

## ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

### KUSURLU ORANI KONTROL GRAFIĞININ EKONOMİK TASARIMI İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL

Adem DOĞAR<sup>1</sup>, A. Sermet ANAGÜN<sup>2</sup>

#### ÖZ

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK), ürün karakteristiklerindeki değişkenliğin sistematik olarak azaltılması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi amacıyla kullanılır. Önemli İSK tekniklerinden biri olan kontrol grafikleri, üretim sürecinin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi, olağan dışı bir durum varsa bunun fark edilmesi ve sebeplerinin belirlenerek giderilmesi amaçlarına hizmet eder. Kontrol grafiklerinin ekonomik analizi çalışmalarında kontrol grafiği uygulama maliyetleri bir matematiksel model şeklinde ele alınır ve maliyetleri en küçükleyen örnekleme politikası belirlenmeye çalışılır. Ayrıca ele alınan matematiksel modellerle, parametrelerde meydana gelebilecek değişikliklerin en iyi tasarım değişkenlerine etkileri de belirlenebilir. Bu çalışmada kusurlu oranı kontrol grafiğinin ekonomik analizine ilişkin bir matematiksel model geliştirilmiştir. İncelenen üretim süreci için bir beklenen getiri fonksiyonu tariflenmiş ve bu fonksiyonu en büyükleyen tasarım değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İstatistiksel Süreç Kontrolü, Niteliksel Kontrol Grafikleri, Kusurlu Oranı Kontrol Grafiği, Ekonomik Tasarım.

### A MATHEMATICAL MODEL FOR ECONOMIC DESIGN OF CONTROL CHART FOR FRACTION NONCONFORMING

#### ABSTRACT

The aim of statistical process control (SPC) is to decrease the variability of product characteristics systematically and is to improve product quality. Control charts, one of the important techniques of SPC determine whether or not the manufacturing process is under control and help us recognize extraordinary positions if exist. Economic analysis of control charts is very important for explaining the cost of using control charts with the help of a mathematical model, determining the sampling policy which minimizes the costs, determining the reflection of any changes on the parameters to the solution. In this study, a model is set up for economic analysis of control chart for fraction nonconforming. An expected income function is developed for the monitored process and design parameters that maximize this function are tried to be determined.

**Key Words:** Statistical Process Control, Control Charts for Attributes, Control Chart for Fraction Nonconforming, Economic Design.

#### 1. GİRİŞ

İSK kapsamında, süreç(ler)de çeşitli nedenlerden kaynaklanan değişkenliğin belirlenerek ölçülmesi, kontrol altına alınarak sürecin kararlı hale getirilmesi amacıyla yapılan faaliyetler yer almaktadır. Yapılan bu faaliyetlerde problem belirleme ve çözme araçları olarak bilinen; akış şeması, işaret tablosu, histogram, pareto diyagramı, sebep-sonuç diyagramı, dağılım diyagramı ve kontrol grafikleri gibi istatistiksel yöntem ve teknik-

ler kullanılmaktadır. İSK'da problem belirleme ve çözme araçları olarak ifade edilen istatistiksel yöntem ve tekniklerden birisi olan kontrol grafikleri hem süreçte istenmeyen ya da beklenmeyen bir durumun (insan, makine, malzeme, yöntem ve çevre bileşenlerinden kaynaklanan doğal olmayan durumlar) varlığının belirlenmesinde hem de söz konusu durumun ilgililenen kalite karakteristiğinde yarattığı değişkenliğin sistematik olarak azaltılmasında kullanılmaktadır (Anagün, 1997).

<sup>1</sup> ETİ Şirketler Grubu, İsmet İnönü Cad. No: 122, Eskişehir.  
<sup>2</sup> Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bademlik, 26030, Eskişehir.  
Tel: (222) 230-3972, Faks: (222) 221-3918, E-posta: sanagun@ogu.edu.tr  
Geliş: 15 Şubat 2001; Düzeltme: 12 Temmuz 2001; Kabul: 31 Ekim 2001.

Belirtilen amaçlara uygun olarak, üretilen birimlerin niceliksel ve niteliksel özellikleri için bir dizi kontrol grafiği geliştirilmiştir (Burnak, 1997). Kontrol grafiklerinin başarıyla uygulanabilmesi için, ilgilenilen kalite karakteristiği temelinde sürecin performansını ölçebilecek uygun kontrol grafiğinin seçilmesi ve süreçten alınan örneklerin kullanımıyla oluşturulan kontrol grafiklerindeki değişkenliğin yorumlanması amacıyla sürecin davranışını açıklayıcı ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlayıcı kuralların belirlenmesi gerekmektedir (Anagün, 1998). Öte yandan, kontrol grafiğinin oluşturulmasında; kullanılan örnek büyüklüğü, örnekleme aralığı gibi karar değişkenlerinin değerlerinin belirlenmesi, bir anlamda kontrol grafiğinin uygulandığı süreç için ekonomik analizinin yapılması gerekli olmaktadır (Montgomery, 1997).

Niteliksel ölçüler için oluşturulan kontrol grafiklerinin ekonomik analizi ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalarda, genellikle kusurlu oranı ( $p$ ) ve kusurlu sayısı ( $np$ ) kontrol grafikleri incelenmiştir. Ekonomik tasarım amacıyla, ele alınan üretim süreci özelliklerine göre bir matematiksel model geliştirilmiş ve belirlenen ölçütü (beklenen kayıp fonksiyonu veya beklenen getiri fonksiyonu) eniyileyen tasarım değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır. İncelenen üretim sürecinin özelliklerindeki (örnekleme yöntemi, özel neden sayısı, özel nedenin araştırılması ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretimin durdurulup durdurulmadığı gibi) farklılaşmalar bir dizi yeni matematiksel modelin türetilmesine neden olmuştur.

Ayrıca yapılan çalışmalarda,  $p$  ve  $np$  kontrol grafikleri birlikte ele alınmış ve  $p$  kontrol grafiği için belirlenen tasarım değişkenlerinin  $np$  kontrol grafikleri için de geçerli olduğu varsayılmıştır. Niteliksel ölçüler için oluşturulan kontrol grafiklerinin ekonomik analizi çalışmalarında genellikle; örnek büyüklüğü ( $n$ ), birim zaman cinsinden örnekleme aralığı ( $h$ ) ve kabul edilebilir kusurlu sayısı ( $d$ ) tasarım değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Niteliksel ölçüler için oluşturulan kontrol grafikleri, ekonomik tasarım anlamında uzun süre ihmal edilmiş olmakla birlikte, uygulamada bu grafikler; kullanım kolaylığı, gerektirdiği süre ve maliyetin düşük olması gibi üstünlükleri nedeniyle oldukça fazla rağbet görmektedirler. Bu nedenler araştırmacıların ilgisini niteliksel ölçüler için oluşturulan kontrol grafiklerinin ekonomik analizi konusuna çekmiştir.

Chiu (1975) sadece bir özel nedenin ortaya çıkabildiği bir üretim sürecinde kusurlu sayısı ( $np$ ) kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı amacıyla bir matematiksel model geliştirmiştir. İncelenen süreçte,  $h$  saat üretimin ardından üretilenler içinden  $n$  adet örnek alınır ve kusurlu ürün sayısı kabul edilebilir kusurlu sayısından ( $d$ ) büyükse, üretim özel nedeni belirlemek ve gidermek için

durdurulur. Chiu çalışmasında, bu süreç için beklenen kayıp fonksiyonunu tariflemiş ve bu fonksiyonu en küçükleyen  $n$ ,  $d$  ve  $h$  tasarım değişkenlerini belirlemeye çalışmıştır. Montgomery vd. (1975) süreci,  $p_0$  kusurlu oranından  $p_1, p_2, \dots, p_s$  kusurlu oranlarından herhangi birine geçişin olasılığı şeklinde tanımlanan  $p_0$  olasılıklarından yararlanarak, Markov süreci olarak ele almışlardır ve birkaç kontrol dışı durumun söz konusu olduğu durumda, kusurlu oranı ( $p$ ) kontrol grafiği için bir beklenen maliyet fonksiyonu geliştirmişlerdir. Çalışmada doğrudan arama yöntemleri kullanılarak maliyet fonksiyonunu en küçükleyen tasarım değişkenleri araştırılmıştır.

Duncan (1978),  $h$  saat üretimin ardından üretilenler içinden  $n$  adet örneğin alındığı ve özel neden araştırılıp gideriliyorken üretimin durdurulmadığı bir süreç için, kusurlu oranı ( $p$ ) kontrol grafiğine ilişkin beklenen kayıp fonksiyonunu tariflemiş ve bu fonksiyonu en küçükleyen  $n$ ,  $d$  ve  $h$  tasarım değişkenlerini belirlemeye çalışmıştır. Woo ve Sculli (1981), kusurlu sayısı ( $np$ ) kontrol grafiğinin kullanıldığı bir üretim sürecindeki değişiklikleri benzetim ile incelemiştir. Benzetim periyodu boyunca; alınan ortalama örnek sayısı, kaydedilen yanlış ve doğru alarm sayıları gibi üretilen bilgilere dayalı bir toplam kar fonksiyonu oluşturulmuş ve bu fonksiyonunu en büyükleyen  $n$ ,  $d$  ve  $h$  tasarım değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

William vd. (1985), örnek büyüklüğünün sabit olmadığı kısaltılmış örnekleme prosedürünün kullanılması durumu için, birden fazla özel nedenin ortaya çıkabildiği bir üretim sürecinde kusurlu sayısı ( $np$ ) kontrol grafiğinin ekonomik analizini incelemişler ve oluşturdukları maliyet fonksiyonunu en küçükleyen  $n$ ,  $d$  ve  $h$  tasarım değişkenlerini belirlemeye çalışmışlardır. Taguchi vd. (1989), iki farklı üretim süreci için kusurlu oranı ( $p$ ) ve kusurlu sayısı ( $np$ ) kontrol grafiklerini incelemişlerdir. Her iki üretim sürecinde de, her  $k$  birim üretimin ardından bir tek birimin muayene edildiği ve muayene edilen ürün kusurlu ise sürece müdahale edildiği varsayılmıştır. Taguchi vd. (1989), inceledikleri üretim süreçleri için birer beklenen kayıp fonksiyonu tariflemişler ve bu fonksiyonları en küçükleyen tasarım değişkeni olarak adet cinsinden örnek alma aralığını ( $k$ ) türev yöntemlerini kullanarak belirlemeye çalışmışlardır.

Nayebpour ve Woodall (1993), Taguchi vd. tarafından 1989 tarihinde incelenen üretim süreçleri için iki alternatif yaklaşım geliştirmişlerdir. İncelenen üretim süreci özelliklerine göre yeni beklenen kayıp fonksiyonları tariflenmiş ve bu fonksiyonları en küçükleyen  $k$  değişkeni tek boyutlu türev kullanan arama yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Saniga vd. (1995), kontrol altındaki ve çeşitli kontrol dışı durumlardaki ortalama çalışma süresine (OÇS) ilişkin bazı kısıtlar tariflemişler ve bu kısıtları sağlayacak şekilde istatistiksel tasarım yap-

maya çalışmışlardır. Kusurlu oranı (p) ve kusurlu sayısı (np) kontrol grafiklerinin ekonomik analizi için gerçekleştirilen bu çalışmada; n, h, d tasarım değişkenleri, özel düzen sayısı (s) ile ilişkilendirilmiştir.

Kusurlu oranı (p) kontrol grafiğinin ekonomik analizi amacıyla geliştirilen yeni matematiksel modelde, h birim zaman üretimin ardından örnekleme anından itibaren üretilen ilk n birimin örnekleme şekline tariflenen farklı bir örnekleme yöntemi modellenmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin çözüm sonuçları, incelenen üretim süreci özellikleri açısından büyük benzerlikler gösteren ve literatürde önemli ölçüde kabul gören Chiu (1975) ve Duncan (1978) modelleri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. KUSURLU ORANI KONTROL GRAFİĞİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Kontrol grafikleri uygulamalarına yönelik, örnekleme maliyeti, üretim sürecine müdahale etmenin maliyeti, yanlış alarm maliyeti gibi kalite maliyetlerini içeren bir matematiksel model geliştirilebilirse, karar vermeye yönelik bazı göstergeler bu modelin sonuçları olarak elde edilebilir. Böyle bir matematiksel model, maliyet parametrelerinin belirlenen değerleri için örnekleme aralığı (h), örnek içindeki birim sayısı (n) ve kabul edilebilir kusurlu sayısı (d) karar değişkenlerine atanacak değerlerin bulunmasını önemli ölçüde kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada, ifade edilen maliyet bileşenlerini içeren bir matematiksel model geliştirilmiş ve üretim sürecinin birim zaman başına beklenen getirisini en yükleyecek şekilde;

- (i) Hangi zaman aralıklarıyla (h) örnek alınmalıdır?
- (ii) Örnek içindeki birim sayısı (n) ne olmalıdır?
- (iii) Örnek içindeki kabul edilebilir kusurlu sayısı (d) ne olmalıdır?

soruları yanıtlanmaya ve dolayısıyla ilgili karar değişkenlerine atanacak değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Daha önce tasarım değişkenleri olarak ifade edilen n, h ve d, çalışmanın kalan kısmında modelleme kavramları göz önünde bulundurularak karar değişkeni olarak tanımlanacaktır.

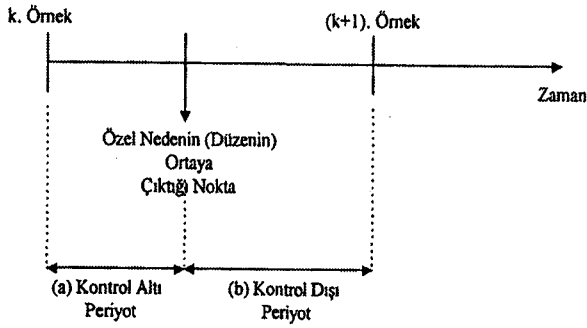
Yapılan çalışmada, örnek kusurlu oranının test istatistiği olarak grafik üzerine işaretlendiği kusurlu oranı (p) kontrol grafiğinin ekonomik analizi üzerinde durulmuştur. Ancak tamsayı değerlerle çalışmak daha kolay ve kabul edilebilir kusurlu birimlerin sayısı tamsayı olduğundan, çalışmada, kusurlu sayısı kontrol grafiğinin ekonomik analizinde kullanılan d karar değişkeninin

belirlenmesi amaçlanmıştır. Modelin çözümü sonucu elde edilen kabul edilebilir kusurlu sayısı,  $\frac{d+1}{n} - 0.001$  ifadesi kullanılarak kusurlu oranı kontrol grafiğinin üst kontrol sınırı tasarım bileşenine dönüştürülebilir (Duncan, 1978). Alınan örnek içindeki kusurlu ürün sayısının kabul edilebilir kusurlu sayısından fazla olması, örnek kusurlu oranının üst kontrol sınırının dışına çıkması anlamına geldiğinden sürece müdahale edilir. Sonuç olarak geliştirilecek matematiksel modelin çözümünden elde edilecek n, h ve d karar değişkeni değerlerinin, hem kusurlu oranı (p) kontrol grafiğinin hem de kusurlu sayısı (np) kontrol grafiğinin ekonomik tasarımını sağladığı söylenebilir.

İncelenen üretim sürecini etkileyen yalnızca bir özel neden (kullanılan matkap ucunun körelmesi, pişirme fırını fırın içi sıcaklık-basınç dağılımlarının zamanla değişmesi ve benzeri) dikkate alınmıştır. Özel nedenin ortaya çıkması sonucu, üretim sürecini gözlemlemek üzere kullanılan kusurlu oranı kontrol grafiği üzerinde bir özel düzen oluşacaktır. Özel düzenin ortaya çıkması ile birlikte bu özel düzene yol açan özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi için bazı düzenlemelerin yapılması gereklidir. Yapılan çalışmaların bir kısmında özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretimin durdurulduğu, bir kısmında ise üretimin durdurulmadığı varsayılmış ve üretim süreci bu varsayım göre modellenmiştir. Bu çalışmada ise, özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretimin durdurulması ve durdurulmaması seçeneklerinin her ikisini de göz önünde bulunduran bir matematiksel model, 0-1 tamsayı değişken kullanımı ile geliştirilmiştir.

Niteliksel ölçüler için oluşturulan kontrol grafiklerinin ekonomik analizi konusunda yapılan çalışmalarda, incelenen üretim süreci özelliklerindeki değişikliklere göre çok farklı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Çalışmalarda genellikle, h birim zaman üretimin ardından üretilenler içinden n birimin örnekleme şeklinde ifade edilen bir örnekleme yönteminin kullanıldığı üretim süreçleri modellenmiştir. Bazı çalışmalarda ise, değişken örnekleme yönteminin veya rassal örnekleme yönteminin kullanıldığı üretim süreçleri incelenmiştir. Bu çalışmada, özellikle tekstil, kağıt, bisküvi ve benzeri üretim sektörlerinde üretim sürecinin özelliklerinden dolayı kullanımı zorunlu olan farklı bir örnekleme yöntemi ele alınmıştır. Bu örnekleme yöntemine göre, h birim zaman üretim yapıldıktan sonra izleyen ilk n birim örnek olarak seçilmektedir.

Özel düzen iki örnekleme anı arasında bir noktada ortaya çıkmakta, bu noktadan itibaren kontrol dışı üretim başlamakta ve kontrol dışı üretim, özel düzenin oluşmasına yol açan özel nedenin belirlenip giderilmesi anına kadar devam etmektedir. Bu ifadenin zaman eksenini üzerindeki gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kontrol Altı ve Kontrol Dışı Üretim Periyotlarının Gösterimi.

Eğer  $h$  birim zaman aralıklarıyla üretilenler içinden  $n$  birim örnek alınıyorsa, bu durumda yapılacak kötü bir örnekleme ile alınan örneklerin tamamı veya büyük bir kısmı, özel nedenin ortaya çıktığı noktadan önceki periyotta (Şekil 1'de a ile gösterilmiştir) üretilen ürünler içinden seçilebilir. Böyle bir örnekleme sonucu alınan  $n$  birim örnek içindeki kusurlu sayısı kabul edilebilir kusurlu sayısını ( $d$ ) aşmayacak ve özel neden yakalanamayacaktır. Sonuç olarak, bu tür örnekleme yöntemlerinde süreçte çok nadir ortaya çıkan ve bu nedenle kusurlu oranını çok az arttıran, fakat etkileri yönüyle süreç parametrelerinde önemli değişikliklere sebep olan özel nedenlerin yakalanması olasılığı düşüktür.

Öte yandan süreç kontrol dışına çıktıktan sonra, dışarıdan herhangi bir müdahale yapılmadıkça süreçte düzelme olmayacağı ve dolayısıyla süreç kusurlu oranının  $p_0$ 'dan  $p_1$ 'e yükseleceği açıktır (William vd., 1985). Bu nedenle, çalışmada modellenen ve örnekleme zamanından itibaren üretilen ilk  $n$  birimin örnekleme şeklinde tariflenen örnekleme yöntemi ile, örnekleme birimlerinin kontrol dışı periyotta üretilen ürünler içinden olması sağlanabilecek ve kontrol dışı duruma yol açan özel nedenin yakalanması olasılığı daha yüksek olacaktır.

Süreç parametrelerinde çok ciddi değişikliklere yol açan bir özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi için katlanılacak süre ve maliyetin, süreç parametrelerinde daha az etkili bir özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi için katlanılacak süre ve maliyet ile aynı olmayacağı açıktır. Bahsedilen birinci tür özel nedenlerin belirlenmesi kolay, fakat giderilmesi güçtür. İkinci tür özel nedenlerde ise durum tam tersidir, özel nedeni belirlemek güç fakat gidermek kolaydır. Daha önceki çalışmalarda bu tür özel nedenler aynı kabul edilmiş ve modelde tek bir süre-maliyet değeri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, süreç parametrelerinde büyük değişikliklere yol açan özel nedenler *önemli hata*, süreç parametrelerinde daha küçük değişikliklere neden olan özel nedenler ise *önemsiz hata* şeklinde tanımlanmış ve modelde bu özel nedenler için farklı süre-maliyet değerleri kullanılmıştır.

Ayrıca çalışmada alınan örnek içindeki kusurlu birimlerin bir kısmının yeniden işlenmesinin mümkün olduğu varsayılmış ve bazı yeni parametreler tariflenmiştir.

### 3. KULLANILAN PARAMETRELER VE TANIMLARI

İncelenen üretim sürecinin modellenmesi sırasında kullanılan parametrelerin bir kısmı, Chiu (1975) ve Duncan (1978) tarafından kullanılan parametreler ile aynıdır. Bu ortak parametreler ve tanımları aşağıda verilmiştir.

- $p_0$  : Süreç kontrol altında iken ortalama kusurlu oranı,
- $p_1$  : Süreç kontrol dışında iken ortalama kusurlu oranı,
- $\lambda$  : Kontrol altındaki zamanın dağılımı için üstel dağılım parametresi,
- $A_f$  : Kontrol dışı durum sinyali yanlış iken oluşan maliyet (Chiu 'nun çalışmasında  $A_0$  ile, Duncan'ın çalışmasında ise  $T$  ile gösterilmiştir),
- $D_2$  : Yanlış alarmlar dolayısıyla oluşan kayıp süre (Chiu 'nun çalışmasında  $t_0$  ile gösterilmiştir),
- $g$  : Bir birim örneğin muayene edilmesi, değerlendirilmesi ve grafik üzerinde işaretlenmesi için gerekli süre (yeniden işleme için yapılan ayırma işlemi dahil),
- $b$  :  $n$  birim örnek almanın sabit maliyeti,
- $c$  :  $n$  birim örnek almanın değişken maliyeti.

İncelenen üretim sürecinin özelliklerinden dolayı yeni matematiksel modelle birlikte gündeme gelen parametreler ise şunlardır :

- $W_0$  : Birim başına elde edilen net gelir,
- $C_r$  : Birim başına yeniden işleme maliyeti,
- $p_1$  : Yeniden işlenebilir ürün oranı,
- Std : Standart süre.

Özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi için oluşan süre ve maliyet parametreleri, özel nedenin önemli hata ve önemsiz hata şeklinde sınıflandırılmasına bağlı olarak, daha önce yapılan çalışmalardaki kullanıma göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesine ilişkin süre ve maliyet parametreleri aşağıda verilmiştir.

- $D_0$  : Önemli hata olması durumunda özel nedeni belirlemek ve gidermek için geçen süre,
- $D_1$  : Önemsiz hata olması durumunda özel nedeni belirlemek ve gidermek için geçen süre,

$A_{10}$  : Önemli hata olması durumunda, özel nedeni belirlemek ve gidermek için katlanılan maliyet (üretim durdurulması halinde gündeme gelen kayıp süreden dolayı oluşan maliyeti de içerir),

$A_{11}$  : Önemsiz hata olması durumunda, özel nedeni belirlemek ve gidermek için katlanılan maliyet (üretim durdurulması halinde gündeme gelen kayıp süreden dolayı oluşan maliyeti de içerir).

Ayrıca özel neden hakkında verilecek önemli hata - önemsiz hata kararına ve özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi sırasında üretimin durdurulması veya durdurulmaması varsayımına göre, bazı süre ve maliyet bileşenlerini aktif hale getirmek için 0-1 tamsayı değişkenler kullanılmıştır. Z, hata türü ile ilgili değişken olmak üzere,

$$Z = \begin{cases} 1, & \text{önemli hata} \\ 0, & \text{önemsiz hata} \end{cases}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Benzer şekilde  $\delta_1$ , özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretimin durdurulması ve durdurulmaması ile ilgili değişken olmak üzere,

$$\delta_1 = \begin{cases} 1, & \text{Üretim durdurulmuyor} \\ 0, & \text{Üretim durduruluyor} \end{cases}$$

biçiminde tanımlanmıştır.

#### 4. İNCELENEN ÜRETİM SÜRECİ

Genel anlamda, süreç, kusurlu oranı ortalamasının  $p_0$  kusurlu oranına eşit olduğu kontrol altındaki bir durumdan başlar. Bir özel nedenin ortaya çıkması sonucu süreç ortalaması,  $p_0$ 'dan daha büyük bir  $p_1$  değerine çıkacaktır. Kontrol grafiği bu değişikliğin büyüklüğüne bağlı olarak tasarlanmalıdır.

Rassal olarak ortaya çıkan özel nedenlerin ortaya çıkışları arasında geçen zaman, parametresi  $\lambda$  olan üstel dağılıma, alınan bir örnekteki kusurlu ürün sayısı da, ortalaması  $n \cdot p_0$  olan binom dağılımına uymaktadır (Duncan, 1978). Üretim sürecinde  $h$  birim zaman üretim yapıldıktan sonra üretilen ilk  $n$  birim örnek olarak alınır ve grafik üzerine örnekteki kusurlu oranı işaretlenir. Kusurlu ürün oranı üst kontrol sınırının dışına çıkarsa özel nedeni araştırmak ve gidermek için bazı düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Sürecin kontrol altındaki bir durumla üretime başladığı zaman  $t$  iken, daha önce özel nedenin ortaya çıkması olasılığı  $e^{-\lambda \cdot t}$ 'dir. Özel nedenin ortaya çıkması sonucu oluşan özel düzenler arası geçen ortalama zaman,  $1/\lambda$ 'dir. Eğer  $h$  birim zaman aralıklarla örnekler alınıyor ve  $k$ 'inci ile  $k+1$ 'inci örnek arasındaki aralıkta özel düzenin ortaya çıktığı biliniyorsa, bu aralıkta özel düzenin ortaya çıktığı an, ( $\tau$ ),

$$\tau = \frac{\int_{kh}^{(k+1)h} e^{-\lambda t} \cdot \lambda(t - kh) dt}{\int_{kh}^{(k+1)h} e^{-\lambda t} \cdot \lambda \cdot dt} = \frac{1 - (1 + \lambda h) \cdot e^{-\lambda t}}{\lambda \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (1)$$

olarak verilmektedir (Duncan, 1956).

Özel neden ortaya çıktığında,  $p$  özel nedenin belirlenmesi olasılığı ve  $q$  özel nedenin belirlenmemesi olasılığı iken, ortaya çıkan özel nedenin alınan  $n$  birimlik bir örnek ile belirlenmesi olasılığı, örnek içindeki kusurlu birim sayısının ( $X$ ) binom dağılımına uyduğu varsayımından hareketle,

$$p = P(X > d / p_1) = 1 - \sum_{x=0}^d \binom{n}{x} \cdot p_1^x \cdot (1 - p_1)^{n-x} \quad (2)$$

şeklinde bulunur (Kara, 2000). Özel neden ortaya çıktıktan sonra, değişikliğin  $r$ 'inci örnekte belirlenmesi olasılığı,  $p \cdot q^{r-1}$  ve değişikliğin belirlenmesi anına kadar alınan ortalama örnek sayısı,

$$\sum_{r=1}^{\infty} r \cdot p \cdot q^{r-1} = \frac{1}{p} \quad (3)$$

ifadesi ile bulunur (Burnak, 1997). Tüm bunlardan hareketle özel neden ortaya çıktıktan sonra, belirleninceye kadar kontrol dışında geçen periyot,

$$\frac{h}{p} - \tau \quad (4)$$

olarak belirlenir (Duncan, 1956).

Süreç kontrol altında iken, alınan örneğin kontrol sınırları dışında çıkması olasılığı olarak tariflenen I. tip hata ( $\alpha$ ), yine örnek içindeki kusurlu birim sayısının binom dağılımına uyduğu varsayımından hareketle,

$$\alpha = P(X > d / p_0) = 1 - \sum_{x=0}^d \binom{n}{x} \cdot p_0^x \cdot (1 - p_0)^{n-x} \quad (5)$$

şeklinde bulunabilir (Chiu, 1975). Süreç kontrol dışına çıkmadan önce verilen yanlış alarmların beklenen sayısı ise,  $\alpha$  olasılığı ve bir çevrim boyunca gerçekleştirilen ortalama örnekleme sayısının çarpımı ile

$$\alpha \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \int_{ih}^{(i+1)h} i \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt = \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot (e^{-ih\lambda} - e^{-(i+1)h\lambda}) \\ = -\alpha \cdot (1 - e^{-\lambda h}) \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda} \cdot \frac{1}{h} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} e^{-ih\lambda} = \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} \quad (6)$$

şeklinde bulunur (Duncan, 1956).

#### 5. MODEL VARSAYIMLARI

Geliştirilen modelin matematiksel analizini kolaylaştırmak amacıyla, incelenen üretim sürecinin modellenmesi sırasında sürecin davranış biçimine ilişkin bazı

varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımların en önemlileri, süreçte tek özel nedenin varolması ve değişkenlik miktarının biliniyor olmasıdır. Duncan (1971), Knappenberger ve Grandage (1969) gibi pek çok araştırmacı, farklı ortaya çıkış zamanlarına sahip birden fazla özel nedenin varolduğu üretim süreçlerini modellemiştir. Yapılan çalışmalar, ağırlıklandırılmış ortalama değişkenlik miktarı ile ağırlıklandırılmış ortalama kontrol dışı durum zamanını içeren tek özel nedenli modellerin, çok özel nedenli modellerin en küçük maliyet değerine yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, çok özel nedenli modeller yerine ona oldukça yakın sonuçlar veren tek özel nedenli modeller kullanılabilir (Lorenzen ve Vance, 1986).

Modelde kullanılan tüm parametreler belirlilik ortamında karar verme yaklaşımına göre, sabit değerler almışlardır. Gerçekte ise bu parametrelerin bazıları bilinmiyor olabilir. Fakat, burada birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonunda değişiklik yapmaksızın, parametrelerin belirli değerleri beklenen değerleri ile yer değiştirebilir. Bu değişiklik, modelin yapısına etki etmeyecek yalnızca karar değişkenlerine atanan değerlerde farklılaşmalara neden olacaktır.

Üretim sürecinin kontrolü amacıyla,  $h$  birim zaman üretimin ardından örnekleme anından itibaren üretilen ilk  $n$  birimin örnekleme şeklinde bir örnekleme politikasının kullanıldığı varsayımı, matematiksel modelin geliştirilmesinde kullanılan önemli bir varsayımdır.

Ayrıca matematiksel modelde, kontrol altında geçen zamanın, ortalaması  $1/\lambda$  olan negatif üstel dağılımı rassal değişken olduğu varsayılmıştır. Bu, beraberinde belleksizlik özelliğine sahip bir süreci ifade etmektedir. Negatif üstel dağılımdan farklı bir dağılımın geçerli olması durumunda, özel düzenin ortaya çıkma anı ( $\tau$ ) ve kontrol altında geçen süre ( $1/\lambda$ ) değişecektir. Genel olarak,  $\tau$  değişikliğinin ortaya çıktığı yere bağlıdır ve ortaya çıkan özel düzenin yapılacak ilk örnekleme ile belirlenmesi olasılığına (bu olasılık modellenen örnekleme politikası için oldukça yüksektir) bağlı olarak, çoğunlukla  $[0, h]$  aralığında değer alacaktır. Bu nedenle,  $\tau$ 'daki değişiklik göz ardı edilebilir. Diğer yandan, özel nedenin ortaya çıkması için gerekli olan ortalama zaman, kontrol altında geçen zamanın dağılımı  $1/\lambda$  ortalamaya sahip olsa bile, önemli ölçüde değişebilir. Dağılıma bağlı olarak, yanlış alarmlar özel düzen sinyali ortaya çıkana kadar kontrol altında geçen zamanı arttırabilir. Belleksizlik özelliğine sahip bir üretim süreci, yanlış alarmdan sonra yanlış alarm ortaya çıkmamış gibi devam ettirileceğinden, kontrol altında geçen süre ortaya çıkan yanlış alarmlardan etkilenmeyecektir (Lorenzen ve Vance, 1986).

## 6. ÜRETİM SÜRECİNİN MODELLENMESİ

Süreç modellenirken, ilk olarak beklenen çevrim uzunluğu ( $B[\Ç]$ ) tanımlanmakta, ardından beklenen getiri tariflenmekte ( $B[G]$ ) ve son olarak beklenen getiri beklenen çevrim uzunluğuna oranlanmasıyla ( $B[G]/B[\Ç]$ ) birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonu ( $B[K]$ ) bulunmaktadır (Montgomery, 1980).

### 6.1. Beklenen Çevrim Uzunluğu

Çalışmanın izleyen kesimlerinde sıkça sözü edilen üretim çevrimi, üretimin başlangıcından (üretimin başlangıcında süreç kontrol altındadır) özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi için yapılan müdahalenin sonucunda, sürecin tekrar kontrol altına girdiği ana kadar geçen süre şeklinde tanımlanmıştır. Özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi işleminden sonra yeni bir üretim çevrimi başlar. Kontrol altındaki iki ardışık periyodun başlangıçları arasında geçen süre olarak da tariflenen çevrim uzunluğu değişkendir. Üretim çevriminin uzunluğu, özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi sırasında üretimin durdurulup durdurulmaması, gözlenen yanlış alarm sayısı, ortaya çıkan özel nedenin önemli hata olup olmaması gibi faktörlere bağlıdır. Özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi sırasında yanlış alarm nedeniyle üretim durduruluyorsa, bir kayıp süre oluşacaktır. Ayrıca üretim sürecinin, özel nedenin araştırılması ve giderilmesi sırasında durdurulup durdurulmaması, süreç kontrol dışında iken süreçten elde edilen geliri ve örnekleme maliyetlerini de etkileyecektir.

Üretim çevrimi aşağıda verilen beş periyodun toplamından oluşur:

- (i) Kontrol altındaki periyot: Sürecin kontrol dışı duruma geçmeden önce kontrol altında kaldığı zamandır ve ortalaması  $1/\lambda$  olan üstel dağılımı bir rassal değişkendir (Montgomery, vd., 1975).
- (ii) Kontrol dışındaki periyot: Özel neden ortaya çıktıktan sonra belirleninceye kadar geçen sürenin beklenen uzunluğu,  $h/p-\tau$  ifadesi ile bulunur (Duncan, 1956).
- (iii) Örnekleme süresi:  $n$  birim örneğin alınması, muayene edilmesi, gerekli istatistiksel hesaplamaların yapılması ve sonuçların yorumlanması için geçen süre ( $g_{xn}$ ) ifadesi ile bulunur. Örnekleme yöntemine göre, örnekleme anından itibaren üretilen ilk  $n$  birim örneklendiği için,  $n$  birimin üretilmesi için geçen sürenin de ( $n \times Std$ ) örnekleme süresine eklenmesi gerekir. Sonuç olarak örnekleme süresi ( $n \times Std$ ) + ( $g_{xn}$ ) şeklinde bulunur ve kontrol dışından geçen süreye eklenir.
- (iv) Yanlış alarmlar dolayısıyla oluşan kayıp süre: Üretim süreci kontrol altında iken, süreç ölçümlerinden hareketle bulunan test istatistiği kontrol sınırla-

rı dışında çıkarsa (I. tip hata,  $\alpha$ ), yanlış alarm oluşur.  $D_2$ , yanlış alarm söz konusu iken beklenen araştırma süresi olmak üzere, yanlış alarmlar için harcanan beklenen süre,  $D_2$  ile beklenen çevrim uzunluğu boyunca gözlenen ortalama yanlış alarm yısının çarpımı ile

$$\frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} \times D_2 \quad (7)$$

şeklinde elde edilir (Chiu, 1975). Yanlış alarmlar dolayısıyla oluşan kayıp süre, özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretim durduruluyorsa ortaya çıkar. Çalışmada bu ilişki  $\delta_1$  0-1 tamsayı değişkeni kullanılarak sağlanmıştır. Özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi sırasında üretim durdurulmuyorsa  $\delta_1 = 1$ , üretim durduruluyorsa  $\delta_1 = 0$  değerini alacaktır. (7) nolu eşitlik  $(1 - \delta_1)$  ile çarpılırsa, yanlış alarmlar dolayısıyla oluşan kayıp sürenin üretimin durdurulması durumu için aktif olması, durdurulmaması durumu için sıfır değerini alması sağlanmış olur. Sonuç olarak yanlış alarmlar dolayısıyla oluşan kayıp süre,

$$(1 - \delta_1) \times \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} \times D_2 \quad (8)$$

eşitliğiyle elde edilir.

- (v) Özel nedeni belirlemek ve gidermek için oluşan süre: Bu çalışmada kontrol dışı duruma sebep olan özel neden, önemli hata ve önemsiz hata olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her iki hatayı belirlemek ve gidermek için oluşacak süre ve maliyetler farklı değerlere sahiptir. Süreç ortalamasındaki değişiklik değeri göre önemli veya önemsiz hata kararına varılmakta ve bu karara göre özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi için geçen ilgili süre ve katlanılan maliyet modele dahil edilmektedir. Duncan (1978), süreç ortalamasındaki ( $p_0$ ) değişikliğin başlangıç durumundaki standart sapma terimi,  $\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$ , ile ölçülmesi halinde,  $p$  ve  $np$  kontrol grafiklerinin tasarımında iyi bir durağanlığın söz konusu olacağını ifade etmiştir. Bu nedenle

bu çalışmada da süreç ortalamasındaki değişiklik miktarı, başlangıç durumundaki standart sapma terimi ile ölçülmüştür.

Süreç ortalamasındaki farklılaşma (kusurlu oranındaki artış) küçük ise, bu durum, süreçte çok nadir ortaya çıkan bir özel nedenin varlığını gösterir. Kusurlu oranını çok az arttırmasına rağmen özel düzen sinyalinin ortaya çıkmasına neden olan bu durum, çok nadir ortaya çıkan ama süreç karakteristiklerinde büyük değişikliklere sebep olan önemli (majör) bir hatadan dolayı ortaya çıkmaktadır. Böyle bir hatanın olumsuz sonuçları çok açık olarak gözlenir, bu nedenle belirlenmesi kolaydır. Önemli hatanın belirlenmesinin aksine giderilmesi oldukça güçtür. Ancak sürecin önemli hata içeriyorken uzun süre çalışması istenmeyeceğinden daha büyük bir maliyete katlanılarak ( $A_{t0}$ ), çok kısa sürede ( $D_0$ ) giderilmesi yoluna gidilir. Aynı şekilde süreç ortalamasındaki farklılaşma (kusurlu oranındaki artış) büyük ise, bu kontrol dışı durum, daha sık gözlenen ve süreç karakteristiklerinde çok büyük değişikliklere neden olmayan önemsiz (minör) bir hatadan dolayı ortaya çıkmaktadır. Önemsiz hatanın belirlenmesi güç, fakat giderilmesi kolaydır. Burada süre uzun ( $D_1$ ), maliyet ( $A_{t1}$ ) ise küçüktür.

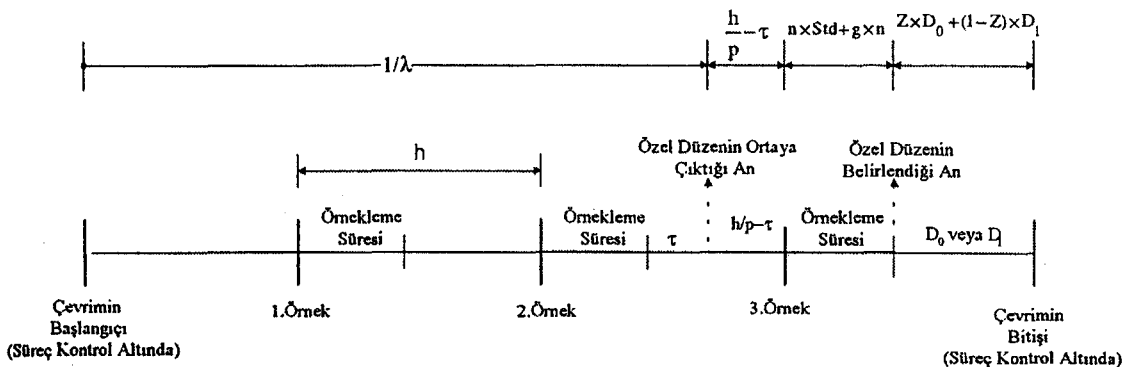
Hata türü ile ilişkilendirilen Z 0-1 tamsayı değişkeni,

$$Z = \begin{cases} 1, & \text{önemli hata } [(p_1 - p_0) / \sqrt{p_0 \cdot (1 - p_0) / n}] < 2 \\ 0, & \text{önemsiz hata } [(p_1 - p_0) / \sqrt{p_0 \cdot (1 - p_0) / n}] \geq 2 \end{cases}$$

şeklinde tariflenmiş olsun. Bu durumda özel nedeni belirlemek ve gidermek için gerekli süre,  $Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1$  olacak ve beklenen çevrim uzunluğu bu beş periyodun toplamı şeklinde,

$$B[C] = \frac{1}{\lambda} + \left[ \frac{h}{p} - \tau \right] + [(n \cdot \text{Std}) + (g \cdot n)] \\ + \left[ (1 - \delta_1) \cdot \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} \cdot D_2 \right] + [Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1] \quad (9)$$

eşitliğiyle elde edilecektir.



Şekil 2. Beklenen Çevrim Uzunluğu ( $\delta_1 = 1$ ).

Özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi sırasında üretimin durdurulmadığı ( $\delta_1 = 1$ ) seçeneği için beklenen çevrim uzunluğu ve çevrimi oluşturan periyotlar Şekil 2'de verilmiştir.

## 6.2. Beklenen Getiri Fonksiyonu

Beklenen getiri fonksiyonu, süreçten elde edilen gelirden kontrol grafiği uygulama maliyetlerinin çıkarılması ile bulunur. Bu çalışmada süreçten elde edilen gelir, kontrol altındaki ve kontrol dışındaki süreçten elde edilen net gelir bileşenlerinden; kontrol grafiği uygulama maliyetleri ise özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi maliyeti, yanlış alarm durumunda katlanılan özel nedenin araştırılması maliyeti ve örnekleme maliyeti bileşenlerinden oluşmaktadır. Sözü edilen gelir ve maliyet bileşenleri aşağıda açıklanmıştır :

- (a) Süreç kontrol altında iken süreçten elde edilen net gelir ( $V_0$ ): Kontrol altındaki periyot boyunca üretilen sağlam parçalardan elde edilen net gelir ile bu periyotta üretilen kusurlu parçaların yeniden işlenebilirlerinden elde edilen net gelirin toplamı sonucu,  $n$  örnekleme anından itibaren üretilenler için den alınan örnek sayısı olmak üzere,

$$V_0 = \frac{(1/\lambda)}{\text{Std}} \cdot (1 - p_0) \cdot W_0 + n \cdot p_0 \cdot p_r \cdot (W_0 - C_r) \quad (10)$$

eşitliğiyle elde edilir. Sağlam parçalardan ve yeniden işlenebilir parçalardan elde edilen gelir  $W_0$  ortak parantezine alınırsa (10) nolu eşitlik,

$$V_0 = \left[ \frac{1/\lambda}{\text{Std}} \cdot (1 - p_0) + n \cdot p_0 \cdot p_r \right] \cdot W_0 - n \cdot p_0 \cdot p_r \cdot C_r \quad (11)$$

şekline dönüşür.

- (b) Süreç kontrol dışında iken süreçten elde edilen net gelir ( $V_1$ ): Kontrol dışındaki periyot boyunca üretilen sağlam parçalardan elde edilen net gelir ile bu periyotta üretilen kusurlu parçaların yeniden işlenebilirlerinden elde edilen net gelirin toplamı şeklinde bulunur. Eğer özel nedenin belirlenmesi ve düzeltilmesi faaliyetleri sırasında üretim durduruluyorsa, bu süre içinde üretim yapılamayacağından kontrol dışı periyot ifadesinde, özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi süresi sıfır değerini almaktadır. Üretim durduruluyorken olacağından  $Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1$  ifadesi  $d_1$  ile çarpılırsa bu sağlanmış olur. Sonuç olarak kontrol dışı periyot,

$$\frac{h}{p} \cdot \tau + n \cdot \text{Std} + g \cdot n + [Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1] \cdot \delta_1 \quad (12)$$

ifadesiyle ve süreç kontrol dışında iken süreçten elde edilen net gelir ise,

$$V_1 = \left[ \frac{h/p - \tau + n \cdot \text{Std} + g \cdot n + (Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1) \cdot \delta_1}{\text{Std}} \cdot (1 - p_1) + n \cdot p_1 \cdot p_r \right] \cdot W_0 - n \cdot p_1 \cdot p_r \cdot C_r \quad (13)$$

ifadesiyle bulunur.

- (c) Özel nedeni belirlemek ve gidermek için oluşan maliyet: Burada da süreç ortalamasındaki değişikliğin değerine göre önemli veya önemsiz hata kararı verilmekte ve verilen karara göre, 0-1 tamsayı  $Z$  değişkeni kullanılarak ilgili maliyet modele dahil edilmektedir. Bir başka ifadeyle özel neden önemli hata ise,  $Z$  değişkeni 1 değerini alacak ve  $A_{t0}$  aktif olacaktır. Özel neden önemsiz hata ise,  $Z$  değişkeni 0 değerini alacak ve  $A_{t1}$  aktif olacaktır. Sonuç olarak, özel nedeni belirlemek ve gidermek için oluşan maliyet,  $Z \cdot A_{t0} + (1 - Z) \cdot A_{t1}$  ifadesi ile modele dahil edilmektedir.
- (d) Yanlış alarmlar dolayısıyla oluşan maliyet: Bir yanlış alarm durumunda oluşan maliyet ( $A_f$ ) ile bir çevrim boyunca verilecek ortalama yanlış alarm sayısının çarpımı şeklinde bulunur ve

$$A_f \cdot \left[ \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} \right] \quad (14)$$

eşitliğiyle elde edilir (Montgomery vd., 1975).

- (e) Örnekleme maliyeti ( $C_s$ ): Kontrol grafiklerinin sürmesini sağlayan örnekleme faaliyetleri dolayısıyla oluşan maliyet, örnek büyüklüğüne bağlı basit doğrusal bir fonksiyonla ( $b + c \cdot n$ ) bulunur. Ayrıca doğrusal fonksiyonu, üretim süresi boyunca gerçekleştirilen ortalama örnekleme sayısı ile de çarpmak gerekir. Buradaki üretim süresi ve dolayısıyla gerçekleştirilen ortalama örnekleme sayısı, özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi sırasında üretimin devam edip etmemesine bağlıdır. Bir üretim çevrimi boyunca gerçekleştirilen ortalama örnekleme sayısı,

$$\left[ \frac{1/\lambda + h/p - \tau + n \cdot \text{Std} + g \cdot n + (Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1) \cdot \delta_1}{h} \right] \quad (15)$$

olmak üzere örnekleme maliyeti,

$$C_s = (b + c \cdot n)$$

$$\cdot \left[ \frac{1/\lambda + h/p - \tau + n \cdot \text{Std} + g \cdot n + (Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1) \cdot \delta_1}{h} \right] \quad (16)$$

eşitliğiyle elde edilir.

Tüm bu gelir ve maliyet bileşenlerini içeren beklenen getiri fonksiyonu;

$$B[G] = V_0 + V_1 - Z \cdot A_{t0} - (1 - Z) \cdot A_{t1} - A_f \cdot \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} - C_s \quad (17)$$

şeklinde bulunur.



Birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonu ise, (17) nolu eşitlikle verilen beklenen getiri fonksiyonunun (9) nolu eşitlikteki beklenen çevrim uzunluğuna oranlanması sonucu bulunur ve

$$\frac{\left[ V_0 + V_1 - Z \cdot A_{t0} - (1 - Z) \cdot A_{t1} - A_f \cdot \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} - C_s \right]}{\left[ 1/\lambda + \frac{h}{p} - \tau + n \cdot Std + g \cdot n + (1 - \delta_1) \cdot \frac{\alpha \cdot e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} \cdot D_2 + Z \cdot D_0 + (1 - Z) \cdot D_1 \right]} \quad (18)$$

ifadesiyle elde edilir.

## 7. MODELİN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Kontrol grafiklerinin ekonomik analizi ile ilgili yapılmış çalışmaların çoğunda, yarı ekonomik tasarım yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerde ya tüm maliyet bileşenleri dikkate alınmamış ya da usule uygun eniyileme teknikleri kullanılmamıştır. Geliştirilen matematiksel model ile belirlenmeye çalışılan, örnek büyüklüğü (n) ve örnek içindeki kabul edilebilir kusurlu sayısı (d) tasarım değişkenlerine tamsayı değerler atanması gerekmektedir.

Modelin eniyilenmesi için çeşitli arama teknikleri kullanılmıştır. Özellikle türev kullanmayan kesikli adimli çok boyutlu arama yöntemleri incelenmiştir. İncelenen arama yöntemlerinde, ilk olarak bir başlangıç nokta ( $X_0$ ) belirlenmekte ve daha sonra başlangıç nokta her adımda  $\Delta$  kadar  $dr_1, dr_2, \dots, dr_n$  koordinat yönleri boyunca ötelenmektedir. Geline noktaadaki amaç fonksiyonu değeri ile önceki amaç fonksiyonu değeri karşılaştırılmakta ve daha iyi çözüm veren nokta izleyen adım için  $X_0$  olarak kabul edilmektedir (Bazarra ve Shetty, 1979). Eğer bu yöntemler geliştirilen modelin eniyilenmesinde kullanılacak olursa, n ve d tasarım değişkenlerinin tamsayı olması kısıtı nedeniyle, algoritmadaki ilerleme adımları da ( $\Delta$ ) tamsayı olmak durumundadır. İlerleme adımları 1 olarak alınsa bile, örnekleme aralığı tasarım değişkeni için incelenen aralıklar çok geniş ve duyarsız olacaktır. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonunun incelenen arama yöntemleri ile eniyilenmesi; uygulama sırasında karşılaşılabilecek zorluklar, yoğun işlem yükü ve ilerleme adımlarının geniş olması nedenleriyle uygun değildir.

Çalışmada; kullanım kolaylığı, uygulama süresinin ve ilgilenilen sonuçların türetilmesi için ihtiyaç duyulan zamanın kısa olması gibi nedenlerle sayımlama tekniği çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Sayımlama tekniğinde ilerleme adımları; örnek büyüklüğü ve kabul edilebilir kusurlu sayısı için bir birim, örnek alma aralığı için ise 0.01 saat olarak alınmıştır. Özellikle örnek alma

aralığı tasarım değişkeni için incelenen aralıklar oldukça hassastır. Sayımlama tekniği ile incelenen tüm aralıklara karşı gelen çözümlerin içinden birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonunu eniyileyen çözüm en iyi çözüm olarak belirlenecektir. Sonuç olarak, sayımlama tekniği ile en iyi çözüme oldukça yakın sonuçlar veren karar değişkenlerinin değerleri elde edilebilecektir.

Turbo Pascal programlama dili ile yazılan bilgisayar programında, kabul edilebilir kusurlu sayısı d,  $0 \leq d \leq 20$  ve tamsayı, örnek büyüklüğü n,  $0 \leq n \leq 100$  ve tamsayı, örnek alma aralığı h,  $0 \leq h \leq 100$  ve sürekli sayı şeklinde tariflenmiştir. Bilgisayar programı aracılığıyla, d ve n bir birim h 0.01 birim arttırılarak mümkün tüm bileşimler için birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonu değeri (B[K]) hesaplanmakta ve bunların içinden en büyüğü en iyi değer, karşı gelen karar değişkenleri de en iyi çözüm olarak belirlenmektedir.

## 8. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN UYGULANMASI

Geliştirilen modelin verdiği sonuçları karşılaştırmak için, Chiu (1975) ve Duncan (1978) tarafından geliştirilmiş modeller kullanılmıştır. Chiu'nun çalışmasında kullandığı parametre kümesi ile bu çalışmada kullanılan parametre kümesi birbirine daha yakın olduğu için, bu üç modelin karşılaştırılmasında Chiu (1975) tarafından tariflenen ve aşağıda verilen parametre kümesi kullanılmıştır.

$$p_0 = 0.015 \quad p_1 = 0.10 \quad V_0 = 0.150 \quad V_1 = 50 \quad A_0 = 10 \quad A_1 = 30 \\ t_0 = 0.1 \quad t_1 = 0.3 \quad b = 0.5 \quad c = 0.01 \quad \lambda = 0.01$$

Yeni modelin sonuçlarını elde edebilmek için, bu çalışmadaki modelle birlikte yeni gündeme gelen parametrelere ( $W_0, Std, D_0, A_{t0}, p_r$  ve  $C_r$ ) atanacak değerlerin belirlenmesi gerekir. Bu parametrelerin bazı özellikleri göz önünde bulundurularak aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- (i) Chiu (1975) tarafından saatlik kaçırılan fırsat maliyeti olarak tariflenen M parametresi ile  $W_0$  parametresinin aynı değere sahip olabilmesi için standart süre 1 saat olarak alınmıştır.
- (ii) Önemli hata söz konusu iken özel nedeni belirlemek ve gidermek için geçen süre, önemsiz hatanın söz konusu olduğu duruma göre daha kısa olmalıdır ( $D_0 < D_1 = 0.3$ ). Bu nedenle  $D_0$ , 0.1 veya 0.2 olarak alınabilir. Benzer şekilde önemli hatayı daha kısa sürede belirlemek ve gidermek için katlanılan maliyet, önemsiz hatanın söz konusu olduğu duruma göre daha fazla olmalıdır ( $A_{t0} > A_{t1} = 30$ ). Bu nedenle  $A_{t0}$ , 35 veya 40 olarak alınabilir.
- (iii) Yeniden işlenebilir ürün oranı  $p_r$ , 0.05 ve 0.10 düzeyleri ile ve yeniden işleme maliyeti  $C_r$ , 5 ve

**Tablo 1.  $D_0$ ,  $A_{t0}$ ,  $p_r$  ve  $C_r$  Parametrelerinin Aldığı Değerlere Göre  $d$ ,  $h$  ve  $n$  Karar Değişkenlerinin Değerleri ve Yeni Modelin Birim Zaman Başına Beklenen Getirisi.**

$C_r$	$p_r$	$A_{t0}$	$D_0$	$d$	$h$	$n$	B[K]
5	0.05	35	0.1	0	2.11	3	96.984
10	0.05	35	0.1	0	2.11	3	96.984
5	0.10	35	0.1	0	2.61	4	97.001
10	0.10	35	0.1	0	2.61	4	96.999
5	0.05	40	0.1	0	2.11	3	96.939
10	0.05	40	0.1	0	2.11	3	96.938
5	0.10	40	0.1	0	2.62	4	96.956
10	0.10	40	0.1	0	2.62	4	96.954
5	0.05	35	0.2	0	2.11	3	96.978
10	0.05	35	0.2	0	2.11	3	96.977
5	0.10	35	0.2	0	2.61	4	96.995
10	0.10	35	0.2	0	2.61	4	96.992
5	0.05	40	0.2	0	2.12	3	96.932
10	0.05	40	0.2	0	2.12	3	96.932
5	0.10	40	0.2	0	2.62	4	96.949
10	0.10	40	0.2	0	2.62	4	96.947

10 düzeyleri ile parametre kümesine dahil edilebilir.

$D_0$ ,  $A_{t0}$ ,  $p_r$  ve  $C_r$  parametrelerinin belirlediğimiz düzeyleri için yeni modelin verdiği sonuçları görmek ve en iyi tasarım parametrelerini elde etmek için, iki düzeyli dört faktörlü deney tasarımı yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'deki değerlerin kullanımıyla gerçekleştirilen varyans analizi ve faktör düzeylerinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan ana faktör ve ikinci mertebeden etkileşimlere ilişkin grafiklerin değerlendirilmesi sonrasında 0.0005 anlam düzeyinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

(i) Ortalama yeniden işleme maliyetinin ( $C_r$ ), B[K] üzerinde anlamlı etkisi yoktur.

(ii) Önem sırasına göre  $A_{t0}$ ,  $p_r$  ve  $D_0$ 'ın B[K] üzerinde anlamlı etkisi vardır.

(iii) Bu parametreler arasındaki etkileşimler anlamlı değildir.

(iv)  $D_0$ ,  $A_{t0}$  ve  $C_r$  parametreleri modelde birinci düzeydeki değerleri ile  $p_r$  parametresi ise modelde ikinci düzeydeki değeriyle yer almalıdır ( $D_0=0.1$ ,  $A_{t0}=35$ ,  $p_r=0.10$  ve  $C_r=5$ ).

Süreç kontrol dışında iken, elde edilen getiri ( $V_1$ ) azaldığında, buna bağlı olarak kaçırılan fırsat maliyeti ( $M = W_0 = V_0 - V_1$ ) artmaktadır. Kaçırılan fırsat maliyetindeki bu artışın Chiu modelinin beklenen getirisine ve Duncan modelinin beklenen getirisine negatif yönde, yeni modelin beklenen getirisine ise pozitif yönde etki

**Tablo 2.  $D_0$ ,  $A_{t0}$ ,  $p_r$  ve  $W_0$  Parametrelerine Göre  $d$ ,  $h$  ve  $n$  Karar Değişkenlerinin Değerleri ve Yeni Modelin Birim Zaman Başına Beklenen Getirisi.**

$p_r$	$A_{t0}$	$D_0$	$W_0$	$d$	$h$	$n$	B[K]
0.05	35	0.1	120	0	1.91	3	116.538
0.10	35	0.1	120	0	1.90	3	116.556
0.05	40	0.1	120	0	1.91	3	116.492
0.10	40	0.1	120	0	1.91	3	116.510
0.05	35	0.2	120	0	1.91	3	116.530
0.10	35	0.2	120	0	1.91	3	116.548
0.05	40	0.2	120	0	1.91	3	116.484
0.10	40	0.2	120	0	1.91	3	116.502
0.05	35	0.1	140	0	1.75	3	136.100
0.10	35	0.1	140	0	1.75	3	136.121
0.05	40	0.1	140	0	1.76	3	136.054
0.10	40	0.1	140	0	1.75	3	136.075
0.05	35	0.2	140	0	1.75	3	136.090
0.10	35	0.2	140	0	1.75	3	136.112
0.05	40	0.2	140	0	1.76	3	136.044
0.10	40	0.2	140	0	1.76	3	136.066

Tablo 3. Üretim Durdurulması / Durdurulmaması Seçenekleri İçin Karar Değişkenlerinin Değerleri ve Model Sonuçları.

W <sub>0</sub>	b	c	Üretim durdurulmuyor ( $\delta_1=1$ )				Üretim durduruluyor ( $\delta_1=0$ )			
			d	h	n	B[K]	d	h	n	B[K]
120	1.5	0.1	0	3.68	4	115.96	0	4.19	4	115.72
120	1.5	0.5	0	4.84	4	115.58	0	4.96	4	115.38
120	1.5	1	0	4.72	3	115.23	0	5	3	115.06
120	2.5	0.1	0	5.12	5	115.73	0	5.72	5	115.51
120	2.5	0.5	0	5.48	4	115.39	0	5.88	4	115.20
120	2.5	1	0	6.62	4	115.05	0	6.99	4	114.89
140	1.5	0.1	0	3.38	4	135.45	0	3.92	4	135.15
140	1.5	0.5	0	3.52	3	135.05	0	3.85	3	134.80
140	1.5	1	0	4.31	3	134.67	0	4.61	3	134.45
140	2.5	0.1	0	4.70	5	135.19	0	5.32	5	134.92
140	2.5	0.5	0	5.01	4	134.83	0	5.44	4	134.60
140	2.5	1	0	6.04	4	134.46	0	6.43	4	134.26

ettiği görülebilir. Sonuç olarak  $V_1$ 'deki azalış ve dolayısıyla  $W_0$ 'daki artış yeni modelin beklenen getirisini arttıracak, fakat Duncan ve Chiu modellerinin beklenen getirilerini azaltacaktır. Süreç kontrol dışında iken, süreçten elde edilen getirinin ( $V_1$ ) en az 10 olabileceği varsayımıyla  $W_0$  en fazla,  $V_0 - V_1 = 150 - 10 = 140$  olabilir.  $W_0$ 'daki değişikliklerin yeni modele etkilerini incelemek amacıyla, daha önce B[K] üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenen  $C_r$  yerine, parametre kümesine, 120 ve 140 düzeyleri ile  $W_0$  dahil edilmiştir. Yine iki düzeyli dört faktörlü deney tasarımı yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Yapılan tüm analizler,  $W_0$ 'ın oldukça kritik bir faktör olduğunu ve ikinci düzeydeki değeriyle modelde yer alması gerektiğini göstermiştir.  $W_0$  parametresindeki artış, yeni modelin beklenen getiri fonksiyonunu önemli ölçüde etkilemiştir. Bu durumda süreç kontrol dışında iken, elde edilen gelir ( $V_1$ ) azaldıkça, yeni modelin beklenen getirisinin hızlı bir artış göstereceği ve bu modelin kullanımının daha anlamlı olacağı söylenebilir. Böylece yeni model ile birlikte gündeme gelen; Std,  $A_{10}$ ,  $P_r$ ,  $D_0$ ,  $C_r$  ve  $W_0$  parametreleri sırasıyla 1, 35, 0.10, 0.10, 5 ve 140 değerlerinde iken, yeni modelin daha anlamlı sonuçlar verdiği ve bu parametrelerin belirlenen değerleriyle parametre kümesine dahil edilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Şu ana kadar yeni modele ilişkin yapılan tüm testler, özel nedenin belirlenmesi ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretimin durdurulmaması ( $\delta_1 = 1$ ) seçeneğine göre gerçekleştirilmiştir. Üretimin durdurulması durumunun birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonu üzerindeki etkilerini analiz etmek için bazı testler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 4. Yeni Parametre Kümesi İçin Test Sonuçları.

	Yeni Model	Duncan Modeli	Chiu Modeli
d	0	1	4
n	3	16	77
h	1.75	0.65	1.29
B[K]	136.121	145.438	147.055

Tablo 3'deki model sonuçları incelendiğinde, birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonuna dayalı incelenen üretim süreci özelliklerine göre, üretimin durdurulması ve durdurulmaması seçenekleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı söylenebilir. Bu durumda yeni matematiksel modele ilişkin yapılacak tüm testlerin, yalnızca üretimin durdurulmaması seçeneği için gerçekleştirilmesi yeterli olacaktır.

Geliştirilen yeni matematiksel modelle birlikte gündeme gelen yeni parametrelere atanacak en uygun değerler belirlendiğine göre, yeni modelin sonuçları Duncan (1978) ve Chiu (1975) modellerinin sonuçları ile karşılaştırılabilir. Eldeki parametre kümesi ( $b = 0.5$ ,  $c = 0.01$ ,  $g = 0.05$ ) için üç modelin verdiği sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Modellerin sonuçları gözden geçirildiğinde, Duncan ve Chiu modellerinin sonucu olarak önerilen örneklem politikalarında, örneklem aralığının dar ve örnek büyüklüğünün fazla olduğu görülmektedir. Daha sık ve daha fazla örnek almayı gerektiren bu örneklem politikaları için, örneklem maliyeti bileşenleri ( $b$ ,  $c$ ,  $g$ ) çok küçük olduğundan, beklenen getiriyi önemli ölçüde azaltacak çok büyük örneklem maliyetleri ( $C_s$ ) oluşmamıştır. Fakat maliyet bileşenlerindeki ( $b$ ,  $c$ ,  $g$ ) artışlar örneklem maliyetlerini, dolayısıyla Duncan ve Chiu modellerinin birim zaman başına beklenen getiri fonksiyonlarını, yeni modelin amaç fonksiyonu değerine göre çok daha fazla azaltacaktır. Örneklem maliyeti bileşenleri ( $b$ ,  $c$ ,  $g$ ) üzerinde yapılan analizlere ilişkin sonuçların bazıları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Örneklem Maliyeti Bileşenleri Üzerinde Yapılan Analiz Sonuçları.

			Yeni Model				Duncan Modeli				Chiu Modeli			
b	c	g	d	h	n	B[K]	d	h	n	B[K]	d	h	n	B[K]
10	3	0.5	0	10	4	132.67	0	3.36	5	130.13	0	6.23	11	131.98
10	3	1	0	10	4	132.54	0	2.31	3	127.83	0	6.23	11	131.98
10	3	1.5	0	10	4	132.40	0	2.34	3	126.15	0	6.23	11	131.98
10	3	2	0	10	3	132.29	0	1.76	2	124.73	0	6.23	11	131.98
10	3	2.5	0	10	3	132.20	0	1.78	2	123.64	0	6.23	11	131.98
15	3	0.5	0	10	4	132.17	0	4.23	6	128.75	0	7.43	13	130.27
15	3	1	0	10	4	132.04	0	3.20	4	126.11	0	7.43	13	130.27
15	3	1.5	0	10	4	131.91	0	2.65	3	124.14	0	7.43	13	130.27
15	3	2	0	10	3	131.79	0	2.69	3	122.53	0	7.43	13	130.27
15	3	2.5	0	10	3	131.70	0	2.06	2	121.03	0	7.43	13	130.27

Tablo 5’de verilen örneklem maliyeti bileşenlerine ilişkin yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, sabit ve değişken örneklem maliyetleri arttıkça her üç modelin de beklenen getiri değerlerinin azaldığı görülmektedir. Fakat Duncan modeli ve Chiu modelinin beklenen getiri değerlerindeki azalışlar, yeni modelin beklenen getiri değerindeki azalışlara göre oldukça fazladır. Bunun sonucunda da geliştirilen yeni modelden, b ve c parametrelerinin yüksek olduğu denemelerde, Duncan modeline ve Chiu modeline göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yeni matematiksel model, sabit örneklem maliyetinin (b) 2.5’ten, değişken örneklem maliyetinin (c) 2’den ve bir birim örnek almak ve yorumlamak için gerekli sürenin (g) 1’den büyük olduğu durumlarda Duncan modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Benzer şekilde sabit örneklem maliyetinin (b) 10’dan, değişken örneklem maliyetinin ise 3’ten büyük olduğu durumlarda, yeni model Chiu modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak, bir birim örneğin alınması için katlanılan süre ve maliyetin yüksek olduğu, özellikle tahribatlı örnekleme yapıldığı veya özel muayene ve testlerin gerçekleştirildiği üretim süreçlerinde yeni modelin Duncan ve Chiu modellerine göre daha iyi sonuçlar vereceği söylenebilir.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretim süreçlerinde, kalite ile ilgili problemlerin belirlenmesi ve çözülmesi amacı ile kullanılan yedi temel araçtan biri olan kontrol grafikleri, kalite karakteristiğinin kontrolünü sağlayarak ürün kalitesini garantiler. Ayrıca üretim sürecine ilişkin; süreç değişkenliği, süreç parametreleri, süreç yeteneği gibi pek çok istatistiksel bilgi üretir.

Kontrol grafiklerinin ekonomik analizi çalışmalarının temel amacı, kontrol grafiğinin uygulanması maliyetlerini en küçükleyen tasarım değişkenlerinin belirlenmesidir. Kontrol grafiklerinin uygulanması dolayısıyla katlanılan kalite maliyetlerinin bir matematiksel model şeklinde ele alınması ile, süreç parametrelerinde meydana gelen değişikliklerin tasarım değişkenlerine

nasıl yansıtacağı çok daha kolay ve etkin bir yolla belirlenecek, kontrol grafiği uygulamaları için süre ve maliyet tasarrufu sağlanacaktır.

Çalışmada, h birim zaman üretimin ardından üretilen ilk n birimin örneklendiği ve özel nedenin önemli hata ve önemsiz hata şeklinde sınıflandırıldığı bir üretim süreci incelenmiştir. İncelenen üretim sürecine ilişkin geliştirilen matematiksel model, özel nedenin araştırılması ve giderilmesi faaliyetleri sırasında üretimin durdurulması ve üretimin durdurulmaması seçeneklerini içermektedir. Çalışmada modellenen örneklem yönteminin kullanıldığı tekstil, kağıt ve benzeri üretim süreçlerinde, kontrol grafiği uygulama maliyetlerini en küçükleyen tasarım değişkenlerini belirlemek amacıyla, yeni geliştirilen matematiksel modelin kullanılması daha uygun olacaktır. Ayrıca bu örneklem yöntemi ile özel düzenlerin yakalanması olasılığı çok daha yüksek olacaktır.

Tahribatlı örneklem yöntemi veya özel muayene ve testler gerektiren örneklem yöntemi kullanan üretim süreçlerinde de, sabit (b) ve değişken (c) örneklem maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, tasarım değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla yeni geliştirilen matematiksel modelin kullanılması daha iyi sonuçlar verecektir.

Süreç parametrelerine ilişkin yapılabılır duyarlılık analizleri ile parametrelerdeki değişikliklerin tasarım değişkenlerine yansımaları kolayca belirlenebilir ve bu değişikliklerin beklenen getiri fonksiyonu üzerindeki olumsuz etkilerini en küçükleyecek şekilde tasarım değişkenlerine (örnek büyüklüğü, örneklem aralığı ve kabul edilebilir kusurlu sayısı) yeni değerler atanabilir. Ayrıca model varsayımlarındaki değişiklikler, beklenen çevrim uzunluğunun ve beklenen getiri fonksiyonunun uygun bileşenlerine yansıtılarak modelin geçerliliği korunabilir.

Rassal örneklem ve örneklem aralığının sonunda bir birim örnek almak gibi farklı örneklem yöntemleri için veya özel nedenler arası geçişlerin mümkün olduğu çok özel nedenli üretim süreçleri için yeni matematiksel modeller geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılabilir.

Ayrıca kusurlu oranı kontrol grafiği için geliştirilen matematiksel model, uygun dönüşümler yapılarak ortalama kontrol grafiği için de kullanılabilir.

## KAYNAKÇA

- Anağün, A.S. (1998). A Neural Network Applied to Pattern Recognition in Statistical Process Control. *Computers and Industrial Engineering*, 35(1-2), 185-188.
- Anağün, A.S. (1997). Düşük Hacimli Üretimde İstatistiksel Proses Kontrolü: Kontrol Grafikleri. III. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildirileri, Bursa, ss.271-281.
- Bazarra, M. ve Shetty, C. (1979). *Nonlinear Programming Theory and Algorithms*. Wiley, New York.
- Burnak, N. (1997). *Toplam Kalite Yönetimi - İstatistiksel Süreç Kontrolü*. OGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, TEKAM Yayın No: TS-97-008-NB.
- Chiu, W.K. (1975). Economic Design of Attribute Control Charts. *Technometrics*, 17(1), 81-87.
- Duncan, A.J. (1956). The Economic Design of  $\bar{X}$ -Charts Used to Maintain Current Control of a Process. *Journal of the American Statistical Association*, 51, 228-242.
- Duncan, A.J. (1971). The Economic Design of  $\bar{X}$ -Charts When There Is A Multiplicity of Assignable Causes. *Journal of American Statistical Association*, 66, 107-121.
- Duncan, A.J. (1978). The Economic Design of p-Charts to Maintain Current Control of A Process: Some Numerical Results. *Technometrics*, 20(3), 235-243.
- Kara, İ. (2000). *Olasılık*. Bilim Teknik Yayınevi, Eskişehir.
- Knappengerger, H.A. ve Grandage, A.H.E. (1969). Minimum Cost Quality Control Tests. *AIIE Transactions*, 1, 24-32.
- Lorenzen, T.J. ve Vance, L.C. (1986). The Economic Design of Control Charts: A Unified Approach. *Technometrics*, 28(1), 3-10.
- Montgomery, D.C., Heikes, R.G. ve Mance, J.F. (1975). Economic Design of Fraction Defective Control Charts. *Management Science*, 21, 1272-1284.
- Montgomery, D.C. (1980). The Economic Design of Control Charts: A Review and Literature Survey. *Journal of Quality Technology*, 12, 75-87.
- Montgomery, D.C. (1997). *Introduction to Statistical Quality Control*, Third Edition. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Nayebpour, M.R. ve Woodall, W.H. (1993). An Analysis of Taguchi's On-Line Quality-Monitoring Procedures for Attributes. *Technometrics*, 35(1), 53-60.
- Saniga, E.M., Davis, D.J. ve McWilliams, T.P. (1995). Economic, Statistical, and Economic-Statistical Design of Attribute Charts. *Journal of Quality Technology*, 27(1), 56-73.
- Taguchi, G., Elsayed, E.A. ve Hsiang, T.C. (1989). *Quality Engineering in Production Systems*. McGraw-Hill, New York.
- William, W.W., Looney, S.W. ve Peters, M.H. (1985). Use of Curtailed Sampling Plans in the Economic Design of np-Control Charts. *Technometrics*, 27(1), 57-63.
- Woo, K.M. ve Sculli, D. (1981). Designing np Control Charts. *Omega*, 10(6), 679-687.



**Adem Doğar** Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 1995 yılında mezun oldu ve aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans programına başladı. 1995-1999 yılları arasında Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Doğar, bir dizi dersin yürütülmesine destek verdi. Adem Doğar; endüstri mühendisliği ile ilgili paket programları etkin biçimde kullanabilmekte, ileri seviyede program yazabilmekte, iyi derecede İngilizce bilmektedir. Şubat 1999'da Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamlayan Doğar, Nisan 2000 tarihi itibarıyla Eti Şirketler Grubu bünyesinde Teknik Analist olarak çalışmaya başladı. Kalite Kontrol, Üretim Sistemleri, Modelleme ve Çözüm Yaklaşımları konularına ilgi duyan Adem Doğar evli bir çocuk babasıdır.



**A. Sermet Anağün** 1982 yılında Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve 1983 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Anağün; 1985 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansını, 1993'de de burslu olarak gittiği Amerika Birleşik Devletleri'nin Cleveland Eyalet Üniversitesi'nde Doktorasını tamamladı. Haziran 1994'de Yardımcı Doçent kadrosuna atandı ve Temmuz'94-Şubat'98 döneminde bölüm başkanı yardımcılığını görevini yürüttü. Askerlik hizmeti sonrası yeniden aynı bölüme dönen Dr. Anağün, 1996-1998 yılları arasında Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yönetim Kurulu'nda Yar-

dımcı Doçent temsilcisi olarak görev yaptı. 1998 yılında Doçent olan Anagün, halen Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmakta ve Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı Başkanlığı görevini sürdürmektedir. Dr. Anagün, Yöneylem Araştırması Derneği üyesi olup, Servis Sistemleri, Benzetim, Kalite Kontrol, Güvenilirlik, Uzman Sistemler ve Yapay Sinirsel Ağlar konularında çalışmaktadır. Ulusal ve Uluslar arası bilimsel toplantılara bildiri ile katılan ve ilgili toplantılarda oturum başkanlığı ve organizasyon komitesi üyeliği yapan, Doçent Anagün, bilimsel dergilerde hakemlik ve danışman editörlük görevlerini yürütmektedir. Türkçe ve İngilizce bir çok makale ve bildirisi olan, bir dizi araştırma ve projede teknik eleman olarak görev yapan ve çok iyi derecede İngilizce bilen Doçent Anagün evli ve iki çocuk babasıdır.