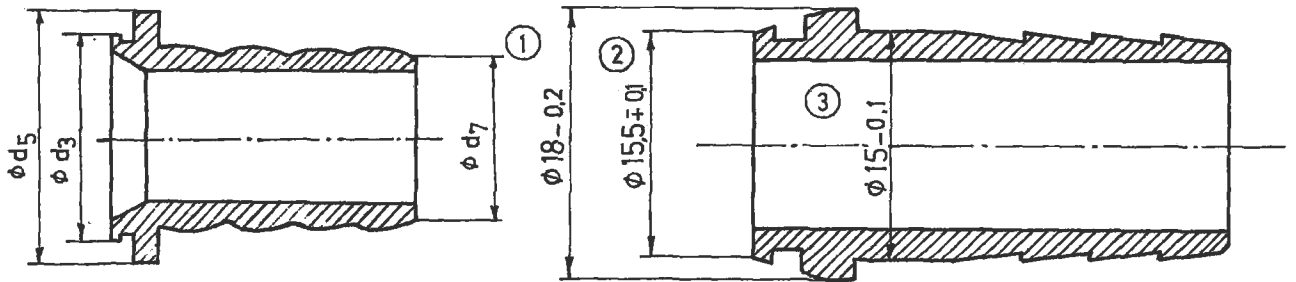
Belirtilen kalite kontrolu uygulamalarının yanısıra kontrol formları ve planları hazırlanmış ve kontrol grafiği uygulamaları da başlatılmıştır. Türetilen istatistikler belirli periyodlara göre değerlendirilmekte ve raporlanmaktadır. İşletmede etkin bir kalite kontrol sistemi kurma çalışmaları sürdürülmektedir. Ayrıca, günümüzde işletmelerin en önemli bölümlerinden biri haline gelen bir bilgi işlem merkezi de vardır.

III.2.2. Ele Alınan Parça

T^2 kontrol grafiğine ilişkin modelin genişletilerek uygulaması, standardı TSE tarafından belirlenen rakor

(hortum ucu) üretiminde gerçekleştirilmiştir. Rakor, "hortumun rakorlu musluğun ağızına başlık yardımıyla bağlanmasına yarayan somundur"(86) şeklinde tanımlanmaktadır.

Rakor, mekanik işlemler atölyesinde çok milli otomatik tezgahlarda piring çubuklardan üretilmektedir. Rakorun geniş bir kullanım alanı vardır. Kalorifer kazanı su boşaltma musluklarında, konutların su tesisatında yer alan bazı musluklarda, çamaşır makinalarında, hortum kullanmayı gerektiren hidrolik, yakıt ve sıvılı soğutma sistemlerinde vb. birçok yerde kullanılmaktadır. İşletmede üretilen rakorun ve TSE'nin belirlediği ve TS 6/9 (87) olarak standartlaştırdığı rakorun teknik resimleri ölçülen kalite özellikleriyle birlikte ŞEKİL III.1'de verilmiştir.



a) Rakor için TS 6/9 Standardı

b) İşletmede Üretilen Rakor

ŞEKİL III.1. Rakorun Teknik Resimleri

(86) TSE, Musluklar (Su Tesisatı İçin), 1. Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1975, s.1.

(87) TSE, Musluklar..., A.g.k., TS 6/9.

Rakor üretiminde özellikle spesifikasyonlara uyması beklenen üç boyut ŞEKİL III.1.b'de görülen ① ② ve ③ nolu çaplar olmaktadır. Çaplardan herhangi birinin spesifikasyonlara uymaması durumunda rakor kusurlu sayılarak ıskartaya ayrılmaktadır. Iskarta rakorların üretim maliyetlerine belirli oranda bir maliyet daha eklenerek döküm atölyesine gönderilmektedir.

İşletmenin mekanik işlemler atölyesindeki aynı modelde ve aynı özelliklere sahip sekiz adet çok milli otomatik tezgahtan herhangi biri rakor üretimi için kullanılabilmektedir. Bir rakor, aynı tezgahta piring çubuk üzerinde altı işlem yapıldıktan sonra meydana gelmektedir. Rakorun yukarıda belirlenen üç boyutu kalite özellikleri olarak belirlenmiştir. Ürün için uygulanmakta olan kalite kontrolü planından farklı olarak üretim anında iki saatlik zaman aralıklarıyla herbiri altı birimden oluşan iki numune olmak üzere toplam on numune alınmıştır. Numunelere alınan rakorların belirtilen üç boyut ölçülmüş ve değerleri Tablo III.2'-de verilmiştir. Ölçülen bu değerler izleyen kesimlerde, dağılım fonksiyonunun belirlenmesinde ve maliyet modelinin çözümünde yer alacaktır.

III.3. MONTGOMERY-KLATT MODELİNDE ÜÇ KALİTE ÖZELLİĞİ DURUMU

Montgomery-Klatt modelinin uygulanması, önceki çalışmalarda iki kalite özelliği dikkate alınarak yapılagelmiştir(88). Bu nedenle de kullanılan dağılım iki değişkenli normal dağılım olmaktadır.

Çalışmada ele alınan parçanın üç kalite özelliği parçanın kalitesini belirlediğine göre, Montgomery-Klatt modeli üç kalite özelliği dikkate alınarak uygulanacaktır. Bu amaçla öncelikle üç değişkenli normal dağılıma gerek vardır. Buna göre, ilgili dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu,

X : kalite özellikleri vektörü, (3×1) boyutlu

μ_0 : anakütle ortalaması, (3×1) boyutlu

Σ : kovaryans matrisi, (3×3) boyutlu olmak üzere, $p=3$ için

$$f(x) = \left[(2\pi)^{3/2} (\det(\Sigma))^{1/2} \right]^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_0) \Sigma^{-1} (x - \mu_0) \right\}$$

şeklinde yazılır. Böylece, sürecin kontrol altında iken hurdaya ayrılacak rakor üretme olasılığı f_0 ile kontrol dışında iken hurdaya ayrılacak rakor üretme olasılığı olan f_1 yukarıdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanır.

(88) D.C. MONTGOMERY, P.J. KLATT, A.g.k., s.107; R.G. HEIKES, vd., A.g.k., s.58.

Dağılımın ortalaması μ_0 , her boyut için belirlenen spesifikasyonun orta değerlerinden diğer bir deyişle nominal değerlerinden oluşacaktır. ŞEKİL III.1.b'ye göre μ_i , i- inci boyutun nominal değeri iken,

$$\mu'_0 = (\mu_1, \mu_2, \mu_3)$$

olarak belirlenir.

Kovaryans matrisi Σ ise

$$\Sigma = \text{Kov} (X, X') = B \left[(X - \mu_0) (X - \mu_0)' \right]$$

şeklinde tamamlanır ve bu matrisin açık şekli

$$\begin{aligned} \Sigma = B & \begin{bmatrix} (X_1 - \mu_1)^2 & (X_1 - \mu_1)(X_2 - \mu_2) & (X_1 - \mu_1)(X_3 - \mu_3) \\ (X_2 - \mu_2)(X_1 - \mu_1) & (X_2 - \mu_2)^2 & (X_2 - \mu_2)(X_3 - \mu_3) \\ (X_3 - \mu_3)(X_1 - \mu_1) & (X_3 - \mu_3)(X_2 - \mu_2) & (X_3 - \mu_3)^2 \end{bmatrix} \\ & = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} & \sigma_1 \sigma_3 \rho_{13} \\ \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} & \sigma_2^2 & \sigma_2 \sigma_3 \rho_{23} \\ \sigma_1 \sigma_3 \rho_{13} & \sigma_2 \sigma_3 \rho_{23} & \sigma_3^2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

olur.

Anakütle ortalaması μ_0 ve kovaryans matrisi Σ nın değerleri belirlenebilir. Anakütle ortalaması μ_0 , ŞEKİL III.1.b'ye göre

$$\mu'_0 = (17,90 \quad 15,50 \quad 14,95)$$

olur.

TABLO III.2. Kalite Özellikleri Ölçüm Değerleri

mm

Numune No	Kalite Özel.	B	İ	R	İ	M	L	E	R
		1	2	3	4	5	6		
1	1	17,84	17,93	17,97	17,96	17,97	17,95		
	2	15,48	15,50	15,53	15,52	15,54	15,51		
	3	14,96	14,98	14,97	14,96	14,96	14,97		
2	1	17,91	17,95	17,86	17,97	17,97	17,98		
	2	15,52	15,53	15,48	15,52	15,52	15,54		
	3	14,97	14,97	14,96	14,96	14,97	14,96		
3	1	17,93	17,94	17,91	17,87	17,95	17,88		
	2	15,50	15,49	15,48	15,46	15,48	15,46		
	3	14,93	14,95	14,93	14,94	14,93	14,93		
4	1	17,93	17,90	17,94	17,97	17,90	17,93		
	2	15,49	15,48	15,49	15,51	15,46	15,49		
	3	14,93	14,98	14,92	14,94	14,93	14,93		
5	1	17,64	17,61	17,80	17,79	17,77	17,78		
	2	15,36	15,34	15,40	15,44	15,43	15,43		
	3	14,93	14,92	14,94	14,92	14,95	14,93		
6	1	17,74	17,75	17,74	17,68	17,75	17,81		
	2	15,41	15,41	15,40	15,38	15,41	15,44		
	3	14,93	14,94	14,93	14,94	14,93	14,94		
7	1	17,83	17,81	17,82	17,78	17,85	17,83		
	2	15,48	15,50	15,50	15,49	15,50	15,50		
	3	14,92	14,93	14,97	14,94	14,97	14,96		
8	1	17,79	17,85	17,79	17,80	17,79	17,85		
	2	15,54	15,51	15,49	15,51	15,51	15,52		
	3	14,96	14,96	14,96	14,95	14,95	14,96		
9	1	17,76	17,82	17,80	17,91	17,84	17,82		
	2	15,41	15,48	15,52	15,48	15,50	15,45		
	3	14,90	14,90	14,96	14,94	14,95	14,96		
10	1	17,83	17,92	17,94	17,88	17,89	17,95		
	2	15,51	15,44	15,49	15,52	15,59	15,62		
	3	14,93	14,89	14,89	14,92	14,94	14,93		

Anakütle kovaryans matrisi Σ 'nın yansız tahmini S olduğuna göre, rakor üretiminden alınan numunelerin TABLO III.2'deki değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu

$$S = \begin{bmatrix} 0,002102 & 0,000788 & 0,000061 \\ 0,000788 & 0,000972 & 0,000205 \\ 0,000061 & 0,000205 & 0,000253 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur.

III.4.MODEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

III.4.1. Maliyet Parametreleri

Ürün kalitesini kontrol etmek için uygulanan T^2 - kontrol grafiği işletme için bir maliyet unsuru olacaktır. Montgomery-Klatt modeline göre T^2 -kontrol grafiği için oluşacak maliyetler aşağıdaki gibidir.

a_1 : numune hacminden bağımsız, numune başına sabit maliyet

a_2 : bir birimi numuneye alma maliyeti

a_3 : araştırma ve düzeltme maliyeti

a_4 : kusurlu birim maliyeti

KKM bileşenlerine göre a_i , $i=1, 2, 3, 4$ maliyet parametreleri incelenirse üç ana başlık altında yer alan bileşenler arasında oldukları görülür. a_3 parametresi koruma maliyetleri arasında yer alan süreç kontrolü maliyetini

oluşturan bir maliyettir. a_1 ve a_2 parametreleri ise sırasıyla, ölçme ve değerlendirme maliyetleri içindeki kuruluş çalışmaları ve test maliyeti bileşenleridir. a_4 ise içsel başarısızlık maliyeti olan ıskarta maliyetine karşı gelmektedir.

Uygulamanın yapıldığı işletmede yukarıdaki maliyet parametrelerinin saptanmasında bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. İlgililerle yapılan görüşmeler sonucu hesaplama işlemleri net bir şekilde belirtilmeksizin,

$$a_1 = 100 \text{ TL/numune} \quad a_2 = 12 \text{ TL/birim}$$

$$a_3 = 320 \text{ TL/saat} \quad a_4 = 20 \text{ TL/birim}$$

olarak belirlenmiştir.

III.4.2. Modelin Diğer Parametreleri

III.4.2.1. λ 'nin Belirlenmesi

İşletmede, rakor üretimi için kullanılabilecek aynı modelde ve aynı özelliklere sahip sekiz tane çok milli otomatik tezgâh vardır. Üretim planı gereğince belirli devrelerde üretilen rakor için sözkonusu tezgâhlardan iki tanesi kullanılmıştır. Tezgâhların farksızlığı dikkate alınarak üretimin, bir tezgâhta yapıldığı varsayılmıştır.

Üretim devrelerinde tezgâhlarda oluşan ve kalite özelliklerini etkileyen arızaların dağılımı incelenmiş ve

yukarıdaki varsayım ışığında TABLO III.3 düzenlenmiştir.

TABLO III.3. Arıza Sayısı Dağılımı

<u>Arıza Sayısı</u>	<u>Gözlem Sayısı</u>
0	26
1	26
2	10
3	4
4	4
5	0

Uygulamanın yapıldığı dönemde işletmede bazı ürünler üç vardiya şeklinde üretilirken rakor üretimi iki vardiyada yapılmıştır. TABLO III.3'de bu durum dikkate alınmış ve tezgâhın iki vardiyada toplam 16 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Böylece, X arıza sayısını ve n_i gözlem sayısını göstermek ve 16 saatteki ortalama arıza sayısı λ olmak üzere

$$\lambda = \frac{\sum n_i x_i}{\sum n_i} = \frac{74}{70} = 1,057 \text{ arıza/16 s.}$$

olarak bulunur.

Tezgâhın rakor üretimi sürecinde, 16 saatlik çalışma sürelerindeki arızaların dağılımının Poisson dağılımına uygunluğu χ^2 - testi ile farklı anlam seviyelerinde sınanmıştır. Test sonuçlarının değişmediği görülerek 16 saatlik çalışma sürelerindeki arızaların dağılımının parametresi $\lambda=1,057$

arıza/16 S. olan Poisson dağılımına uygunluğu belirlenmiştir. Dağılımla ilgili χ^2 testi uygulaması EK.1'de verilmiştir. Ulaşılan sonuçlar çerçevesinde ilgili dağılımın olasılık fonksiyonu da, 16 saatteki arıza sayısı X iken

$$P(X=x) = \begin{cases} \frac{e^{-1,057} (1,057)^x}{x!} & ; x = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & ; d.d. \end{cases} \quad [54]$$

olarak yazılır.

Poisson ve üstel dağılımlar arasındaki ilişki kullanılarak arızalararası sürenin dağılımı belirlenebilir. 16 saatlik çalışma sürelerinde arızalararası sürenin dağılım parametresi $\lambda=1,057$ arıza/16 S. olan üstel dağılım olur. Karşı gelen olasılık yoğunluk fonksiyonu da, Y birbirini izleyen iki arıza arasında geçen süre olmak üzere,

$$g(y) = \begin{cases} (1,057)e^{-1,057y} & ; y \geq 0 \\ 0 & ; d.d. \end{cases}$$

olarak yazılır. Model açısından ele alınırsa, üretim sürecinin kontrol dışına çıkması arıza göstergesi olarak alındığından, modelin (d) varsayımı gereğince sürecin kontrol dışına çıkmadan önce kontrol altında kalma süresinin olasılık yoğunluk fonksiyonu yukarıdaki $g(y)$ fonksiyonu olur. Üretim sürecinin kontrol altında ve kontrol dışı durumları arasındaki geçiş olasılıklarını gösteren M matrisinin elemanlarının hesaplanmasında belirlenen $g(y)$ olasılık yoğunluk fonksiyonundan yararlanılır.

III.4.2.2. q Vektörünün Belirlenmesi

q vektörünün elemanları q_i , $i=0, 1$, sürecin μ_i durumunda olduğu bilindiğinde kontrol yönteminin üretim sürecinin kontrol dışında olduğunu göstermesi koşullu olasılığı olduğundan q_0 seçilen anlam düzeyine eşit olacaktır. q_1 olasılığının bulunabilmesi için öncelikle alınan numuneler yardımıyla merkezsizlik parametresi τ hesaplanmalıdır.

q_0 olasılığı, numunenin test istatistiği, süreç kontrol altında iken

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu_0)' S^{-1} (\bar{X} - \mu_0)$$

olmak üzere, seçilen α anlam düzeyi için

$$q_0 = P(T^2 > T_{\alpha, 3, n-1}^2) = \int_{T_{\alpha, 3, n-1}^2}^{\infty} f(T^2) dT^2 = \alpha$$

şeklinde bulunur.

q_1 olasılığı ise, numunenin test istatistiği, süreç kontrol dışında iken

$$T^{2*} = n(\bar{X} - \mu_1)' S^{-1} (\bar{X} - \mu_1)$$

ve merkezsizlik parametresi

$$\tau = n(\mu_1 - \mu_0)' S^{-1} (\mu_1 - \mu_0)$$

olmak üzere seçilen α anlam düzeyi için

$$q_1 = P(T^{*} > T_{\alpha, 3, n-1}^2) = \int_{T_{\alpha, 3, n-1}^2}^{\infty} f(T^{2*}) dT^{2*}$$

şeklinde bulunur.

Süreç kontrol dışında olduğunda T^{2*} istatistiğinin dağılımı, serbestlik dereceleri $p=3$ ve $n-1$ olan genelleştirilmiş T^2 dağılımı 31 olmaktadır. Aynı zamanda

$$F^* = \frac{n-3}{3(n-1)} T^{2*}$$

istatistiği merkezsizlik parametresi τ olan merkezsiz F^* dağılımı olduğundan q_1 olasılığı belirtilen özelliklerden yararlanarak bulunabilir. Merkezi olmayan F^* dağılımına ilişkin olasılık tabloları yaygın bir kullanıma sahip olmadığından standard normal dağılımdan yararlanılır. Merkezsiz F^* dağılımı ile standard normal dağılım arasında (89) serbestlik dereceleri $r_1 = p$, $r_2 = n-p$ ise,

$$F^* = \frac{r_1 + \tau}{r_1} F \quad [57]$$

$$x = \frac{\left(\frac{r_1 F^*}{r_1 + \tau} \right)^{1/3} \left(1 - \frac{2}{9r_2} \right) - \left(1 - \frac{2(r_1 + 2\tau)}{9(r_1 + \tau)} \right)}{\left[\frac{2}{9} \frac{r_1 + 2\tau}{(r_1 + \tau)^2} + \frac{2}{9r_2} \left(\frac{r_1 F^*}{r_1 + \tau} \right)^{2/3} \right]^{1/2}} \quad [58]$$

(89) M. ZELEN, N.C. SEVERO, "Probability Functions", Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, (Editörler: M.Abramowitz, I.A.Stegun), Dover Publications, Inc., New York, 1965, s.948.

şeklinde tanımlandığında

$$P(x) = P(X < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-z^2/2} dz$$

olmak üzere

$$P(F^*; r_1, r_2, \tau) \approx P(x) \quad [59]$$

ilişkisi vardır.

Süreç kontrol altında olduğunda,

$$F_{\alpha, 3, n-3} = \frac{n-3}{3(n-1)} T_{\alpha, 3, n-1}^2$$

yazılabildiğinden seçilen α anlam düzeyinde farklı n 'ler için $F_{\alpha, 3, n-3}$ değerleri F dağılım tablosundan bulunarak F^* değerleri nesaplanır. Her F^* için x değeri ve karşı gelen $P(x)$ olasılıkları da standard normal dağılım tablosundan belirlenir. Böylece, her n için seçilen $\alpha=q_0$ değerine karşı gelen q_1 olasılıkları bulunur.

III.4.2.3. f Vektörünün Belirlenmesi

f vektörünün elemanları f_0, f_1 'in bulunabilmesi için üçdeğişkenli normal dağılım tabloları kullanmak gerekir. Maliyet modelinin çözümünde, f_0 ve f_1 'in hesaplanmasında kullanılan üçdeğişkenli normal dağılım tablosunda(90) ρ_{ij} , $i \neq j$, değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı olmak üzere

(90) G.P. STECK, "A Table for Computing Trivariate Normal Probabilities", Annals of Mathematical Statistics, C.29, 1958, s.780-781.

$$C(h,k,m;\rho_{12},\rho_{13},\rho_{23}) = P(X_1 \leq h, X_2 \leq k, X_3 \leq m) \quad [60]$$

bir başka gösterimle

$$C(h,k,m;\rho_{12},\rho_{13},\rho_{23}) = \int_{-\infty}^h \int_{-\infty}^k \int_{-\infty}^m f(x_1, x_2, x_3, \rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{23}) dx_1 dx_2 dx_3$$

olasılıklarının hesaplanmasında kullanılan bir fonksiyonun değerleri verilmiştir. Bunun yanısıra,

$$D(h,k,m;\rho_{12},\rho_{13},\rho_{23}) = P(X_1 \geq h, X_2 \geq k, X_3 \geq m) \quad [61]$$

olasılıklarıda bazı eşitlikler yardımıyla bulunabilmektedir.

Rakorun ölçülen kalite özelliklerine karşı gelen tolerans aralığı $\pm 3\sigma_i$, $i=1,2,3$, olarak alınmıştır. Alt ve üst spesifikasyon vektörleri de ŞEKİL III.2.b'ye göre sırasıyla,

$$A' = [17,80 \quad 15,40 \quad 14,90] \quad U' = [18,00 \quad 15,60 \quad 15,00] \quad [62]$$

olacaktır. Numuneye alınan bir rakora ilişkin değerler vektörü X , sürecin kontrol dışı durumundaki ortalama vektörü μ_1 , numune kovaryans matrisi S olmak üzere, f vektörünün elemanları,

$$D = (2\pi)^{3/2} (\det(S))^{1/2} \approx 1$$

olmak üzere,

$$f_o \approx 1-D \int_{17,80}^{18,00} \int_{15,40}^{15,60} \int_{14,90}^{15,00} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x-\mu_o)' S^{-1} (x-\mu_o) \right\} dx_3 dx_2 dx_1 \quad [63]$$

$$f_1 \approx 1 - D \int_{17,80}^{18,00} \int_{15,40}^{15,60} \int_{14,90}^{15,00} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_1)' S^{-1} (x - \mu_1) \right\} dx_3 dx_2 dx_1 \quad [64]$$

şeklinde hesaplanır.

f_0 ve f_1 hesaplamasında hazır tabloların kullanılabilmesi için spesifikasyon vektörlerinin standartlaştırılması ve kalite özellikleri arasındaki korelasyonun belirlenmesi gerekir. Vektörlere,

$$z_i = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}, \quad i = 1, 2, 3$$

dönüşümü uygulanırsa standartlaştırılmış $A'_0 = [-3 \ -3 \ -3]$ ve $U'_0 = [3 \ 3 \ 3]$ vektörleri elde edilir. Söz konusu korelasyon için katsayılar $\rho_{12} = 0,722$, $\rho_{13} = 0,175$ ve $\rho_{23} = 0,387$ olarak hesaplanmıştır.

f_0 olasılığının bulunmasında

$$B_1 = D \int_{-\infty}^{18,00} \int_{-\infty}^{15,60} \int_{-\infty}^{15,00} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_0)' S^{-1} (x - \mu_0) \right\} dx_3 dx_2 dx_1 \quad [65]$$

$$B_2 = D \int_{-\infty}^{17,80} \int_{-\infty}^{15,40} \int_{-\infty}^{14,90} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_0)' S^{-1} (x - \mu_0) \right\} dx_3 dx_2 dx_1 \quad [66]$$

şeklinde tanımlanırsa,

$$f_0 \approx 1 - (B_1 - B_2) \quad [67]$$

olarak hesaplanır. Buradan

$$B_1 = C(3, 3, 3; 0, 722, 0, 175, 0, 387)$$

$$B_2 = C(-3, -3, -3; 0, 722, 0, 175, 0, 387)$$

yazılarak, üçdeğişkenli normal dağılım tablosu kullanımına geçilir.

B_1 ve B_2 olasılıkları doğrudan üçdeğişkenli normal dağılım tablosundan bulunamaz. Standart normal ve ikideğişkenli normal dağılımlar için düzenlenen tabloların da kullanılmasını gerektiren bazı dönüşümlerin yapılması zorunludur. Ayrıca birkaç tane de yararlanılacak özellik vardır. Dönüşümler ve yararlanılan özellikler EK 2'de verilmiştir.

Yapılan işlemler sonucunda

$$B_1 = 0,990326 \quad [68]$$

$$B_2 = 0,008323$$

olarak bulunmuştur. B_1 ve B_2 yukarıda [67] yerlerine konulursa, süreç kontrol altında iken kusurlu parça üretme olasılığı

$$f_o = 1 - (0,990326 - 0,008323) = 0,018 \quad [69]$$

olarak hesaplanır.

f_1 olasılığının bulunabilmesi için sürecin kontrol dışı durumunun belirlenmesi gerekir. Açık bir ifadeyle, üretilen parçaların iskartaya ayrılmalarını gerektirecek μ_1

ortalama vektörü tanımlanmalıdır. Sürecin kontrol dışı durumu için $\delta_1' = 2[\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3]$ olmak üzere

$$\mu_1 = \mu_0 + \delta_1 \quad [70]$$

olarak tanımlanacaktır. Süreç kontrol dışında iken ıskarta parça üretme olasılığı, D önceden tanımlandığı gibi

$$f_1 \approx 1 - D \int_{17,80}^{18,00} \int_{15,40}^{15,60} \int_{14,90}^{15,00} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x-\mu_1)'S^{-1}(x-\mu_1)\right\} dx_3 dx_2 dx_1$$

olarak bulunur.

f_0' ın hesaplanmasındaki adımlar izlenirse

$$B_3 = D \int_{-\infty}^{18,00} \int_{-\infty}^{15,60} \int_{-\infty}^{15,00} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x-\mu_1)'S^{-1}(x-\mu_1)\right\} dx_3 dx_2 dx_1$$

$$B_4 = D \int_{-\infty}^{17,80} \int_{-\infty}^{15,40} \int_{-\infty}^{14,90} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x-\mu_1)'S^{-1}(x-\mu_1)\right\} dx_3 dx_2 dx_1 \quad [71]$$

olarak yazılabilir. A ve U spesifikasyon vektörleri μ_1 için standartlaştırılırsa karşı gelen

$$A_1' = [-5,01, -5,01, -4,98] \quad U_1' = [0,99, 0,99, 1,02] \quad [72]$$

vektörleri bulunur. Normal dağılım tablolarının kullanılabilmesi için

$$B_3 = C(0,99, 0,99, 1,02; 0,722, 0,175, 0,387)$$

$$B_4 = C(-5,01, -5,01, -4,498; 0,722, 0,175, 0,387) \quad [73]$$

yazılır ve gerekli hesaplamalar yapılırsa

$$\begin{aligned} B_3 &= 0,651451 \\ B_4 &= 2,895 \cdot 10^{-5} \end{aligned} \quad [74]$$

olarak bulunur. Sonuçta

$$f_1 \approx 1 - (0,651451 - 2,895 \cdot 10^{-5}) = 0,349 \quad [75]$$

olur.

Modelde yer alan diğer parametreler modelin karar değişkenlerine bağlıdır. Çözüm evrelerinde belirlenirler. Bağlı olarak modelin çözümü belirlenen şekliyle oldukça karmaşık teknikler kullanımını gerektirir ve zaman alıcıdır. Model üzerinde bazı çalışmalar yapılırsa güçlükler bir derece azaltılabilir.

III.5 MODELİN ÇÖZÜMÜ

Modelin çözümünde işlem kolaylığı amacıyla bazı dönüşümler yapılarak daha sade bir şekle getirilebilir.

III.5.1. Modelin Sadeleştirilmesi

Montgomery-Klatt modeli [50], vektörlerin elemanları kullanılarak açık yazılırsa

$$B[C] = \frac{a_1 + a_2 n}{k} + \frac{a}{k} [q_o q_1] \begin{bmatrix} q_1 p_o / (p_1 + q_1 p_o) \\ p_1 / (p_1 + q_1 p_o) \end{bmatrix} + a_4 [f_o f_1] \begin{bmatrix} \alpha_o p_o + \Delta \alpha_o p_1 \\ \alpha_1 + (1 - \Delta) \alpha_o p_1 \end{bmatrix}$$

elde edilir. Çözümü oldukça karmaşık olan bu yeni şekil uygun dönüşümlerle çözümü daha basit olan bir yapıya kavuşturulabilir.

p_i , x_i ve α_i , $i=0,1$, olasılıklarının hesaplanmasında yer alan $\lambda k/R$ terimi yerine bir değişken kullanılabilir. Bu değişken $K=\lambda k/R$ olarak tanımlansın. K 'nın alabileceği değerlerin belirlenmesi gerekir.

Yapılan dönüşümle $0 < K \leq 1$ olması zorunludur. λ 'nın büyük olması durumunda, bir başka deyişle birim süredeki ortalama arıza sayısının büyük olması üretim sürecine daha sık müdahaleyi gerektirecektir. Bağlı olarak sürecin kontrolü sıklaşacaktır. Bir başka anlamda az sayıda birim üretildikten sonra kontrol yapılması gerekecektir. Ayrıca λ büyük iken k değeri de $\lambda k \gg R$ olacak şekilde seçilirse, sürecin k birim üretilinceye kadar kontrol altında kalma olasılığı p_0 küçülecek, kontrol dışında olma olasılığı p_1 büyüyecektir. Kontrol dışında iken üretilen ıskarta birimler, maliyetin önemli ölçüde artmasına neden olacaktır.

λ 'nın küçük olması durumunda daha büyük k değeri için kontrol altında kalacaktır. $\lambda k < R$ olduğu sürece $0 < K < 1$ ve p_0 büyük olacaktır. $\lambda k \gg R$ için ise, $K > 1$ olacak fakat p_0 küçülecektir. p_0 'ın küçülmesi p_1 'in büyümesi, bir başka anlamda ıskarta birimlerin ve bağlı olarak maliyetlerin artması anlamında olacaktır.

Karar değişkenlerine bağlı olan q , γ ve α vektörlerinin arasında birini diğeri türünden yazacak dönüşümler yapılabilir. Ayrıca, maliyet parametrelerini içeren,

$$A_i = \frac{a_i \lambda/R}{a_4}, \quad i = 1, 2, 3$$

yazılırsa, önceden yapılan dönüşümlerde kullanılarak maliyet modelinin [50] yeni yapısı,

$$B[C] = \frac{A_1 + A_2 n}{K} + \frac{A_3}{K} \cdot \frac{q_1 [1 - e^{-K(1-q_0)}]}{1 - e^{-K} (1 - q_1)} - \frac{(f_1 - f_0) q_1 e^{-K(1 - e^{-K})}}{K [1 - e^{-K} (1 - q_1)]} + f_1 \quad [76]$$

olarak elde edilir.

Modelin sadeleştirilmiş şeklinde karar değişkeni olarak n ve K değişkenleri yer almaktadır. Karmaşık çözüm tekniklerine başvurulmaksızın modelin çözümü araştırılabilir.

III.5.2. Verilen α için Çözüm

Montgomery-Klatt modelinin sadeleştirilmiş şeklinin [76] çözümü, verilen bir I. Tip Hata, α , için araştırılır. F dağılımı ve T^2 nin dağılımı arasındaki ilişkiler ve q_1 olasılıklarının hesaplanması α 'nın önceden belirlenmiş olmasını gerektirmektedir. Çözümde $\alpha = 0,025$ olarak alınmış ve ilgili parametreler buna göre hesaplanmıştır.

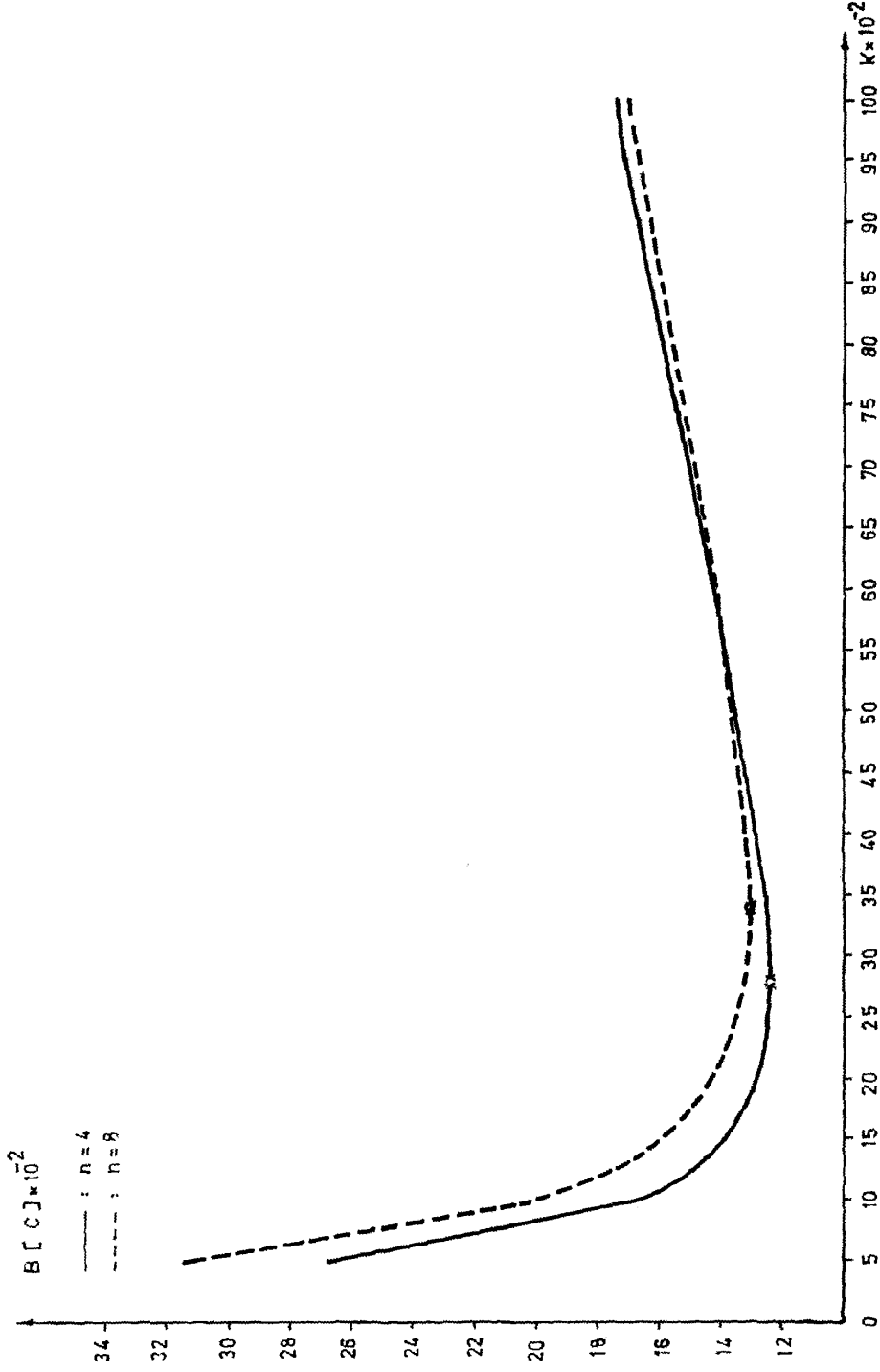
Modelin çözümünde dikkate alınması gereken diğer bir nokta da, karar değişkeni n 'nin, diğer bir deyişle, numuneye alınacak birim sayısının alt sınırıdır. T^2 nin dağılımı ve

F dağılımı gereğince, Önceden de belirtildiği gibi p ilgilenilen kalite özelliği sayısı olmak üzere $n \geq p$ koşulu vardır. Sözedilen dağılımların serbestlik dereceleri de dikkate alındığında $n - p \geq 1$ ve bağlı olarak $n \geq p + 1$ olması gerektiği ortaya çıkar. $p + 1$ değeri n 'nin değer kümesinin enküçük elemanı ve alt sınır değeri olur. İlgilenilen parça rakor için $p = 3$ olduğuna göre $n \geq 4$ olarak belirlenir.

Maliyet modeli, kısıtsız bir doğrusal olmayan programlama modelidir. Modelin çözümünde karmaşık çözüm teknikleri arayışına veya kullanımına gidilmemiştir. Günümüzde her alanda yaygın olarak kullanılan bilgisayar teknolojilerinden yararlanılmıştır. Sayımlama yöntemiyle (enumeration method) modelin uygun çözümü araştırılmıştır. Herbir n_i ye karşı gelen q_{1i} olasılığı diğer parametrelerle birlikte kullanılarak $enb\ B[C^*]$ maliyet değerini veren K değeri saptanmaya çalışılmıştır. K için $0 < K \leq 1$ olmak üzere sıfıra yakın bir başlangıç değeri alınmış ve binde seviyesinde, 1'e kadar arttırılarak $B[C^*]$ maliyet değerleri hesaplanmıştır. Rakorun ölçülen kalite özelliklerinin belirlenen spesifikasyonlarının çok duyarlı olmaması ve maliyet parametrelerinin düşük olması nedeniyle K 'nın binde seviyesinde arttırılması yeterli görülmüştür. $n = 4$ ve $n = 8$ için bazı K değerlerine karşı gelen $B[C^*]$ maliyetleri TABLO III.4'de ve grafiği ŞEKİL III.2'de verilmiştir. Belirtilen n 'ler için K ve $B[C^*]$ değerlerinin tümü EK.5'te yer almıştır.

TABLO III.4. Bazı n değerleri için K ve $B[C^*]$ maliyetleri

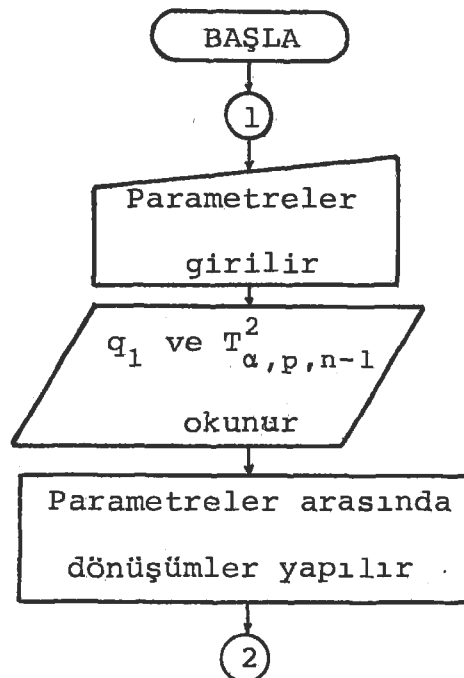
K	$B[C^*], n=4$	$B[C^*], n=8$
0,050	0,26860	0,33533
0,100	0,16711	0,19916
0,150	0,13855	0,15856
0,200	0,12798	0,14167
0,250	0,12443	0,13412
0,275	0,12403	0,13222
0,280	0,12403	0,13194
0,300	0,12423	0,13113
0,335	0,12525	0,13061
0,340	0,12543	0,13061
0,350	0,12585	0,13066
0,400	0,12851	0,13168
0,450	0,13179	0,13365
0,500	0,13544	0,13621
0,550	0,13930	0,13917
0,600	0,14327	0,14238
0,650	0,14729	0,14575
0,700	0,15132	0,14922
0,750	0,15532	0,15273
0,800	0,15927	0,15626
0,850	0,16315	0,15979
0,900	0,16696	0,16328
0,950	0,17069	0,16674
1,000	0,17433	0,17015

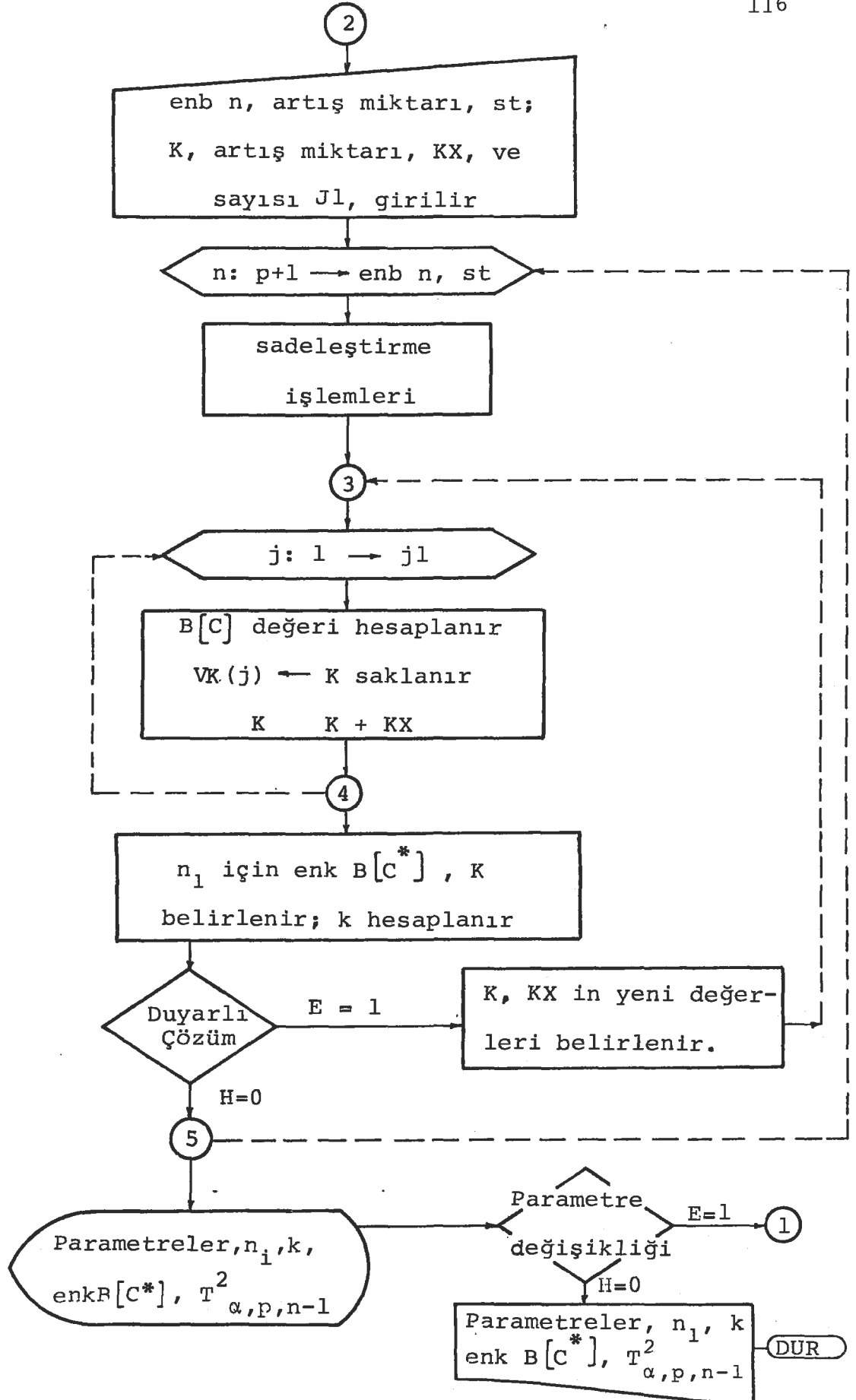


ŞEKİL III.2. Bazı n Değerleri için $B [C^*]$ Maliyet Grafikleri

Maliyetler arasından en $B[C^*]$ maliyeti ve karşı gelen K değeri her bir n_i için belirlenmiştir. K nin tanımında yer alan saatteki üretim miktarı $R=750$ adet/saat olarak bilindiğine göre, ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken rakor sayısı olan k hesaplanmıştır. Modelin karar değişkenleri n ve k 'nin belirlenmesine bağlı olarak üçüncü karar değişkeni $T_{\alpha,p,n-1}^2$ değeri bulunmuştur.

Çözüm için geliştirilen algoritmaya ilişkin bilgisayar programı "ÇÖZÜM", BASIC dilinde yazılmış ve EK.3'de verilmiştir. Programın önceden belirlenen parametreler kullanılarak çalıştırılması sonucu bulunan n_i birimlik ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken k adet rakor sayıları ve $T_{\alpha,3,n-1}^2$ değerleri karşı gelen en $B[C^*]$ maliyeti ile birlikte TABLO III.5'de verilmiştir. Programın genel akış şeması ŞEKİL III.3'dedir.

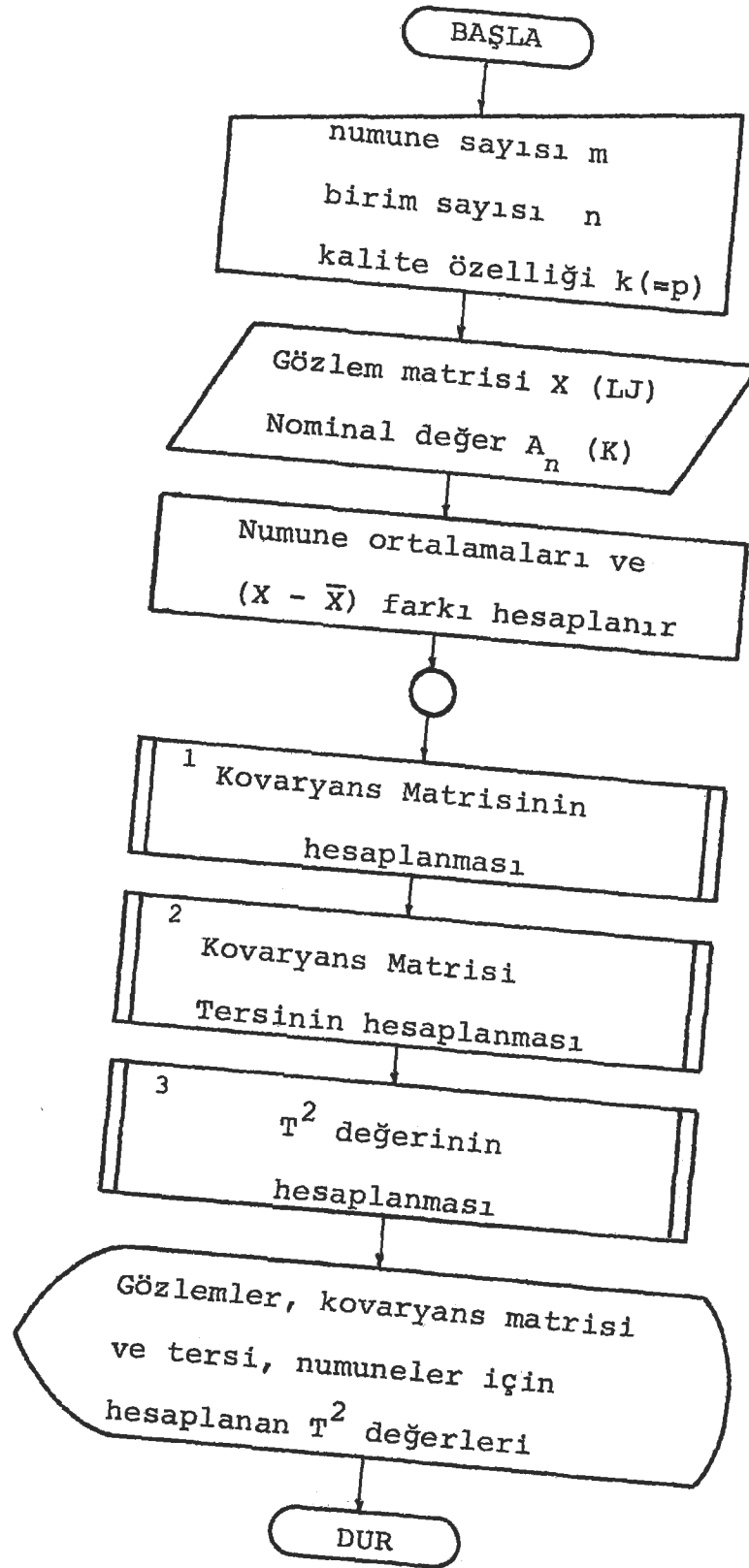




ŞEKİL III.3. ÇÖZÜM Programının genel akış şeması

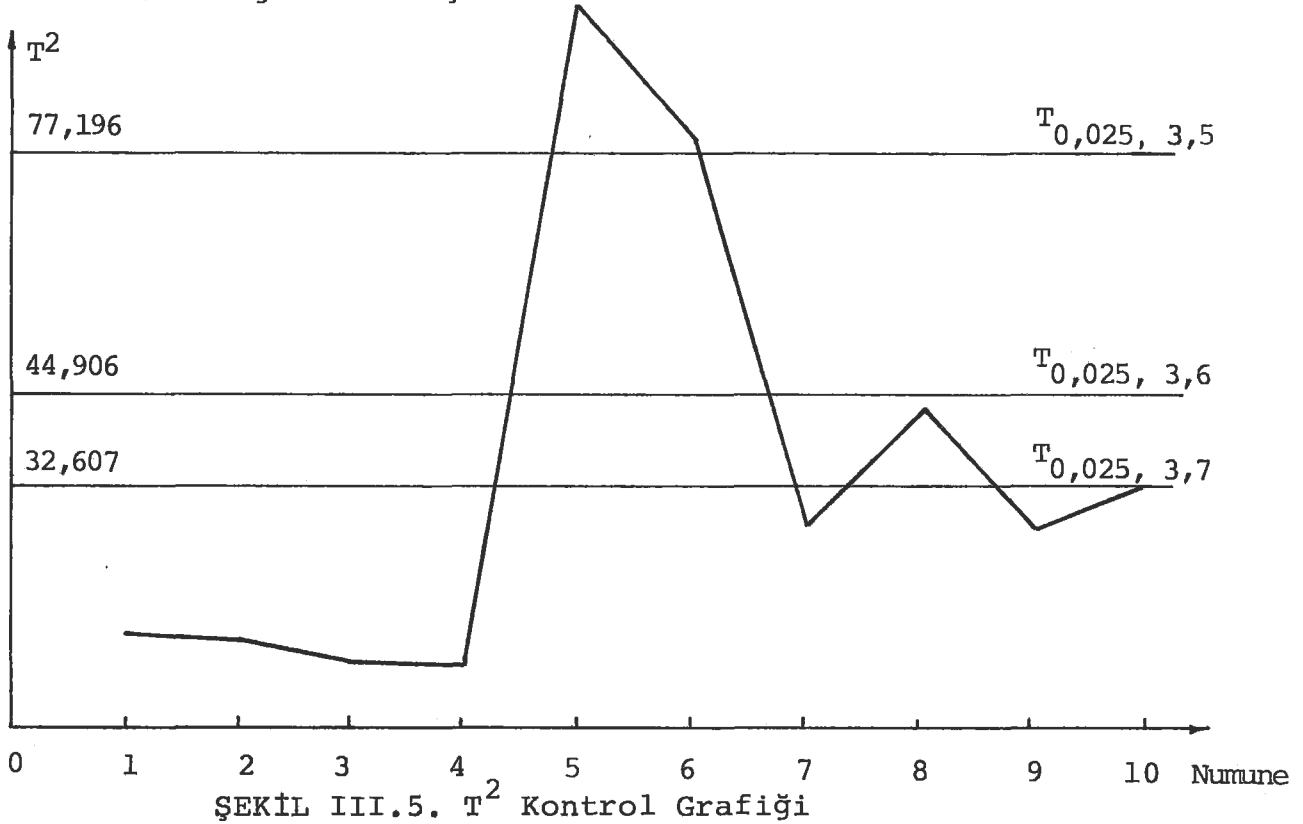
TABLO III.5. Belirlenen Parametrelere Göre Modelin
Çözüm Sonuçları

n	k	B C *	$T_{0,025,3,n-1}^2$
4	197	0,12403	7777,440
5	211	0,12414	234,993
6	221	0,12618	77,196
7	230	0,12837	44,906
8	240	0,13061	32,607
9	248	0,13280	26,395
10	255	0,13499	22,718
11	264	0,13711	20,310
12	271	0,13921	18,620
13	280	0,14127	17,372
14	287	0,14330	16,416
15	294	0,14529	15,660
16	301	0,14725	15,048
17	308	0,14916	14,453
18	315	0,15105	14,120
19	322	0,15291	13,759
20	329	0,15472	13,449
21	335	0,15651	13,180
22	342	0,15826	12,943
23	349	0,15999	12,734
24	355	0,16168	12,547
25	362	0,16335	12,380
26	368	0,16499	12,230
27	373	0,16660	12,094
28	380	0,16818	11,969
29	386	0,16975	11,856
30	393	0,17128	11,752
31	399	0,17280	11,656
32	404	0,17429	11,273



ŞEKİL III.4. XT2 Programının genel akış şeması

ÇÖZÜM programıyla türetilen seçenekler arasından numuneyi oluşturacak birim sayısına karar verilir. Buna uygun olarak alınan birimlerin ölçülen kalite özelliklerinden yararlanarak numunenin T^2 değeri hesaplanır ve T^2 - kontrol grafiğine işaretlenir. Belirtilen amaç çerçevesinde geliştirilen ve ÇÖZÜM programını bir ölçüde tamamlar yapıdaki EK 4'te yer alan XT2 programının genel akış şeması ŞEKİL III.4'te verilmiştir. Ayrıca alınan 10 numunenin hesaplanan T^2 istatistikleri ve bazı n 'ler için üst kontrol limiti $T_{\alpha,3,n-1}^2$ değerleri T^2 - kontrol grafiği üzerine işaretlenerek ŞEKİL III.5'de gösterilmiştir.



Montgomery-Klatt maliyet modeli bir T^2 - kontrol grafiğine uygulandığında grafiğe ilişkin karar değişkenleri belirlenir. Yapılacak işlemler aşağıda adımları verilen bütünleşik bir algoritma ile ifade edilebilir.

- A1. Ürünün üretim süreci ayrıntılı olarak incelenir ve arıza veya kontrol dışı durumu sayısına ilişkin λ parametresi belirlenir.
- A2. Birim üretim süresinden hareketle bir saatte üretilen ürün miktarı, R , bulunur.
- A3. İşletmenin ilgili birimleriyle görüşerek maliyet modelinde yer alan a_i , $i=1, 2, 3, 4$ maliyet parametreleri belirlenir.
- A4. Üretim sürecinden belirli aralıklarla n birimlik numuneler alınarak kalite özelliklerinin bileşik dağılım fonksiyonu belirlenir.
- A5. Bileşik dağılım fonksiyonundan hareketle sürecin kontrol altında, μ_0 ve kontrol dışında, μ_1 , iken kusurlu ürün üretme olasılıkları sırasıyla f_0 ve f_1 çokdeğişkenli normal dağılım tabloları kullanılarak veya nümerik integrasyon ile hesaplanır.
- A6. Seçilen α anlam düzeyinde T^2 , F , T^{2*} , F^* ve normal değişkenleri arasındaki ilişkiler yardımıyla q_0 ve farklı n 'ler için q_1 olasılıkları hesaplanır.
- A7. Maliyet modeli, a_j , $j=1, 2, 3, 4$, f_i , $i=0, 1$, q_0 ve her bir n_i için karşı gelen q_{1i} değerleri kullanılarak çözülür.
- A8. Çözüm sonucu en küçük maliyeti veren n , k ve

$T_{\alpha,p,n-1}^2$ değişkenlerinin değerlerine göre T^2 -kontrol grafiği çizilir.

A9. Süreçten her k birim üretimden sonra n birimlik bir numune alınır ve T^2 değeri hesaplanır. T^2 -kontrol grafiğinde işaretlenir. $T^2 > T_{\alpha,p,n-1}^2$ ise sürecin kontrol dışı olduğuna karar verilir ve süreç incelenip düzeltilir.

A10. Maliyet parametrelerinde, kalite özellikleri arasındaki ilişkilerde, kontrol dışı, μ_1 , durumundaki değişmelerin etkileri araştırılmak istenirse A5'e geri dönülür veya işlemler sona erdirilir.

III.5.3. Duyarlılık Analizleri

Montgomery-Klatt maliyet modelinin parametrelerinin çoğu karar değişkenlerine bağlıdır. Model bu yapısıyla, parametrelerin farklı değerleri için çözüldüğünde karar vericiye bir sençenekler kümesi sağlamaktadır.

Maliyet parametrelerine karşı modelin duyarlılığını incelemek amacıyla maliyet parametreleri değiştirilerek model yeniden çözülmüştür. Bir önceki çözüm için kullanılan parametrelerden maliyet parametreleri a_i , $i=1, 2, 3, 4$, dışında tümü sabit tutulmuştur. Sürecin içinde bulunduğu durumda oluşan maliyetler, diğer bir ifadeyle, önceki çözümde kullanılan maliyet parametreleri 1. Grup ve değiştirilmiş

yeni maliyet parametreleri 2. Grup olmak üzere birlikte

TABLO III.6. Maliyet Parametreleri Grupları

Maliyet Parametresi	D E Ğ E R		Birim
	I. Grup	2. Grup	
a_1	100	200	TL
a_2	12	15	TL/birim
a_3	320	400	TL/saat
a_4	20	30	TL/birim

Bilgisayar programı ÇÖZÜM, 2. Grup maliyet parametreleri için yeniden çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, n'nin çift değerleri için 1. Grup sonuçları ile birlikte TABLO III.7'de, karşı gelen grafiği de ŞEKİL III.6' de verilmiştir.

Çözüme ilişkin ŞEKİL III.6'daki grafik incelenirse, ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken rakor sayısı $n < 14$ oluncaya kadar 2. grup maliyetler için 1. Grup maliyetlere karşı gelen değerlerin üstünde azalarak artmakta olduğu görülür. $n > 14$ için yukarıdaki durum tersine dönmüştür. $n = 14$ için ise, her iki maliyet grubuna göre, ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken rakor sayıları eşit olmaktadır. Numuneler 14 birimden oluştuğunda belirlenen $k = 287$ değeri maliyet gruplarına karşı kayıtsız kalmaktadır.

Aynı şekil üzerinde yer alan bir birime düşen toplam kalite kontrol maliyetleri $n < 8$ iken 1. grupta yer alan maliyet parametreleri için düşük, 2. gruptakiler için yüksektir. $n=8$ iken her iki grup için $B[C^*]$ maliyetleri eşit olmaktadır. İzleyen n değerlerinde $B[C^*]$ maliyeti 1. grup için artış, 2. grup için azalış göstermektedir. Bir birime düşen toplam kalite kontrol maliyetleri, $B[C^*]$ arasındaki farkların çok az olmasına karşın karşı gelen ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken üretim miktarları k arasındaki farkları artan bir şekilde seyretmektedir.

Modelin kontrol dışı durum ortalaması μ_1 'e karşı duyarlılığı da incelenmiştir. Kontrol dışı durumu için $\mu_1 = \mu_0 + 2,5 \sigma'$ olarak tanımlanmıştır. Bilgisayar programı ÇÖZÜM yukarıdaki maliyet grupları için diğer parametreler sabit tutularak çalıştırılmış ve yeni çözümler elde edilmiştir. TABLO III.8'de verilen toplu çözüm sonuçlarında da görüldüğü gibi ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken parça sayısı k her iki maliyet grubu için önemli miktarda azalmıştır. Birime düşen toplam kalite kontrol maliyetlerinde ise bir önceki kontrol dışı duruma göre artışlar gözlenmiştir. Sözkonusu durumu gösteren grafikler ŞEKİL III.7'de verilmiştir.

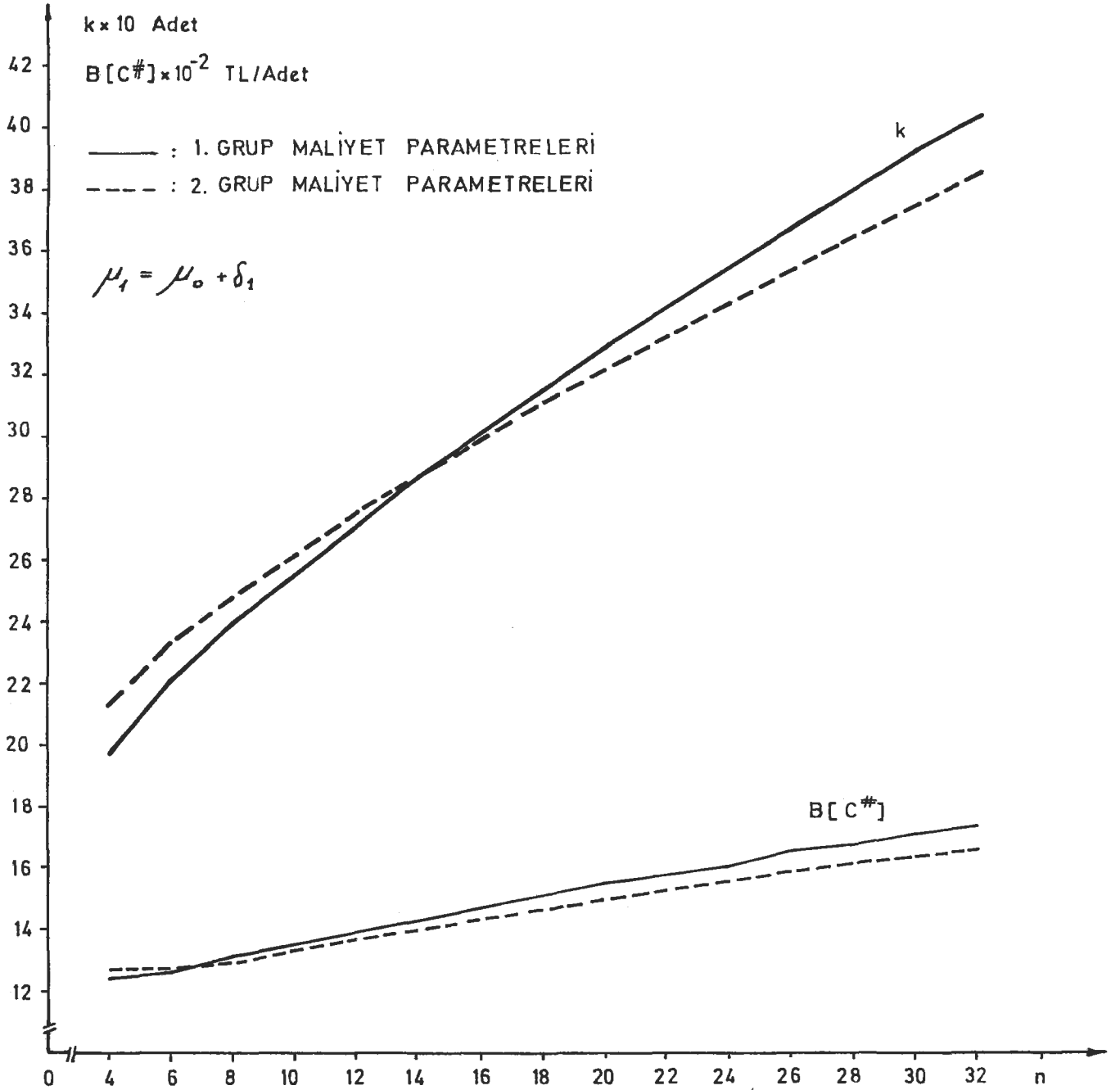
İncelenen kontrol dışı $\mu_1 = \mu_0 + 2,5 \sigma'$ durumunda, $n < 15$ iken 2. grup maliyet parametrelerine karşı gelen k değerleri, 1. grup için belirlenen k değerlerinin üzerinde ve azalan bir seyir izlemektedir. $n=15$ için belirlenen $k=227$ değeri maliyet grupları için kayıtsızlık göstermek-

TABLO III.7. Kontrol Dışı Durumu $\mu_1 = \mu_0 + \delta_1$ için Maliyet
Parametre Gruplarına Göre Çözüm Sonuçları

n	Maliyet Para.Gu.	k	B C *	$T_{0,025; 3, n-1}^2$
4	1	197	0,12403	7777,44
	2	213	0,12678	
6	1	221	0,12618	77,196
	2	233	0,12747	
8	1	240	0,13061	32,607
	2	248	0,13081	
10	1	255	0,13499	22,718
	2	261	0,13425	
12	1	271	0,13921	18,620
	2	275	0,13764	
14	1	287	0,14330	16,416
	2	287	0,14098	
16	1	301	0,14725	15,048
	2	299	0,14427	
18	1	315	0,15105	14,120
	2	311	0,14745	
20	1	329	0,15472	13,449
	2	322	0,15055	
22	1	342	0,15826	12,943
	2	333	0,15357	
24	1	355	0,16168	12,547
	2	343	0,15650	
26	1	368	0,16499	12,230
	2	355	0,15934	
28	1	380	0,16818	11,969
	2	365	0,16211	
30	1	393	0,17128	11,752
	2	376	0,16481	
32	1	404	0,17429	11,568
	2	386	0,16743	

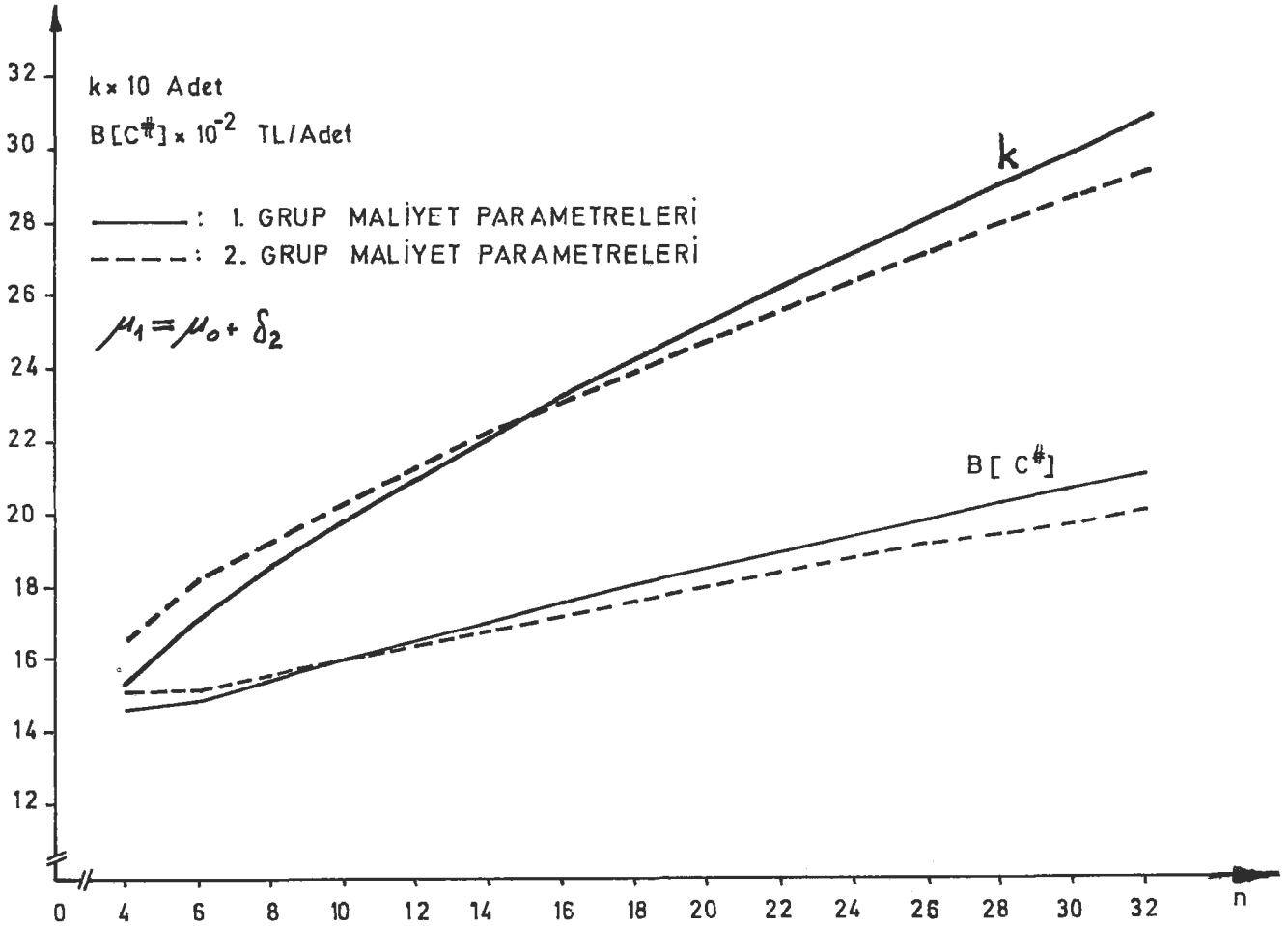
TABLO III.8. Kontrol Dışı Durumu $\mu_1 = \mu_0 + \delta_2$ İçin Maliyet
Parametre Gruplarına Göre Çözüm Sonuçları

n	Maliyet Para.Gu.	k	B C [*]
4	1	153	0,14670
	2	165	0,15102
6	1	172	0,14937
	2	182	0,15180
8	1	186	0,15505
	2	193	0,15607
10	1	199	0,16061
	2	203	0,16042
12	1	210	0,16609
	2	213	0,16482
14	1	221	0,17135
	2	223	0,16911
16	1	233	0,17646
	2	231	0,17334
18	1	243	0,18140
	2	240	0,17747
20	1	253	0,18616
	2	248	0,18148
22	1	263	0,19076
	2	257	0,18538
24	1	272	0,19521
	2	263	0,18919
26	1	282	0,19952
	2	272	0,19288
28	1	291	0,20370
	2	281	0,19648
30	1	299	0,20775
	2	288	0,19999
32	1	309	0,21168
	2	295	0,20341



ŞEKİL III.6. Maliyet Parametrelerinin Değişmesinin
 Çözümüne Etkisi

göstermektedir. $n=10$ için ise $B[C^*]$ maliyeti her iki grup için eşit olmaktadır.



ŞEKİL III.7. μ_1 'in Değişmesi Durumunda Maliyet Parametrelerinin Değişmesi

Modelin kontrol dışı durumu belirleyen δ vektörünün değişmelerine duyarlılığı diğer parametreler sabit tutularak araştırılmıştır. Her iki maliyet parametresi grubu için kontrol dışı durum $\delta_1 = 2\sigma'$, $\delta_2 = 2,5\sigma'$ olmak üzere $\mu_1 = \mu_0 + \delta_1$ ve $\mu_2 = \mu_0 + \delta_2$ alınarak ayrı ayrı çözülmüştür.

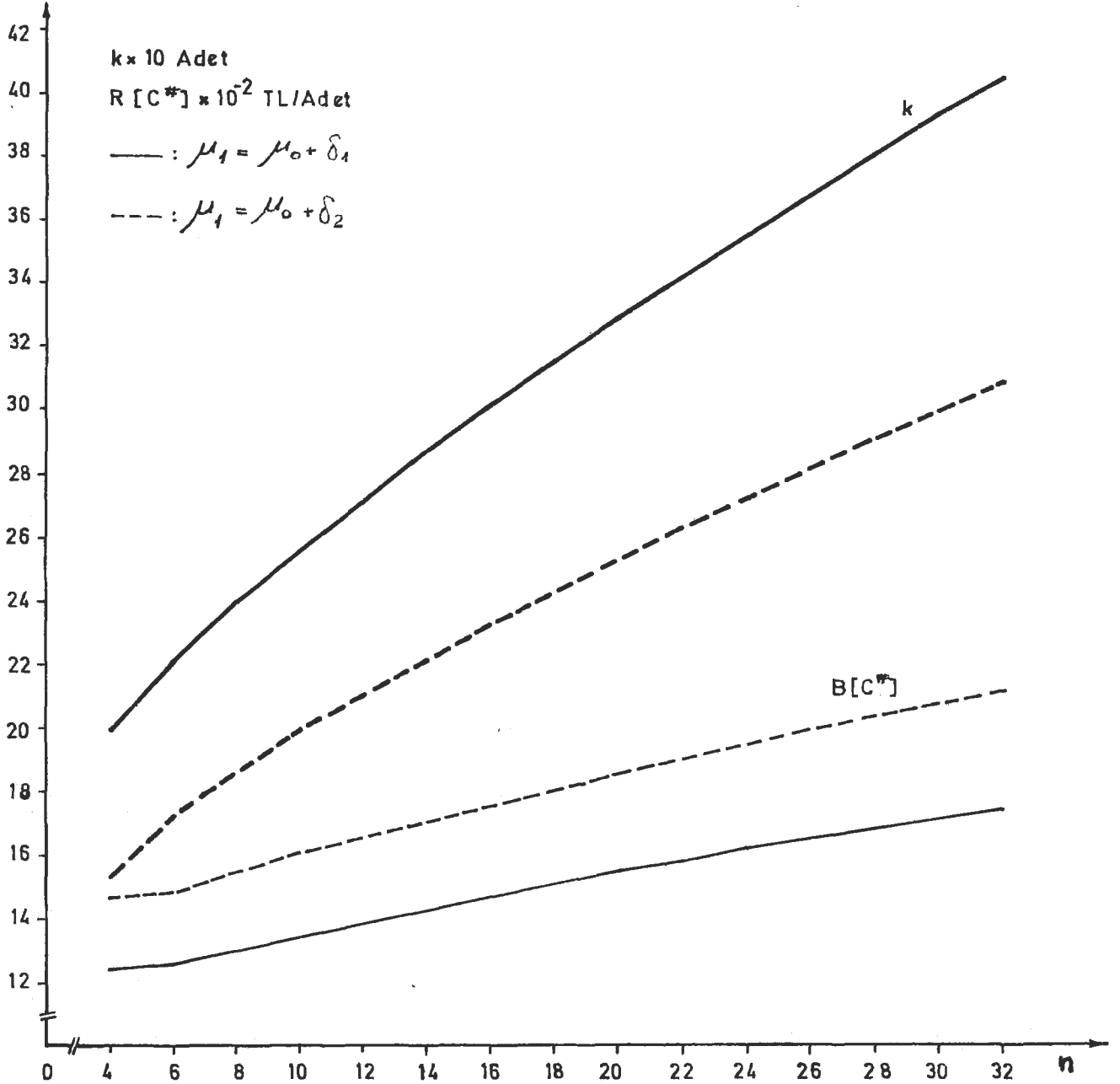
Kontrol dışı durumu $\mu_1 = \mu_0 + \delta_1$ için bulunan çözüm daha önce yapılan çözümdür. $\mu_2 = \mu_0 + \delta_2$ için ise öncelikle f_1 olasılığı hesaplanmış ve $f_1 = 0,5264$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca merkezsizlik parametresi τ hesaplanmış ve q_1 olasılıklarının belirlenmesinde yararlanılmıştır. Geriye kalan diğer parametrelerde herhangi bir değişiklik sözkonusu değildir.

ÇÖZÜM programı 1. grup maliyet parametreleri ve μ_1 dışındaki diğer parametreler sabit tutularak çalıştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlar her iki kontrol dışı μ_1 ve μ_2 durumu için birlikte TABLO III.9'da verilmiştir. Tablo değerlerine karşı gelen grafikler ise ŞEKİL III.8'de gösterilmiştir.

Model süreçte gözlenebilecek sapmalara karşı çok duyarlıdır. Modelin μ_1 'e bağlı olan parametreleri dışında tüm parametreler sabit tutulduğunda kontrol dışı durum μ_1 ve μ_2 iken ardışık iki numune arasında üretilmesi gereken parça sayısı k , aynı n için büyük farklar göstermektedir. δ küçük olduğunda k değeri büyümekte tersi durumda ise k küçülmüktedir. Böylece δ ve k arasında ters yönde bir ilişkinin varlığı ortaya çıkar. δ 'daki değişmelerin birime düşen toplam kalite kontrol maliyetine yansımaları ise doğru yönde olmaktadır.

δ 'nın küçük olduğu durumundaki sözkonusu maliyet, δ 'nın büyük olması durumundaki maliyete göre çok düşük olmaktadır. δ 'nın büyüklüğü, diğer bir ifadeyle sapmanın

büyüklüğü kusurlu mamul üretme olasılığını arttırdığından doğrudan ilgili maliyet parametresine yansımaktadır.



ŞEKİL III.8. I. Grup Maliyet Parametreleri İçin δ 'nin Değişmesinin Çözümüne Etkisi

TABLO III.9. Maliyet Parametreleri I. Grup Sabit İken
 δ 'nın Değişmesine Göre Çözüm Sonuçları

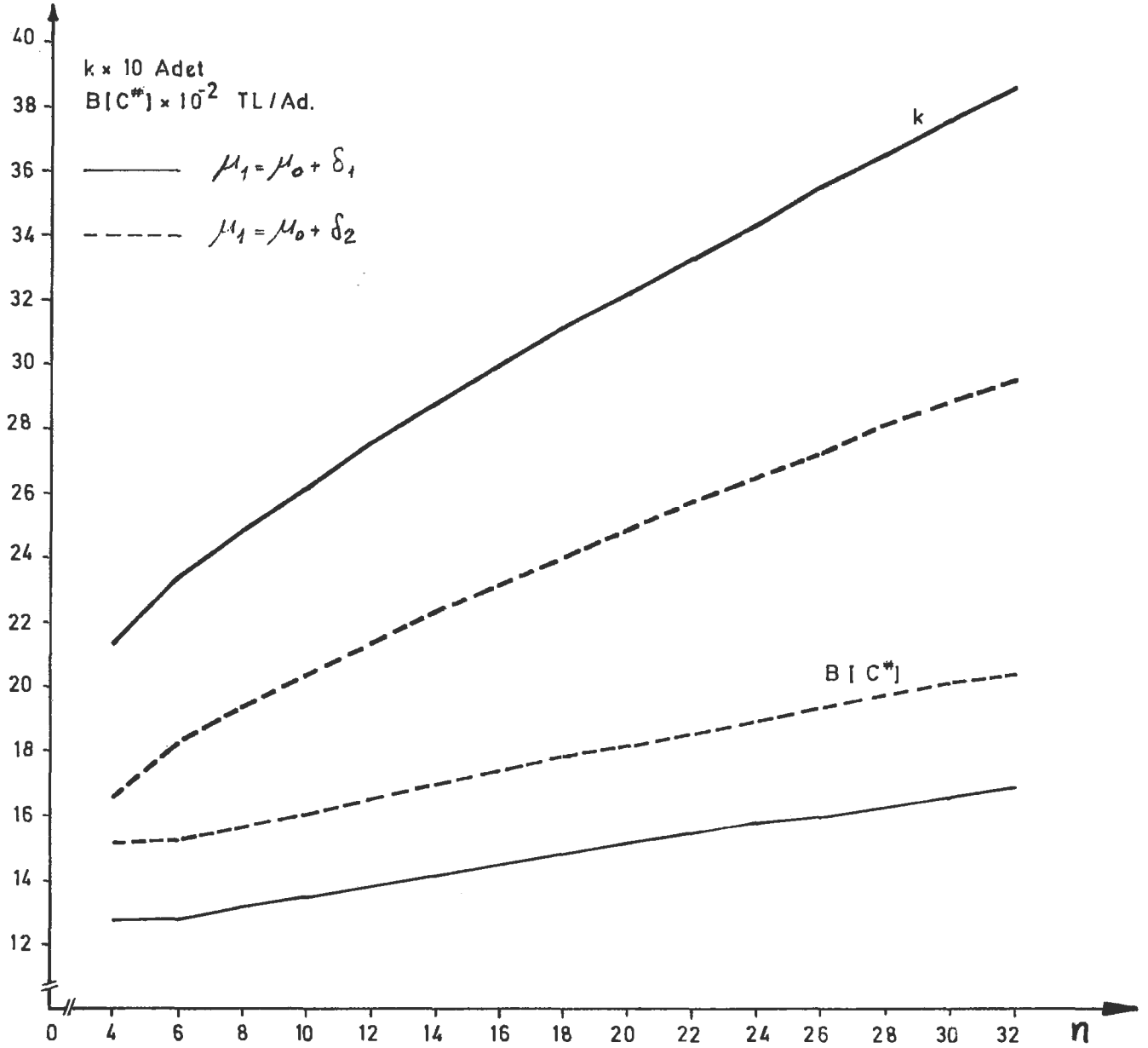
n	$\mu_1 = \mu_0 + \delta_j$	k	$B[C^*]$
4	1	197	0,12403
	2	153	0,14670
6	1	221	0,12618
	2	172	0,14937
8	1	240	0,13061
	2	186	0,15505
10	1	255	0,13499
	2	199	0,16061
12	1	271	0,13921
	2	210	0,16609
14	1	287	0,14330
	2	221	0,17135
16	1	301	0,14725
	2	233	0,17646
18	1	315	0,15105
	2	243	0,18140
20	1	329	0,15472
	2	253	0,18616
22	1	342	0,15826
	2	263	0,19076
24	1	355	0,16168
	2	272	0,19521
26	1	368	0,16499
	2	282	0,19952
28	1	380	0,16818
	2	291	0,20370
30	1	393	0,17128
	2	299	0,20778
32	1	404	0,17429
	2	309	0,21168

Maliyet parametrelerinin 2. grubu alınarak yukarıda tanımlanan μ_1 ve μ_2 kontrol dışı durumlarında da modelin çözümü yapılmıştır. Maliyet parametrelerinin büyümeleri durumunda μ_1 ve μ_2 için k değerlerinde azalmalar görülmektedir. TABLO III.10'da verilen çözüm sonuçlarından yararlanılarak ŞEKİL III.9'daki grafikte belirtilen durumu net bir biçimde görülmektedir. Birime düşen toplam kalite kontrolü maliyeti de büyük sapmalar için yüksek olmaktadır.

TABLO III.10 Maliyet Parametreleri II. Grup Sabit

İken δ 'nın Değişmesine Göre Çözüm Sonuçları

n	$\mu_1 = \mu_o + \delta_j$	k	$B[C^*]$
4	1	213	0,12678
	2	165	0,15102
6	1	233	0,12747
	2	182	0,15180
8	1	248	0,13081
	2	193	0,15607
10	1	261	0,13425
	2	203	0,16042
12	1	275	0,13764
	2	213	0,16482
14	1	287	0,14098
	2	223	0,16911
16	1	299	0,10427
	2	231	0,17334
18	1	311	0,14747
	2	240	0,17747
20	1	322	0,15055
	2	248	0,18148
22	1	333	0,15357
	2	257	0,18538
24	1	343	0,15650
	2	265	0,18919
26	1	355	0,15934
	2	272	0,19288
28	1	365	0,16211
	2	281	0,19648
30	1	376	0,16481
	2	288	0,19999
32	1	386	0,16743
	2	295	0,20341



ŞEKİL III.9. II. Grup Maliyet Parametreleri İçin
 δ 'nın Değişmesinin Çözümüne Etkisi

S O N U Ç

İşletmelerin temel amaçlarından biri, içinde yer aldığı topluma yararlı olmaktır. İşletme bu amacına ulaşabilmek için tüketicilerin isteklerini karşılayan daha iyi kaliteli mal veya hizmet üretmeye çalışır. Amacı doğrultusunda faaliyetlerini devam ettirdiği sürece toplum içindeki varlığını da sürdürecektir.

Yapısına bakılmaksızın her işletmede yapılacak faaliyetler öncesi, değişik türlerde kararlar almak sürekli gündeme gelir. Tüm kararlar ilgili konuda geliştirilen seçenekler arasındadır. Kâr amacı da güden işletmelerde seçenekler arasındaki seçimin temelini, her seçeneğin maliyetler ve işletme gelirleri üzerindeki beklenen katkısı oluşturur.

Yapılan faaliyetlerin işletme gelirlerine beklenen katkılarını arttırma çabaları arasında maliyetler üzerine eğilmek önemli bir yer tutar. Özellikle rekabet ortamında

faaliyetlerini sürdüren işletmeler maliyetler konusunda duyarlı olmak durumundadırlar. Kalite kontrolu çalışmaları da işletme için bir maliyet unsurudur, üzerinde durulması gerekir.

Kalite kontrolu uygulanan süreçlerde ürün kalitesinin uygun olmayan kontrol grafiğiyle kontrol edilmek istenmesi, bazı maliyet bileşenlerini etkileyecektir. Yanlış kontrol grafiği kullanım nedeni ile süreçte oluşan kusur göstergelerinin yükselmesi farklı noktalardan maliyetlere yansıyacaktır. Uygun kontrol grafiğinin kullanımı ve grafiğe ilişkin değerleri, kontrol grafiğinden kaynaklanacak maliyetleri enküçükleyecek biçimde belirlenmesi gerekir.

Ürün kalitesini belirleyen kalite özelliklerine kontrol grafiği uygulanırken aralarında ilişki olup olmadığının belirlenmesi yararlıdır. Diğer durumda uygun varsayımların yapılması gerekir. Ürün kalitesinin birden fazla kalite özelliği tarafından belirlendiği ürünler için uygulanacak kontrol grafiği T^2 - kontrol grafiğidir.

T^2 - kontrol grafiğinin uygulanmasıyla, bir birime düşen toplam kalite kontrolu maliyetini enküçükleme Montgomery ve Klatt tarafından geliştirilen maliyet modelinin amacıdır. Ayrıca modelin parametrelerinde yapılacak değişikliklerle farklı koşullardaki çözümler de elde edilebilmektedir.

Çalışmada armatür sanayiinde faaliyet gösteren bir işletmede Montgomery-Klatt modeli genişletilerek uygulanmıştır.

İncelenen parçanın kalitesi aralarında ilişki olduğu da saptanan üç kalite özelliği tarafından belirlenmektedir. Üretimde ve kalite kontrolunda kalite özelliklerinin normal dağılıma uyduğunun kabulü çerçevesinde, incelenen parçanın üç kalite özelliğinin üçdeğişkenli normal dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Söz konusu parçanın kalite kontrolu için T^2 - kontrol grafiği seçilmiş ve grafiğin en küçük maliyetle uygulanabilmesi için geliştirelen Montgomery-Klatt modeli uygulanmıştır.

İşletmede, ele alınan parçaya ilişkin tutulan tüm kayıtlar incelenerek parçanın üretiminde kullanılan tezgâhların arıza dağılımı belirlenmiştir. Dağılımın uygunluğu bir istatistiksel sınaama ile gösterilmiştir.

Üç değişkenli normal dağılım olasılıklarının hesaplanabilmesi için düzenlenen tablolar kullanılarak Montgomery-Klatt modelinde parametre olarak yer alan olasılıkların bazıları hesaplanmıştır. Modeldeki diğer parametreler de standart normal dağılım ve F- dağılımı arasındaki ilişkiden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Modelin çözümünü bilgisayar ortamında gerçekleştirebilmek amacıyla parametreler arasındaki dönüşümlerle modelde sadeleştirmeye gidilmiştir. Çözümde uygulanan sayımlama yöntemine uygun olarak yazılan bilgisayar programı ile modelin karar değişkenleri belirlenmiştir.

Modelin karar değişkenlerine atanabilecek değerlere göre, karar vericiye, birime düşen beklenen toplam kalite kontrolu maliyetlerini içeren bir seçenekler kümesi sunulmuştur. Ayrıca, Montgomery-Klatt modelinin duyarlılığını ortaya koyabilmek amacıyla, model parametrelerinin bir kısmını değiştirerek model birkaç kez yeniden çözülmüştür. Her yeni parametreler kümesi için bir seçenekler kümesine ulaşılmıştır. Karar vericinin karar öncesi bir dizi seçenek kümesine sahip olabilmesi alacağı kararın tutarlılığı açısından çok önemlidir. Modelin belirtilen türde özelliğe sahip olması onun uygulanabilirliğine katkıda bulunmaktadır.

işletmede üretilen diğer parçalar arasından seçilecek parçaların kalite kontrolunda T^2 - kontrol grafiği kullanılabilir. Böylece net bir şekilde ortaya konulamayan kalite kontrol maliyetleri açığa çıkarılabilir. Yürürlükteki kalite kontrol sistemi ile çalışmamın konusunu oluşturan okdeğişkenli kalite kontrol yaklaşımı birlikte ele alınarak daha etkin bir kalite kontrol sistemi geliştirilebilir.

Kalite kontrolunda T^2 - kontrol grafiğinin uygulanması kuramsal yapısının karmaşıklığı nedeniyle birtakım sorunlar yaratmaktadır. Kalite kontrolunda görevli personelin bilgi düzeyi sorunların en önemlisidir. Fakat işletmelerde bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasıyla değinilen sorun çözümlenebilir bir yapıya kavuşmuş olmaktadır. st düzey

yetkililerince, gerekirse konunun uzmanlarıyla birlikte, yapılacak ve etkin bir bilişim sistemiyle desteklenen bir dizi çalışma ile T^2 - kontrol grafiğinin uygulanması sorun olmaktan çıkarılabilir. T^2 - kontrol grafiğinin en küçük maliyetle uygulanabilmesi için gereken karar değişkenleri saptanabilir. Kalite kontrolunda alt düzeyde görevli personelin, T^2 - kontrol grafiği için belirlenen numune alma sıklığına göre alacakları numunelere ilişkin verileri bilgisayar ortamında işleyip kontrol grafiği üzerine işaretlemeleri, ürün kalitesini kontrol etmek için yeterli olabilecektir.

İşletmenin varlığı süresince ortaya çıkabilecek yeni durumlara göre T^2 - kontrol grafiğine ilişkin bir dizi seçenekler türetililebilecek ve bunların ışığında tutarlı kararlar alınabilecektir.

K A Y N A K L A R

- AKÜN, F. : Istatistik ve Kalite Kontrolu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kütüphane Sayı: 923, İstanbul, 1973.
- ANDERSON, T.W. : An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, 2. Baskı, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1960.
- ARIYÖRÜK, M.Y. : "Türk Standardları Enstitüsü'nün İslam Ülkeleri ile İlgili Çalışmaları", Standard, Türk Standardları Enstitüsü Yayını, S.279, Ankara, Nisan 1985. s.23-24.
- BICKING, C.A.
F.M. GRANA, Jr.
J.M. JURAN (Ed.) : "Process Control by Statistical Methods", Quality Control Handbook, 3. Bası, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s.23/1-23/35
- BUFFA, E.S. : Models for Production and Operations Management, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1963.

CEMALCILAR, İ.

D. BAYAR, İ.C. AŞKUN,

Ş. ÖZ-ALP : İşletmecilik Bilgisi, Eskişehir
İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi
Yayını, No.122, Eskişehir, 1976.

CHAO, L.L.

: Statistics for Management, Brooks/Cole
Publishing Co., Monterey, California,
1980.

COWDEN, D.J.

: Statistical Methods in Quality
Control, Prentice-Hall, Inc.,
Englewood Cliffs, New Jersey, 1957.

ÇÖKLÜ, G.,

R. GEVECİ : Yapı Malzemeleri Üretimi ve İhracat
İmkanları, İhracatı Geliştirme Mer-
kezi, Yayın No: 78, İstanbul,
Aralık 1983.

DEMING, W.E.

: "On the Use of Theory", Industrial
Quality Control, American Society
for Quality Control, C.13, S.1,
Milwaukee, Wisconsin, 1956,s.12-24.

D.P.T.

: IV. Beş Yıllık Kalkınma Planı 1979-
1983, T.C. Başbakanlık Devlet Plan-
lama Teşkilatı Yayın No: D.P.T.: 1664,
Ankara, Nisan 1979.

- DUNCAN, A.J. : "The Economic Design of $\bar{X}$ Charts Used to Maintain Current Control of a Process", Journal of American Statistical Association, C.51, New York, Haziran 1956, s.228-242.
- ERSAY, Ö. : "Kalite Politikası ve Hedefleri" Kalite Kontrolü Yöneticiler Toplantısı ve Sempozyumu, Milli Prodük-tivite Merkezi Yayınları, No.177, Ankara 1976, s. 124-146.
- FEIGENBAUM, A.V. : Total Quality Control, McGraw-Hill Publishing Co., Inc., New York, 1961.
- FIRATLI, E. : Yeni Mamul Kalite Kontrolü, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No.7, Eskişehir, 1983.
- GIBRA, I.N. : "Economically Optimal Determination of the Parameters of $\bar{X}$ - Control Chart", Management Science, C.17, S.9, Mayıs 1971, s.635-664.
- GÖK, M. : "Standardlaştırma, Kalite Deneyimi ve Türkiye'deki Uygulamaları", Standard, Türk Standardları Enstitüsü Yayını, S.274, Ankara, Mart 1985, s.35-40.

GRANT, E.L.

R.S. LEAVENWORTH : Statistical Quality Control, McGraw-Hill International Book Co., Kogakusha, Tokyo, 1980.

HANSEN, B.L. : Quality Control: Theory and Applications, Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi, 1966.

HEIKES, R.G.,

D.C. MONTGOMERY,

J.Y.H., YEUNG : "Alternative Process Models in the Economic Design of T^2 Control Charts", AIIE Transactions, C.6, S.1, Mart 1974, s. 55-61.

HOTELLING, H. : "The Generalization of Student's Ratio", Annals of Mathematical Statistics, C.2, 1931, s.360-378.

HUNTSBERGER, D.V.,

D.J. CROFT,

P. BILLINGSLEY : Statistical Inference for Management and Economics, 2. Bası, Allyn and Bacon, Inc., Boston 1980.

ISHIKAWA, K. : Quality Control, Japanese Standards Association, 1-24 Akasaka 4, Minato-ku, Tokyo, 1984.

- İŞCİL, N. : İstatistiksel Kalite Kontrolü, Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi, Yayın No: 88, Ankara 1975.
- JACKSON, J.E. : "Quality Control Methods for Two Related Variables", Industrial Quality Control, American Society for Quality Control, Milwaukee, Wisconsin, Ocak 1956, s. 4-8.
- JACKSON, J.E. : "Quality Control Methods for Several Related Variables", Technometrics, C.1, S.4, Kasım 1959, s.359-377.
- JURAN, J.M. : "Basic Concepts", Quality Control Handbook, 3. Bası, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s.2/1-2/24.
- JURAN, J.M.,
H.M. COOK : "Inspection and Test", Quality Control Handbook, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s. 12/1-12/80
- KARA, İ. : Olasılık, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul 1983.
- KARA, İ. : Yöneylem Araştırmasının Yöntembilimi, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No. 96, Eskişehir 1985.

- KARABAY, M. : "Kalite ve Kalite Kontrolü Kavramları ve Tanımları İçin Kriterler", Kalite Kontrolü Yöneticiler Toplantısı ve Sempozyumu, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No.177, Ankara, 1976, s. 54-71.
- KNAPPENBERGER, H.A.,
A.H.E. GRANDAGE : "Minimum Cost Quality Control Tests", AIIE Transactions, C.1, S.1, Mart 1969, s. 24-32.
- KOBU, B. : Endüstriyel Kalite Kontrolü, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No.2763, İstanbul, 1981
- KOBU, B. : Üretim Yönetimi, 4. Baskı , İstanbul Üniversitesi Yayını, No.3029, İstanbul, 1982.
- KOBU, B. : Türk İmalat Sanayiinde Kalite Kontrol Uygulamaları Üzerinde Bir Araştırma, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No.2793, İstanbul, Ocak 1981.
- LAPIN, L.L. : Statistics for Modern Business Decisions, Harcourt Brace Jovanovich, Inc., New York, 1973.
- LUNDVALL, D.M.,
J.M. JURAN : "Quality Costs", Quality Control Handbook, 3. Bası, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974, s. 5/1-5/22.

- MASING, W. : "Kalite Yönetiminin Boyutları ve Geleceği", Kalitenin Ulusal Ekonomiye Katkısı Konferansı, Konferans Bildirileri, Ankara, Eylül 1981, s. 9-17.
- MONTGOMERY, D.C.,
R.G. HEIKES : "Process Failure Mechanism and Optimal Design of Fraction Defective Control Charts", AIIE Transactions, C.8, S.4, Aralık 1976, s. 467-472.
- MONTGOMERY, D.C.,
P.J. KLATT : "Minimum Cost Multivariate Quality Control Tests", AIIE, Transactions, C.4, S.2, Haziran 1972, s. 103-110.
- MORRISON, D.F. : Multivariate Statistical Methods, 5. Bası, McGraw-Hill Book Company Japan, Tokyo, 1980.
- NIXON, F. : Managing to Achieve Quality and Reliability, McGraw-Hill Book Co., Londra, 1971.
- ÖZGEN, E. : "Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının Standardizasyon, Belgelendirme ve Piyasa Denetimindeki Görevleri", Kalitenin Ulusal Ekonomiye Katkısı Konferansı, Konferans Bildirileri Ankara, 1981, s. 19-40.

- ROBERTSON, A.G. : Quality Control and Reliability,
Thomas Nelson and Sons, Ltd., Londra,
1971.
- SANIGA, E.M. : "Joint Economically Optimal Design
of $\bar{X}$ and R- Control Charts",
Management Science, C.24, S.4,
Aralık 1977, s. 420-432.
- SANIGA, E.M.,
D.C. MONTGOMERY : "Economical Quality Control Policies
for a Single Cause System", AIIE
Transactions, C.13, S.3, Eylül 1981.
s. 258-264.
- SANIGA, E.M.,
L.E. SHIRLAND : "Quality Control in Practice: A
Survey". Quality Progress, C.10,
S.5, Nisan 1977, s. 30-33.
- SCHROEDER, R.G. : Operations Management, McGraw-Hill
Book Co., New York, 1981.
- STECK, G.P. : "A Table for Computing Trivariate
Normal Probabilities", Annals of
Mathematical Statistics, C.29, 1958.
s. 780-800.
- SULLIVAN, E. : "Quality Control: Current Ideas",
Quality Progress, ASQC, Milwaukee,
Wisconsin, Nisan 1983, s. 24-25.

- ŞENEL, M. : Kalite Kontrolü, Yayınlanmış Ders Notları, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1984.
- TEZEREN, A. : "Verimlilik-Kalite İlişkileri ve Verimlilik Artışının Dışa Açılmadaki Önemi, Verimlilik, Milli Prodüktivite Merkezi Yayını, C.13, S.1, Ankara 1984, s. 86-91.
- T.S.E. : Musluklar (Su Tesisatı İçin), 1. Baskı, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara 1975.
- T.S.E. : Kalite Kontrolünde Kullanılan Terimler (Tasarı), Türk Standardları Enstitüsü, 1. Bası, TS 658.562, Ankara, 1984.
- T.S.K.B. : Dövme Araştırması, Türkiye Sanayi Kalkınma Bankası A.Ş., Yayın No.27, İstanbul, Ocak 1980.
- VAUGHN, R.C. : Quality Control, Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1974.
- ZELEN, M., N.C. SEVERO: "Probability Functions", Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, (Ed.: M. Abramowitz, I.A. Stegun), Dover Publications, Inc., New York 1965. s. 925-995.

E K L E R

EK 1

TEZGAHIN ARIZA SAYISI DAĞILIMININ χ^2 - TESTİ İLE
POISSON DAĞILIMINA UYGUNLUĞUNUN SINANMASI

Arıza Sayısı (X)	Gözlem Sayısı (f)	P (X=x)	$f_e = nP (X=x)$	$(f_i - f_e)^2 / f_e$
0	26	0,3475	24,325	0,115
1	26	0,3673	25,711	0,033
2	10	0,1941	13,587	0,947
3	4	0,0684	4,788	6,1376 0,565
4	4	0,0181	1,267	
5	0	0,0038	0,0266	
6	0	0,0008	0,056	
	70			$\chi^2 = 1,660$

Hipotezler:

H_0 : Arıza sayısı dağılımı $\lambda = 1,057$ Arıza/16 Solan
Poisson Dağılımına uyar.

H_1 : Başka dağılımdır.

Test İstatistiği

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(f_i - f_e)^2}{f_e}$$

Karar Kuralı

$\chi^2 \leq \chi_{\alpha}^2$ ise H_0 reddedilemez.

$\chi^2 > \chi_{\alpha}^2$ ise H_0 reddedilir.

İşlemler

serbestlik derecesi= $4-1-1= 2$

α	$\chi_{\alpha, 2}^2$
0,001	13,815
0,01	9,210
0,02	7,824
0,05	5,991
0,10	4,605
0,20	3,219

Sonuç:

$\chi^2 (=1,660) < \chi_{\alpha, 2}^2$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilemez.
İncelenen devreler itibariyle arıza sayısı dağılımı parametresi $\lambda=1,057$ Arıza/16 S. olan Poisson dağılımına uyar.

EK 2

ÜÇDEĞİŞKENLİ NORMAL DAĞILIM OLASILIKLARININ
HESAPLANMASI

1. Dönüşümler ve Fonksiyonlar

$$a_1 = \frac{k - h\rho_{12}}{h(1-\rho_{12}^2)^{1/2}}, \quad a_2 = \frac{m - k\rho_{23}}{k(1-\rho_{23}^2)^{1/2}}, \quad a_3 = \frac{h - m\rho_{13}}{m(1-\rho_{13}^2)^{1/2}},$$

$$c_1 = \frac{m - h\rho_{13}}{h(1-\rho_{13}^2)^{1/2}}, \quad c_2 = \frac{h - k\rho_{12}}{k(1-\rho_{12}^2)^{1/2}}, \quad c_3 = \frac{k - m\rho_{23}}{m(1-\rho_{23}^2)^{1/2}},$$

$$\Delta = 1 - \rho_{12}^2 - \rho_{13}^2 - \rho_{23}^2 + 2\rho_{12}\rho_{13}\rho_{23} \quad \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

$$\delta_{xy} = \begin{cases} 0, & \text{sgn}(x) \cdot \text{sgn}(y) = -1 \\ +1, & \text{d.d.} \end{cases}$$

$$b_1 = \frac{(1-\rho_{12}^2)(m-h\rho_{13}) - (\rho_{23}-\rho_{12}\rho_{13})(k-h\rho_{12})}{(k-h\rho_{12})\Delta^{1/2}}$$

$$d_1 = \frac{(1-\rho_{13}^2)(k-h\rho_{12}) - (\rho_{23}-\rho_{12}\rho_{13})(m-h\rho_{13})}{(m-h\rho_{13})\Delta^{1/2}}$$

$$b_2 = \frac{(1-\rho_{23}^2)(h-k\rho_{12}) - (\rho_{13}-\rho_{12}\rho_{23})(m-k\rho_{23})}{(m-k\rho_{23})\Delta^{1/2}}$$

$$d_2 = \frac{(1-\rho_{12}^2)(m-k\rho_{23}) - (\rho_{13} - \rho_{12}\rho_{23})(h-k\rho_{12})}{(h-k\rho_{12}) \Delta^{1/2}}$$

$$b_3 = \frac{(1-\rho_{13}^2)(k-m\rho_{23}) - (\rho_{12} - \rho_{13}\rho_{23})(h-m\rho_{13})}{(h-m\rho_{13}) \Delta^{1/2}}$$

$$d_3 = \frac{(1-\rho_{23}^2)(h-m\rho_{13}) - (\rho_{12} - \rho_{13}\rho_{23})(k-m\rho_{23})}{(k-m\rho_{23}) \Delta^{1/2}}$$

$$G(x) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^x \exp(-z^2/2) dz \quad : \text{Standard Normal Dağılım}$$

$$T(h, a) = (2\pi)^{-1} \int_0^a \exp\left[-\frac{h^2}{2}(1+x^2)\right] / (1+x^2) dx : \text{iki değişkenli}$$

normal dağılım olasılığının hesaplanmasında yararlanılan fonksiyon.

$S(h, a, b)$: Üçdeğişkenli normal dağılım olasılığının hesaplanması için kullanılan fonksiyon.

2. Formüller

a) $h \geq 0, k \geq 0, m \geq 0$ veya $h \leq 0, k \leq 0, m \leq 0$ iken

$$\begin{aligned} C(h, k, m; \rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{23}) = & \frac{1}{2} \left[(1 - \delta_{a_1 c_1}) G(h) + (1 - \delta_{a_2 c_2}) G(k) \right. \\ & + (1 - \delta_{a_3 c_3}) G(m) \Big] - \frac{1}{2} \left[T(h, a_1) + T(h, c_1) + T(k, a_2) + T(k, c_2) \right. \\ & + T(m, a_3) + T(m, c_3) \Big] - \left[S(h, a_1, b_1) + S(h, c_1, d_1) + S(k, a_2, b_2) \right. \\ & + S(k, c_2, d_2) + S(m, a_3, b_3) + S(m, c_3, d_3) \Big] \end{aligned}$$

b) $h \geq 0, k \geq 0, m < 0$ veya $h \leq 0, k \leq 0, m > 0$ iken

$$C(h, k, m; \rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{23}) = \frac{1}{2} [G(h) G(k) - \delta_{hk}] - T(h, a_1) \\ - T(k, c_2) - C(h, k, -m; \rho_{12}, -\rho_{13}, -\rho_{23})$$

3 . f_o olasılığının Hesaplanması

$$f_o \approx 1 - (B_1 - B_2)$$

$$B_1 = C(3, 3, 3; 0, 722, 0, 175, 0, 387)$$

$$B_2 = C(-3, -3, -3; 0, 722, 0, 175, 0, 387)$$

Dönüşümlerden $a_i, b_i, c_i, d_i, \delta_{a_i c_i}$, $i = 1, 2, 3$

değerleri hesaplanır. İşlemler sonucu

$a_1 = 0,4018$	$a_2 = 0,6648$	$a_3 = 0,8379$
$b_1 = 1,8431$	$b_2 = 0,7785$	$b_3 = 0,1049$
$c_1 = 0,8379$	$c_2 = 0,4018$	$c_3 = 0,6648$
$d_1 = 0,1049$	$d_2 = 1,8431$	$d_3 = 0,7785$

olarak bulunmuştur. $\delta_{a_i c_i} = 0$, $i = 1, 2, 3$ olduğunda

2.a'ya göre

$$B_1 = C(3, 3, 3; 0, 722, 0, 175, 0, 387) = \frac{1}{2} [3G(3)] - \frac{1}{2} [T(3, 0, 4018) \\ + T(3, 0, 8379) + T(3, 0, 6684) + T(3, 0, 4018) + T(3, 0, 8379) \\ + T(3, 0, 6684)] - [S(3, 0, 4018, 1, 8431) \\ + S(3, 0, 8379, 0, 1049) + S(3, 0, 6648, 0, 7785) \\ + S(3, 0, 4018, 1, 8431) + S(3, 0, 8379, 0, 1049) \\ + S(3, 0, 6648, 0, 7785)]$$

yazılır.

$G(h)$ olasılığı standard normal dağılım; $T(h,a)$, ikideğişkenli normal dağılım ve $S(h,a,b)$ üçdeğişkenli normal dağılım olasılıkları tablolarından bulunur.

Buna göre

$$G(3) = 0,99865$$

$$T(3, 0,4018) = 0,546.10^{-3}$$

$$T(3, 0,8379) = 0,670.10^{-3}$$

$$T(3, 0,670) = 0,655.10^{-3}$$

olarak belirlenir.

$S(h,a,b)$ fonksiyonu $0 < a \leq 1, b > 1$ için

$$S(h,a,b) = \frac{1}{4} G(h) + \left[G(hab) - \frac{1}{2} \right] T(h,a) - S(hab, \frac{1}{ab}, a) - S(h, ab, \frac{1}{b})$$

olduğundan gerekli işlemler yapıp karşı gelen tablo değerleri yazılırsa

$$S(3, 0,4018, 1,8431) = 0,1576957$$

ve diğer olasılıklar

$$S(3, 0,8379, 0,1049) = 0,0121308$$

$$S(3, 0,6648, 0,7785) = 0,0830625$$

olarak bulunur.

Sonuçta, tüm değerler yerlerine konup işlemler yapılır

$$B_1 = C(3, 3, 3; 0,722, 0,175, 0,387) = 0,990326$$

olarak hesaplanır.

$B_2 = C(-3, -3, -3; 0,722, 0,175, 0,387)$ olasılığının hesaplanmasında $T(-h,a)=T(h,a)$ ve $S(h,a,b)$ fonksiyonunun bazı özellikleri kullanılır.

$$S(\infty, a, b) = (2\pi)^{-1} \tan^{-1} \left[1 / (1 + a^2 + a^2 b^2)^{-1/2} \right] \text{ olmak üzere}$$

$$S(-h, a, b) = S(\infty, a, b) - S(h, a, b)$$

özelliliği kullanılırsa

$$B_2 = C(-3, -3, -3; 0,722, 0,175, 0,387) = 8,323 \cdot 10^{-3}$$

olarak hesaplanır.

B_1 ve B_2 olasılıkları yerlerine konursa

$$f_0 \approx 1 - (0,990326 - 8,323 \cdot 10^{-3}) = 0,018$$

olarak bulunur.

EK 3

** ÇÖZÜM ** PROGRAMI

```

10 INPUT w
20 REM " program ** cozum ** "
30 DIM q1(31),vk(500),bc(500),nk(31),a(31),t2(31)
40 PRINT #0, "q0,m1,m2,m3,m4,f0,f1,lm,r,p giriniz "
50 INPUT q0,m1,m2,m3,m4,f0,f1,lm,r,p
60 FOR i=1 TO 30
70 READ q1(i)
80 NEXT i
90 FOR i=1 TO 30
100 READ t2(i)
110 NEXT i
120 b=lm/(r*m4)
130 a1=m1*b
140 a2=m2*b
150 a3=m3*b
160 PRINT #0, "enb ornek sayisi ve artma degerini giriniz "
170 INPUT ns,st
180 PRINT #w, : PRINT #w, : PRINT #w,
190 PRINT #0, "k ,artis ve sayisini giriniz "
200 INPUT k,kx,j1
210 FOR n=p+1 TO ns STEP st
220 p1=a1+a2*n
230 p2=1-q0
240 p3=1-q1(n-p)
250 zxc=1
260 FOR j=1 TO j1
270 z=EXP(-k)
280 y=k*(1-z*p3)
290 bc(j)= p1/k + (a3*q1(n-p)*(1-z*p2))/y - ((f1-f0)*q1(n-p)*(1-z))/y + f1
300 vk(j)=k
310 k=k+kx
320 NEXT j
330 mn=bc(1)
340 FOR i=1 TO j1
350 IF(mn<bc(i)) GOTO 380
360 mn=bc(i)
370 kd=vk(i)
380 NEXT i
390 nk=kd*r/lm
400 nk(n-p)=kd*r/lm
410 a(n-p)=mn
420 k=kx

```

```

430 PRINT #0, "duyarli cozum? e ise 1 h ise 0"
440 INPUT cv
450 IF(cv<1) GOTO 520
460 PRINT #0, "k artis degeri"
470 INPUT kp
480 k=kd-kx
490 j1=kx*10^(kp-1)
500 kx=1/10^kp
510 GOTO 250
520 NEXT n
530 PRINT #w, "m1=";m1,"m2=";m2,"m3=";m3,"m4=";m4
540 PRINT #w
550 PRINT #w, USING "f0=##### f1=##### lm=#####";f0,f1,lm
560 PRINT #w
570 PRINT #w, " r=";r," p=";p
580 PRINT #w : PRINT #w : PRINT #w
590 PRINT #w, "          n          k          b[Cc]          t2(.025,3,n-1)"
600 PRINT #w, "          ----          -          -          -"
610 FOR n=p+1 TO ns STEP st
620 PRINT #w, USING "          ##          ###          #.#####          #####.###";n,nk(n-p),a(n-p),t2(n-p)
630 NEXT n
640 PRINT #0, "parametre degisikligi? e ise 1 h ise 0"
650 INPUT pd
660 IF(pd<1) GOTO 700
670 GOTO 40
700 END

```

EK 4

** XT2 ** PROGRAMI

```

10 REM ** PROGRAM XT2 **
20 INPUT w
30 PRINT #0, "num.(m), birim(n), ozellik(p) sayilari?"
40 INPUT M,N,K
50 M1=M*K
60 DIM X(M1,N),Y(M1),XEY(M1,N),VC(K,K),TCV(K,K),Z(K)
70 DIM ZT(K),S(K,K),AT(K),U(K),AN(K),PS(K),T2(M),P(K)
80 FOR I=1 TO M1
90 FOR J=1 TO N
100 READ X(I,J)
110 NEXT J
120 NEXT I
130 FOR I=1 TO K
140 READ AN(I)
150 NEXT I
160 REM NUMUNELER ORTALAMA HESABI
170 FOR I=1 TO M1
180 TP=0
190 FOR J=1 TO N
200 TP=TP + X(I,J)
210 NEXT J
220 Y(I)=TP/N
230 NEXT I
240 REM XEY=X - Y MATRISININ HESABI
250 FOR J=1 TO N
260 FOR I=1 TO M1
270 XEY(I,J)=X(I,J) - Y(I)
280 NEXT I
290 NEXT J
300 REM CV = S MATRISININ HESABI
310 FOR j=1 TO N
320 L=1
330 FOR I=1 TO M1
340 Z(L)=XEY(I,J)
350 IF(L=K) THEN GOSUB 820
360 L=L + 1
370 NEXT I
380 NEXT J
390 PRINT #W, "KOVARYANS MATRISI " ; PRINT #W : PRINT #W
400 FOR I=1 TO K
410 FOR J=1 TO K
420 CV(I,J)=CV(I,J)/(M*N-M)
430 PRINT #W, USING " #.##### ";CV(I,J);
440 NEXT J
450 PRINT #W
460 NEXT I
470 GOSUB 990
480 K1=1
490 K2=1
500 FOR I=1 TO M1
510 P(K1)=Y(I) - AN(K1)
520 K1=K1 +1
530 IF(K1>K) THEN GOSUB 1190
540 "" I

```

```

550 L=1
560 PRINT #W : PRINT #W, "GÖZLEM MATRİSİ"
570 PRINT #W : PRINT #W
580 FOR I=1 TO M1
590 FOR J=1 TO N
600 PRINT #W, USING " ###.## ";X(I,J);
610 NEXT J : PRINT #W
620 L=L + 1
630 IF L>K THEN 650
640 GOTO 670
650 PRINT #W : PRINT #W
660 L=1
670 NEXT I
680 PRINT #W
690 PRINT #W : PRINT #W : PRINT #W, " KÖV. MATRİSİ TERİSİ "
700 PRINT #W
710 FOR i=1 TO k
720 FOR j=1 TO k
730 PRINT #W, USING " #####.### ";TCV(i,j);
740 NEXT j :PRINT #W
750 NEXT i
760 PRINT #W : PRINT #W, "HESAPLANAN T2 DEĞERLERİ "
770 PRINT #W
780 FOR i=1 TO m
790 PRINT #W, USING " #####.###";T2(i)
800 NEXT i
810 END
820 FOR J1=1 TO K
830 FOR J2=1 TO K
840 S(J1,J2)=0
850 NEXT J2
860 NEXT J1
870 FOR J1=1 TO K
880 FOR J2=1 TO K
890 S(J1,J2)=Z(J1)*Z(J2)
900 NEXT J2
910 NEXT J1
920 FOR J1=1 TO K
930 FOR J2=1 TO K
940 CV(J1,J2)=CV(J1,J2) + S(J1,J2)
950 NEXT J2
960 NEXT J1
970 L=0
980 RETURN
990 REM MATRİSİ TERİSİNİN HESABI
1000 FOR i=1 TO k
1010 TCV(i,1)=1
1020 NEXT i
1030 FOR j=1 TO k
1040 B=CV(j,j)
1050 FOR in=1 TO k
1060 TCV(j,in)=TCV(j,in)/B
1070 CV(j,in)=CV(j,in)/B
1080 NEXT in
1090 FOR i=1 TO k
1100 O=CV(i,j)

```

```

1110 IF i=j THEN 1160
1120 FOR in=1 TO k
1130 TCV(i,in)=TCV(i,in) - D*TCV(j,in)
1140 CV(i,in)=CV(i,in) - D*CV(j,i)
1150 NEXT in
1160 NEXT i
1170 NEXT j
1180 RETURN
1190 REM T2 DEGERI HESABI
1200 FOR j3=1 TO k
1210 FOR j4=1 TO k
1220 PS(j3)=P(j4)*TCV(j4,j3) + PS(j3)
1230 NEXT j4
1240 NEXT j3
1250 FOR j5=1 TO k
1260 T1=T1 + PS(j5)*P(j5)
1270 NEXT j5
1280 T2(k2)=T1*n
1290 T1=0
1300 k1=1
1310 k2=k2 + 1
1320 FOR j3=1 TO k
1330 P(j3)=0
1340 PS(j3)=0
1350 NEXT j3
1360 RETURN

```

KOVARYANS MATRISI

0.002102	0.003768	0.000061
0.000788	0.000972	0.000205
0.000061	0.000205	0.000253

KOV. MATRISI TERSI

756.480	-817.021	875.401
-513.853	1333.495	478.133
300.199	-1080.467	3593.319

HESAPLANAN T2 DEGERLERI

13.117
12.185
9.135
8.124
96.595
79.101
27.025
42.726
26.591
33.035

EK 5

K VE B [C] DEĞERLERİ
(n = 4 için)

K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]
0.002	5.53670	0.096	0.17103	0.190	0.12935	0.284	0.12405
0.004	2.78886	0.098	0.16903	0.192	0.12906	0.286	0.12406
0.006	1.87315	0.100	0.16711	0.194	0.12877	0.288	0.12407
0.008	1.41547	0.102	0.16529	0.196	0.12850	0.290	0.12409
0.010	1.14101	0.104	0.16354	0.198	0.12823	0.292	0.12412
0.012	0.95816	0.106	0.16188	0.200	0.12798	0.294	0.12414
0.014	0.82764	0.108	0.16029	0.202	0.12774	0.296	0.12417
0.016	0.72985	0.110	0.15876	0.204	0.12751	0.298	0.12420
0.018	0.65387	0.112	0.15731	0.206	0.12729	0.300	0.12423
0.020	0.59315	0.114	0.15591	0.208	0.12708	0.302	0.12427
0.022	0.54354	0.116	0.15458	0.210	0.12688	0.304	0.12431
0.024	0.50225	0.118	0.15329	0.212	0.12668	0.306	0.12435
0.026	0.46737	0.120	0.15207	0.214	0.12650	0.308	0.12440
0.028	0.43752	0.122	0.15089	0.216	0.12632	0.310	0.12444
0.030	0.41170	0.124	0.14976	0.218	0.12616	0.312	0.12449
0.032	0.38915	0.126	0.14868	0.220	0.12600	0.314	0.12455
0.034	0.36929	0.128	0.14764	0.222	0.12585	0.316	0.12460
0.036	0.35168	0.130	0.14664	0.224	0.12570	0.318	0.12466
0.038	0.33595	0.132	0.14568	0.226	0.12556	0.320	0.12472
0.040	0.32184	0.134	0.14476	0.228	0.12543	0.322	0.12478
0.042	0.30910	0.136	0.14387	0.230	0.12531	0.324	0.12484
0.044	0.29755	0.138	0.14302	0.232	0.12520	0.326	0.12491
0.046	0.28703	0.140	0.14220	0.234	0.12509	0.328	0.12498
0.048	0.27742	0.142	0.14141	0.236	0.12498	0.330	0.12505
0.050	0.26860	0.144	0.14066	0.238	0.12489	0.332	0.12512
0.052	0.26049	0.146	0.13993	0.240	0.12480	0.334	0.12519
0.054	0.25301	0.148	0.13923	0.242	0.12471	0.336	0.12527
0.056	0.24608	0.150	0.13855	0.244	0.12463	0.338	0.12535
0.058	0.23965	0.152	0.13791	0.246	0.12456	0.340	0.12543
0.060	0.23368	0.154	0.13728	0.248	0.12449	0.342	0.12551
0.062	0.22811	0.156	0.13668	0.250	0.12443	0.344	0.12559
0.064	0.22291	0.158	0.13611	0.252	0.12437	0.346	0.12568
0.066	0.21805	0.160	0.13555	0.254	0.12432	0.348	0.12576
0.068	0.21349	0.162	0.13502	0.256	0.12427	0.350	0.12585
0.070	0.20921	0.164	0.13450	0.258	0.12422	0.352	0.12594
0.072	0.20518	0.166	0.13401	0.260	0.12419	0.354	0.12603
0.074	0.20140	0.168	0.13353	0.262	0.12415	0.356	0.12613
0.076	0.19782	0.170	0.13307	0.264	0.12412	0.358	0.12622
0.078	0.19445	0.172	0.13263	0.266	0.12410	0.360	0.12632
0.080	0.19126	0.174	0.13221	0.268	0.12408	0.362	0.12642
0.082	0.18825	0.176	0.13180	0.270	0.12406	0.364	0.12652
0.084	0.18539	0.178	0.13141	0.272	0.12405	0.366	0.12662
0.086	0.18268	0.180	0.13103	0.274	0.12404	0.368	0.12672
0.088	0.18011	0.182	0.13067	0.276	0.12403	0.370	0.12682
0.090	0.17767	0.184	0.13032	0.278	0.12403	0.372	0.12693
0.092	0.17535	0.186	0.12998	0.280	0.12403	0.374	0.12703
0.094	0.17314	0.188	0.12966	0.282	0.12404	0.376	0.12714

EK 5 : Devam

K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]
0.378	0.12725	0.478	0.13380	0.578	0.14151	0.678	0.14955
0.380	0.12736	0.480	0.13394	0.580	0.14167	0.680	0.14971
0.382	0.12747	0.482	0.13409	0.582	0.14183	0.682	0.14987
0.384	0.12758	0.484	0.13424	0.584	0.14199	0.684	0.15003
0.386	0.12769	0.486	0.13439	0.586	0.14215	0.686	0.15019
0.388	0.12781	0.488	0.13454	0.588	0.14231	0.688	0.15035
0.390	0.12792	0.490	0.13469	0.590	0.14247	0.690	0.15052
0.392	0.12804	0.492	0.13483	0.592	0.14263	0.692	0.15068
0.394	0.12815	0.494	0.13498	0.594	0.14279	0.694	0.15084
0.396	0.12827	0.496	0.13513	0.596	0.14295	0.696	0.15100
0.398	0.12839	0.498	0.13528	0.598	0.14311	0.698	0.15116
0.400	0.12851	0.500	0.13544	0.600	0.14327	0.700	0.15132
0.402	0.12863	0.502	0.13559	0.602	0.14343	0.702	0.15148
0.404	0.12876	0.504	0.13574	0.604	0.14359	0.704	0.15164
0.406	0.12888	0.506	0.13589	0.606	0.14375	0.706	0.15180
0.408	0.12900	0.508	0.13604	0.608	0.14391	0.708	0.15196
0.410	0.12913	0.510	0.13619	0.610	0.14407	0.710	0.15212
0.412	0.12925	0.512	0.13635	0.612	0.14423	0.712	0.15228
0.414	0.12938	0.514	0.13650	0.614	0.14439	0.714	0.15244
0.416	0.12951	0.516	0.13665	0.616	0.14456	0.716	0.15260
0.418	0.12964	0.518	0.13681	0.618	0.14472	0.718	0.15276
0.420	0.12977	0.520	0.13696	0.620	0.14488	0.720	0.15292
0.422	0.12990	0.522	0.13711	0.622	0.14504	0.722	0.15308
0.424	0.13003	0.524	0.13727	0.624	0.14520	0.724	0.15324
0.426	0.13016	0.526	0.13742	0.626	0.14536	0.726	0.15340
0.428	0.13029	0.528	0.13758	0.628	0.14552	0.728	0.15356
0.430	0.13042	0.530	0.13773	0.630	0.14568	0.730	0.15372
0.432	0.13056	0.532	0.13789	0.632	0.14584	0.732	0.15388
0.434	0.13069	0.534	0.13804	0.634	0.14600	0.734	0.15404
0.436	0.13083	0.536	0.13820	0.636	0.14617	0.736	0.15420
0.438	0.13096	0.538	0.13836	0.638	0.14633	0.738	0.15436
0.440	0.13110	0.540	0.13851	0.640	0.14649	0.740	0.15452
0.442	0.13124	0.542	0.13867	0.642	0.14665	0.742	0.15468
0.444	0.13137	0.544	0.13883	0.644	0.14681	0.744	0.15484
0.446	0.13151	0.546	0.13898	0.646	0.14697	0.746	0.15500
0.448	0.13165	0.548	0.13914	0.648	0.14713	0.748	0.15516
0.450	0.13179	0.550	0.13930	0.650	0.14729	0.750	0.15532
0.452	0.13193	0.552	0.13945	0.652	0.14745	0.752	0.15548
0.454	0.13207	0.554	0.13961	0.654	0.14762	0.754	0.15563
0.456	0.13221	0.556	0.13977	0.656	0.14778	0.756	0.15579
0.458	0.13235	0.558	0.13993	0.658	0.14794	0.758	0.15595
0.460	0.13250	0.560	0.14008	0.660	0.14810	0.760	0.15611
0.462	0.13264	0.562	0.14024	0.662	0.14826	0.762	0.15627
0.464	0.13278	0.564	0.14040	0.664	0.14842	0.764	0.15643
0.466	0.13293	0.566	0.14056	0.666	0.14858	0.766	0.15659
0.468	0.13307	0.568	0.14072	0.668	0.14874	0.768	0.15675
0.470	0.13321	0.570	0.14088	0.670	0.14891	0.770	0.15690
0.472	0.13336	0.572	0.14104	0.672	0.14907	0.772	0.15706
0.474	0.13350	0.574	0.14119	0.674	0.14923	0.774	0.15722
0.476	0.13365	0.576	0.14135	0.676	0.14939	0.776	0.15738

EK 5 : Devam

K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]
0.778	0.15754	0.834	0.16191	0.890	0.16620	0.946	0.17039
0.780	0.15769	0.836	0.16207	0.892	0.16636	0.948	0.17054
0.782	0.15785	0.838	0.16222	0.894	0.16651	0.950	0.17069
0.784	0.15801	0.840	0.16238	0.896	0.16666	0.952	0.17084
0.786	0.15817	0.842	0.16253	0.898	0.16681	0.954	0.17098
0.788	0.15832	0.844	0.16269	0.900	0.16696	0.956	0.17113
0.790	0.15848	0.846	0.16284	0.902	0.16711	0.958	0.17128
0.792	0.15864	0.848	0.16300	0.904	0.16726	0.960	0.17142
0.794	0.15879	0.850	0.16315	0.906	0.16741	0.962	0.17157
0.796	0.15895	0.852	0.16330	0.908	0.16756	0.964	0.17172
0.798	0.15911	0.854	0.16346	0.910	0.16771	0.966	0.17186
0.800	0.15927	0.856	0.16361	0.912	0.16786	0.968	0.17201
0.802	0.15942	0.858	0.16376	0.914	0.16801	0.970	0.17216
0.804	0.15958	0.860	0.16392	0.916	0.16816	0.972	0.17230
0.806	0.15974	0.862	0.16407	0.918	0.16831	0.974	0.17245
0.808	0.15989	0.864	0.16422	0.920	0.16846	0.976	0.17259
0.810	0.16005	0.866	0.16438	0.922	0.16861	0.978	0.17274
0.812	0.16020	0.868	0.16453	0.924	0.16876	0.980	0.17288
0.814	0.16036	0.870	0.16468	0.926	0.16891	0.982	0.17303
0.816	0.16052	0.872	0.16484	0.928	0.16906	0.984	0.17318
0.818	0.16067	0.874	0.16499	0.930	0.16921	0.986	0.17332
0.820	0.16083	0.876	0.16514	0.932	0.16936	0.988	0.17347
0.822	0.16098	0.878	0.16529	0.934	0.16950	0.990	0.17361
0.824	0.16114	0.880	0.16545	0.936	0.16965	0.992	0.17375
0.826	0.16129	0.882	0.16560	0.938	0.16980	0.994	0.17390
0.828	0.16145	0.884	0.16575	0.940	0.16995	0.996	0.17404
0.830	0.16160	0.886	0.16590	0.942	0.17010	0.998	0.17419
0.832	0.16176	0.888	0.16605	0.944	0.17025	1.000	0.17433

EK 5 : Devam

(n = 8 için)

K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]	K	B [C]
0.002	7.22790	0.096	0.20455	0.190	0.14406	0.284	0.13174
0.004	3.63441	0.098	0.20180	0.192	0.14355	0.286	0.13165
0.006	2.43680	0.100	0.19916	0.194	0.14306	0.288	0.13157
0.008	1.83815	0.102	0.19664	0.196	0.14258	0.290	0.13148
0.010	1.47909	0.104	0.19423	0.198	0.14212	0.292	0.13140
0.012	1.23982	0.106	0.19191	0.200	0.14167	0.294	0.13133
0.014	1.06900	0.108	0.18970	0.202	0.14123	0.296	0.13126
0.016	0.94097	0.110	0.18758	0.204	0.14081	0.298	0.13119
0.018	0.84146	0.112	0.18554	0.206	0.14041	0.300	0.13113
0.020	0.76191	0.114	0.18358	0.208	0.14001	0.302	0.13107
0.022	0.69688	0.116	0.18170	0.210	0.13963	0.304	0.13102
0.024	0.64275	0.118	0.17990	0.212	0.13926	0.306	0.13097
0.026	0.59699	0.120	0.17816	0.214	0.13890	0.308	0.13092
0.028	0.55781	0.122	0.17649	0.216	0.13855	0.310	0.13088
0.030	0.52389	0.124	0.17488	0.218	0.13822	0.312	0.13084
0.032	0.49426	0.126	0.17333	0.220	0.13789	0.314	0.13080
0.034	0.46815	0.128	0.17184	0.222	0.13758	0.316	0.13077
0.036	0.44497	0.130	0.17041	0.224	0.13727	0.318	0.13074
0.038	0.42426	0.132	0.16902	0.226	0.13698	0.320	0.13071
0.040	0.40566	0.134	0.16769	0.228	0.13669	0.322	0.13069
0.042	0.38886	0.136	0.16640	0.230	0.13642	0.324	0.13067
0.044	0.37361	0.138	0.16516	0.232	0.13615	0.326	0.13065
0.046	0.35971	0.140	0.16396	0.234	0.13589	0.328	0.13064
0.048	0.34700	0.142	0.16281	0.236	0.13564	0.330	0.13062
0.050	0.33533	0.144	0.16169	0.238	0.13540	0.332	0.13062
0.052	0.32458	0.146	0.16061	0.240	0.13517	0.334	0.13061
0.054	0.31465	0.148	0.15957	0.242	0.13494	0.336	0.13061
0.056	0.30545	0.150	0.15856	0.244	0.13473	0.338	0.13061
0.058	0.29691	0.152	0.15759	0.246	0.13452	0.340	0.13061
0.060	0.28895	0.154	0.15665	0.248	0.13431	0.342	0.13061
0.062	0.28153	0.156	0.15574	0.250	0.13412	0.344	0.13062
0.064	0.27459	0.158	0.15486	0.252	0.13393	0.346	0.13063
0.066	0.26809	0.160	0.15400	0.254	0.13375	0.348	0.13064
0.068	0.26199	0.162	0.15318	0.256	0.13358	0.350	0.13066
0.070	0.25625	0.164	0.15238	0.258	0.13341	0.352	0.13068
0.072	0.25085	0.166	0.15161	0.260	0.13324	0.354	0.13069
0.074	0.24576	0.168	0.15086	0.262	0.13309	0.356	0.13072
0.076	0.24095	0.170	0.15014	0.264	0.13294	0.358	0.13074
0.078	0.23640	0.172	0.14944	0.266	0.13280	0.360	0.13077
0.080	0.23210	0.174	0.14876	0.268	0.13266	0.362	0.13079
0.082	0.22802	0.176	0.14811	0.270	0.13253	0.364	0.13082
0.084	0.22414	0.178	0.14747	0.272	0.13240	0.366	0.13086
0.086	0.22047	0.180	0.14686	0.274	0.13228	0.368	0.13089
0.088	0.21697	0.182	0.14626	0.276	0.13216	0.370	0.13093
0.090	0.21364	0.184	0.14568	0.278	0.13205	0.372	0.13097
0.092	0.21047	0.186	0.14512	0.280	0.13194	0.374	0.13101
0.094	0.20744	0.188	0.14458	0.282	0.13184	0.376	0.13105

EK 5 :Devam

K	B[C]	K	B[C]	K	B[C]	K	B[C]
0.378	0.13109	0.478	0.13502	0.578	0.14094	0.678	0.14768
0.380	0.13114	0.480	0.13513	0.580	0.14107	0.680	0.14782
0.382	0.13118	0.482	0.13523	0.582	0.14120	0.682	0.14796
0.384	0.13123	0.484	0.13534	0.584	0.14133	0.684	0.14810
0.386	0.13128	0.486	0.13545	0.586	0.14146	0.686	0.14824
0.388	0.13134	0.488	0.13555	0.588	0.14159	0.688	0.14838
0.390	0.13139	0.490	0.13566	0.590	0.14172	0.690	0.14852
0.392	0.13145	0.492	0.13577	0.592	0.14185	0.692	0.14866
0.394	0.13150	0.494	0.13588	0.594	0.14198	0.694	0.14880
0.396	0.13156	0.496	0.13599	0.596	0.14211	0.696	0.14894
0.398	0.13162	0.498	0.13610	0.598	0.14225	0.698	0.14908
0.400	0.13168	0.500	0.13621	0.600	0.14238	0.700	0.14922
0.402	0.13175	0.502	0.13632	0.602	0.14251	0.702	0.14936
0.404	0.13181	0.504	0.13644	0.604	0.14264	0.704	0.14950
0.406	0.13188	0.506	0.13655	0.606	0.14278	0.706	0.14964
0.408	0.13195	0.508	0.13666	0.608	0.14291	0.708	0.14978
0.410	0.13202	0.510	0.13678	0.610	0.14304	0.710	0.14992
0.412	0.13209	0.512	0.13689	0.612	0.14318	0.712	0.15006
0.414	0.13216	0.514	0.13701	0.614	0.14331	0.714	0.15020
0.416	0.13223	0.516	0.13712	0.616	0.14344	0.716	0.15034
0.418	0.13230	0.518	0.13724	0.618	0.14358	0.718	0.15048
0.420	0.13238	0.520	0.13736	0.620	0.14371	0.720	0.15062
0.422	0.13246	0.522	0.13747	0.622	0.14385	0.722	0.15076
0.424	0.13253	0.524	0.13759	0.624	0.14398	0.724	0.15090
0.426	0.13261	0.526	0.13771	0.626	0.14412	0.726	0.15104
0.428	0.13269	0.528	0.13783	0.628	0.14425	0.728	0.15118
0.430	0.13277	0.530	0.13795	0.630	0.14439	0.730	0.15132
0.432	0.13286	0.532	0.13807	0.632	0.14452	0.732	0.15146
0.434	0.13294	0.534	0.13819	0.634	0.14466	0.734	0.15160
0.436	0.13303	0.536	0.13831	0.636	0.14479	0.736	0.15174
0.438	0.13311	0.538	0.13843	0.638	0.14493	0.738	0.15188
0.440	0.13320	0.540	0.13855	0.640	0.14507	0.740	0.15203
0.442	0.13329	0.542	0.13867	0.642	0.14520	0.742	0.15217
0.444	0.13337	0.544	0.13880	0.644	0.14534	0.744	0.15231
0.446	0.13346	0.546	0.13892	0.646	0.14548	0.746	0.15245
0.448	0.13356	0.548	0.13904	0.648	0.14561	0.748	0.15259
0.450	0.13365	0.550	0.13917	0.650	0.14575	0.750	0.15273
0.452	0.13374	0.552	0.13929	0.652	0.14589	0.752	0.15287
0.454	0.13383	0.554	0.13942	0.654	0.14602	0.754	0.15301
0.456	0.13393	0.556	0.13954	0.656	0.14616	0.756	0.15315
0.458	0.13402	0.558	0.13967	0.658	0.14630	0.758	0.15330
0.460	0.13412	0.560	0.13979	0.660	0.14644	0.760	0.15344
0.462	0.13422	0.562	0.13992	0.662	0.14657	0.762	0.15358
0.464	0.13431	0.564	0.14005	0.664	0.14671	0.764	0.15372
0.466	0.13441	0.566	0.14017	0.666	0.14685	0.766	0.15386
0.468	0.13451	0.568	0.14030	0.668	0.14699	0.768	0.15400
0.470	0.13461	0.570	0.14043	0.670	0.14713	0.770	0.15414
0.472	0.13472	0.572	0.14056	0.672	0.14727	0.772	0.15428
0.474	0.13482	0.574	0.14068	0.674	0.14740	0.774	0.15443
0.476	0.13492	0.576	0.14081	0.676	0.14754	0.776	0.15457

EK 5 : Devam

K	B[C]	K	B[C]	K	B[C]	K	B[C]
0.778	0.15471	0.834	0.15866	0.890	0.16259	0.946	0.16646
0.780	0.15485	0.836	0.15880	0.892	0.16273	0.948	0.16660
0.782	0.15499	0.838	0.15894	0.894	0.16286	0.950	0.16674
0.784	0.15513	0.840	0.15908	0.896	0.16300	0.952	0.16688
0.786	0.15527	0.842	0.15922	0.898	0.16314	0.954	0.16701
0.788	0.15542	0.844	0.15936	0.900	0.16328	0.956	0.16715
0.790	0.15556	0.846	0.15950	0.902	0.16342	0.958	0.16729
0.792	0.15570	0.848	0.15965	0.904	0.16356	0.960	0.16743
0.794	0.15584	0.850	0.15979	0.906	0.16370	0.962	0.16756
0.796	0.15598	0.852	0.15993	0.908	0.16384	0.964	0.16770
0.798	0.15612	0.854	0.16007	0.910	0.16398	0.966	0.16784
0.800	0.15626	0.856	0.16021	0.912	0.16412	0.968	0.16797
0.802	0.15640	0.858	0.16035	0.914	0.16425	0.970	0.16811
0.804	0.15655	0.860	0.16049	0.916	0.16439	0.972	0.16825
0.806	0.15669	0.862	0.16063	0.918	0.16453	0.974	0.16838
0.808	0.15683	0.864	0.16077	0.920	0.16467	0.976	0.16852
0.810	0.15697	0.866	0.16091	0.922	0.16481	0.978	0.16865
0.812	0.15711	0.868	0.16105	0.924	0.16495	0.980	0.16879
0.814	0.15725	0.870	0.16119	0.926	0.16509	0.982	0.16893
0.816	0.15739	0.872	0.16133	0.928	0.16522	0.984	0.16906
0.818	0.15753	0.874	0.16147	0.930	0.16536	0.986	0.16920
0.820	0.15767	0.876	0.16161	0.932	0.16550	0.988	0.16933
0.822	0.15782	0.878	0.16175	0.934	0.16564	0.990	0.16947
0.824	0.15796	0.880	0.16189	0.936	0.16578	0.992	0.16961
0.826	0.15810	0.882	0.16203	0.938	0.16591	0.994	0.16974
0.828	0.15824	0.884	0.16217	0.940	0.16605	0.996	0.16988
0.830	0.15838	0.886	0.16231	0.942	0.16619	0.998	0.17001
0.832	0.15852	0.888	0.16245	0.944	0.16633	1.000	0.17015