

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜSTEL AĞIRLIKLİ HAREKETLİ ORTALAMA
KONTROL GRAFİĞİ PERFORMANSININ GENETİK
ALGORİTMA İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda Hatice GÖKLER

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Semra BORAN

Mayıs 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜSTEL AĞIRLIKLİ HAREKETLİ ORTALAMA
KONTROL GRAFİĞİ PERFORMANSININ GENETİK
ALGORİTMA İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda Hatice GÖKLER

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16 / 05 / 2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda benden yardımını esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Semra BORAN' a, Endüstri Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm akademik personele; çalışmam boyunca desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen annem Fatma Adıyaman'a, babam Muhittin Adıyaman'a, kardeşlerim Emine Gözde ve Seden Hacer'e, değerli eşim Ahmet Emre GÖKLER ile biricik oğlumuz Asım Ömer' e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ VE KONTROL DİYAGRAMLARI	3
2.1. İstatistiksel süreç kontrolü tanımı ve gelişimi	3
2.1.1. İstatistiksel süreç kontrolü yararları	3
2.1.2. İstatistiksel süreç kontrolü oluşturulması	4
2.1.3. İstatistiksel süreç kontrolü araçları	5
2.2. Kalite Kontrol Grafikleri	5
2.2.1. Kontrol grafiklerinin sağlayacağı yararlar	7
2.2.2. Kontrol grafiklerinin yapısı	7
2.2.3. Kontrol grafiklerinin tasarımı	9
2.2.4. Kontrol grafiklerinin sınıflandırılması	13
2.2.5. CUSUM, EWMA ve Shewhart grafiklerinin karşılaştırılması	24
BÖLÜM 3.	
ÜSTEL AĞIRLIKLİ HAREKETLİ ORTALAMA GRAFİĞİ (EWMA)	26
3.1. EWMA Grafiğinin Literatür Taraması	28
3.2. EWMA Grafiğinin Varsayımları	34

3.2.1. Otokorelasyonlu süreçlerde EWMA grafikleri	34
3.2.2. Normallik dışı durumlarda EWMA grafikleri.....	35
3.3. EWMA Kontrol Grafiğinde Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi	37
3.4. λ ve L Parametrelerinin Seçilmesi.....	39
3.5. EWMA Grafiklerinde Performans Ölçümü ve Karşılaştırılması	40
 BÖLÜM 4.	
GENETİK ALGORİTMA (GA)	47
4.1. Genetik Algoritma'nın Tarihçesi.....	48
4.2. Genetik Algoritmaların Kullanılma Nedenleri.....	49
4.3. Genetik Algoritma Ve Optimizasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması	49
4.4. Genetik Algoritmada Kullanılan Temel Kavramlar	50
4.5. Genetik Algoritma Adımları	53
4.6. Kodlama	56
4.6.1. İkili kodlama	56
4.6.2. Sekizli kodlama	56
4.6.3. Hekzadesimal kodlama	57
4.6.4. Değer kodlama	57
4.7. Genetik Algoritma Operatörleri	58
4.7.1. Yeniden üretim operatörü.....	58
4.7.2. Çaprazlama operatörü	60
4.7.3. Mutasyon operatörü.....	62
4.8. Genetik Algoritmanın Durma Kriterleri.....	63
4.9. Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları	64
4.10. Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Etmenler	65
 BÖLÜM 5.	
UYGULAMA	67
5.1. Verilerin Toplanması.....	69
5.2. Verilere Ait Varsayımların Yapılması.....	70
5.3. Genetik Algoritma ile Optimum λ ve L Değerlerinin Bulunması	73
5.4. Farklı Parametrelere Sahip EWMA Grafiği ile Karşılaştırılması	76
5.5. EWMA Grafiğinin Shewhart Grafikleri ile Karşılaştırılması	83

BÖLÜM 6.

SONUÇ	86
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	94



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ρ	: Kolerasyon Katsayısı
λ	: Ağırlıklandırma Parametresi
μ	: Süreç Ortalaması
σ	: Süreç Standart Sapması
α	: Ayarlanabilir Parametre
q	: Tasarım Parametresi
AKL	: Alt Kontrol Limiti
ARL	: Ortalama Çalışma Süresi
CUSUM	: Birikimli Toplam Kontrol Grafiği
EWMA	: Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği
GA	: Genetik Algoritma
GMA	: Geometrik Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği
İSK	: İstatistiksel Süreç Kontrol
L	: Kontrol Limitlerinin Genişliğini Ayarlayan Parametre
MÇ	: Merkezi Çizgi
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İstatistiksel süreç kontrol grafiği.....	8
Şekil 2.2. İstatistiksel süreç kontrolde kontrol dışı durum	8
Şekil 2.3. Süreç kontrol grafiklerinin seçim kriterler.....	14
Şekil 3.1. Shewhart ve EWMA grafiklerinin ağırlıklandırılması	27
Şekil 3.2. Hipotez testleri	37
Şekil 3.3. Kayma miktarı için optimal λ değerleri	44
Şekil 3.4. ARL ve λ değerleri için L değerleri	44
Şekil 4.1. Tek noktada çaprazlama örneğinde eski kromozomlar	52
Şekil 4.2. Tek noktada çaprazlama örneğinde yeni kromozomlar	52
Şekil 4.3. Mutasyon sonrası oluşan kromozomlar	53
Şekil 4.4. Genetik algoritmaların genel akış şeması	55
Şekil 4.5. İkili kodlama örneği.....	56
Şekil 4.6. . Sekizli kodlama örneği	56
Şekil 4.7. . Hekzadesimal kodlama örneği	57
Şekil 4.8. . Değer kodlama örneği.....	57
Şekil 4.9. . Değer kodlamada mutasyon örneği	58
Şekil 4.10. Tek noktalı çaprazlama operatörü eski kromozomlar	61
Şekil 4.11. Tek noktalı çaprazlama operatörü yeni kromozomlar.....	61
Şekil 4.12. İki noktalı çaprazlama operatörü eski kromozomlar.....	61
Şekil 4.13. İki noktalı çaprazlama operatörü yeni kromozomlar	61
Şekil 4.14. Uniform çaprazlama operatörü	62
Şekil 4.15. Döndürme mutasyon operatörü.....	63
Şekil 4.16. Değiş tokuş mutasyon operatörü.....	63
Şekil 5.1. Uygulama akış şeması.....	68
Şekil 5.2. Verilere ait hipotez testi sonucu.....	71
Şekil 5.3. Kolmogorov - Smirnov testi sonuçları.....	71
Şekil 5.4. Otokolerasyon model özeti	72

Şekil 5.5. Optimum λ ve L değerleriyle oluşturulan EWMA grafiği	78
Şekil 5.6. $\lambda = 0.2$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	78
Şekil 5.7. $\lambda = 0.365$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	79
Şekil 5.8. $\lambda = 0.6$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	79
Şekil 5.9. $\lambda = 0.75$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	80
Şekil 5.10. $\lambda = 0.75$ ve L= 4 olduğunda EWMA grafiği	80
Şekil 5.11. $\lambda = 0.8$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	81
Şekil 5.12. $\lambda = 0.8$ ve L= 2 olduğunda EWMA grafiği	81
Şekil 5.13. $\lambda = 0.85$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	82
Şekil 5.14. $\lambda = 0.95$ ve L= 1 olduğunda EWMA grafiği	82
Şekil 5.15. $\bar{X}$ ve R kontrol grafiği	84
Şekil 5.16. $\bar{X}$ ve s kontrol grafiği	84
Şekil 5.18. MR- I $\bar{X}$ kontrol grafiği	85

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Örnek büyüklüğü değerleri	11
Tablo 3.1. Gamma dağılımları için EWMA ve Shewhart grafiklerinde ARL değeri	35
Tablo 3.2. t dağılımları için EWMA ve Shewhart grafiklerinde ARL değerleri	36
Tablo 3.3. λ 'nın farklı olduğu durumlarda ARL değeri	45
Tablo 3.4. 100, 300, 500, 1000, 2000 ve 5000 için ARL_0 değerleri	46
Tablo 5.1. Izgara boylarına ait ölçüm verileri	69
Tablo 5.2. λ ve L değerlerine ait sonuçlar	76
Tablo 5.3. Yeni ağırlıklı ortalama değerleri	76
Tablo 5.4. Optimum ve rassal bulunan ARL değerleri	83

ÖZET

Anahtar kelimeler: İstatistiksel Süreç Kontrol, Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği, Genetik Algoritma

Kalite, pazar şartlarında rekabet ve ürünlerin uygunluğunu sağlamak için önemlidir. Bu yüzden işletmeler; kalite standartlarının belirlenip izlenmesi, müşteri memnuniyetinin sağlanması ve varlıklarını sürdürebilmek için istatistiksel süreç kontrol (İPK) araçlarından olan kontrol grafiklerini kullanıp kalitelerini arttırmak zorundadır.

Bu tez çalışması küçük sapmaların bulunmasında iyi performans sağlayan ‘Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği’ (EWMA) ile ilgilidir. EWMA grafiği, süreç ortalamasındaki küçük değişimlere karşı daha hassas olduğunu kontrol süreçleri için kullanılmaktadır.

Çalışma yapılırken EWMA’nın performans göstergelerinden biri olan ‘Ortalama Çalışma Süresi’, genetik algoritma yöntemi kullanılarak bulunmuştur.

IDENTIFICATION OF EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE CONTROL CHART'S PERFORMANCE BY USING GENETIC ALGORITHMS

SUMMARY

Key Words: Statistical Process Control, Exponentially Weighted Moving Average Control Chart, Genetic Algorithms

Quality is very important for competitiveness in the market conditions and provide with product's conformance. Statistical techniques are very useful in the quality control applications. Statistical process control (SPC) is a quality control method which uses statistical techniques.

This thesis about EWMA control chart which is one of the best available options to use when good performance is needed to detect small process shifts. EWMA charts for control processes, in which the detection of small shifts is not necessary, and at the same time is effective in detecting important shifts.

While doing this study, we calculated the Average Run Length (ARL) values by using genetic algorithms

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda ortaya çıkan rekabet ortamı; işletmeleri, müşteri tatminini sağlayacak teknolojik yenilikler yapmaya zorlamıştır. Müşterilerin, ürün ya da hizmetlerdeki beklentilerinin karşılanabilmesi için kalite kavramı son derece önemli hale gelen bir unsur haline gelmiştir. İşletmelerin ürün veya hizmet kalitesi arttıkça tercih edilme olasılığı artmakta, rekabet ortamında pazar payı genişlemektedir.

Ürün veya hizmetlerin kalite düzeylerinin araştırılması ve kalite değişimlerinin belirlenebilmesi için istatistiksel kalite kontrolden yararlanılmaktadır. En çok tercih edilen istatistiksel kalite kontrol aracı ise kontrol grafikleridir.

Tez çalışması kapsamında kontrol grafiklerinden olan ‘Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama’ (EWMA) kontrol grafiği incelenmiş, EWMA’nın performans kriteri olan ortalama çalışma süresinin (ARL - Average Run Length) parametreleri sezgisel yöntem olan genetik algoritma kullanılarak bulunmuştur.

Çalışmanın amacı, ortalama çalışma süresinin parametreleri olan ağırlıklandırma ve kontrol limitlerinin genişliği ayarlayan parametreyi genetik algoritma ile optimum belirleyip; kontrol altındaki çalışma süresini maksimum seviyeye çıkarmaktır. Böylece sürecin kontrol alındayken kontrol dışı sinyali verme süresi geciktirilmiştir.

Çalışmada genetik algortimanın kullanılmasıyla en iyi ağırlıklandırma (λ) ve kontrol limitlerinin genişliği ayarlayan parametre (L) kombinasyonu belirlenmiş böylece 1,5 standart sapma ve altındaki kaymalara bile hassasiyet gösteren üstel ağırlıklı hareketli ortalama kontrol grafiği elde edilmiştir.

Ayrıca çalışmada; literatürdeki çalışmaların aksine sadece belirli ortalama çalışma süresi için ağırlıklandırma ve kontrol limitlerinin genişliği ayarlayan parametreleri

değil tüm parameter değerleri için ortalama çalışma süresi hesaplanabilme imkânı sağlanmıştır. Böylece EWMA diyagramından en iyi performans elde edilmiştir.



BÖLÜM 2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ VE KONTROL DİYAGRAMLARI

2.1. İstatistiksel süreç kontrolü tanımı ve gelişimi

İstatistiksel süreç kontrol (İSK), bir süreci denetleme ve süreçteki değişkenliğin önceden belirlenen sınırlar içinde olup olmadığına karar vermede kullanılan bir araçtır.

İstatistiksel süreç kontrol, bir süreci denetleme ve süreçteki değişkenliği kontrol altına almada kullanılan bir kalite kontrol metodudur. Müşteri isteklerinin yerine getirilip getirilmediğine ve sürecin kendi ürettiği değişkenlik sınırları içinde olup olmadığına karar vermede bir araç olarak kullanılmaktadır. İstatistiksel süreç kontrol, sürecin kontrol altında olup olmadığını tespit eder ancak sürecin kontrol dışı olmasına ait nedenleri ortaya koyamaz. Bu noktada bir uyarı sistemi olarak çalışmaktadır [1].

İstatistiksel süreç kontrol ilk olarak II. Dünya Savaşı'nda Amerika'da ve İngiltere'de yaygın olarak kullanılmıştır. Daha sonra kontrol grafikleri zamanla önemini kaybetmiş ancak W.E.Deming'in çalışmaları ile öncelikle Japonya'da daha sonra tüm dünyada tekrar kullanılmaya başlanmıştır.

2.1.1. İstatistiksel süreç kontrolü yararları

İSK, hurda olarak ayrılan ürünlerin yeniden değerlendirilmesini, kusurlu ürüne değer katılmasını, sürecin yeniden planlanmasını, incelenmesini ve kontrolünü sağlar. Böylece üretim maliyetlerinde azalma meydana gelmektedir. Aynı zamanda maliyeti az olan ürünlerin fiyatları da minimum düzeyde belirlenir. Bununla paralel olarak müşteri memnuniyeti oluşur ve taleplerde artış meydana gelmektedir. Sürecin yeniden planlaması ve incelenmesiyle de süreçlerde verimlilik artar.

İstatistiksel süreç kontrolünün kullanılmasıyla elde edilebilecek yararlar şöyle sıralanabilir [2]:

1. Müşteri beklentileri ve ürün spesifikasyonlarını tam olarak karşılayan ürün ve hizmet üretilir.
2. Ürün ya da hizmetlerdeki değişkenlik azaltılır ve arzu edilen tasarım kalitesi elde edilir.
3. Gelecekteki ürün ya da hizmetler hakkında tahminler yapılmasına olanak sağlayan süreç kararlılığı yakalanır.
4. Süregelen ilerlemenin uzun dönemde devam etmesi sağlanır.
5. Hurda ve yeniden işleme maliyetleri ortadan kaldırılarak, üretim maliyetleri azaltılır.
6. Problem çözmeye ve istatistikten yararlanmaya dikkat çekilir.
7. Süreçle ilgili istatistikî bilgiler içeren kararlar desteklenir.
8. Devam eden üretimle ilgili acil geri besleme olanağı sağlanır.
9. Kârda ve verimlilikte artış gerçekleşir.

2.1.2. İstatistiksel süreç kontrolü oluşturulması

İstatistiksel süreç kontrolü üç aşamada oluşturulabilmektedir. Bu aşamalar;

1. Süreç akışının oluşturulması,
2. Problemin belirlenmesi,
3. Sürecin araştırılmasıdır.

Süreç akışının oluşturulmasında öncelikle süreç akışının grafiği çizilir ve süreçteki adımlar not edilir. Daha sonra verinin ne zaman nereden alındığı kaydedilir.

Problemin belirlenmesi aşamasında süreçle ilgilenen uzmanlar başta olmak üzere, çalışan personelden ve müşterilerden süreç veya ürünlerle ilgili fikirler alınır. Ürünlerin kalite karakteristiklerinin ölçülüp ölçülmediği belirlenir ve veri analizi yapılır. Kalite kontrolden geçemeyen ürünlerin maliyetleri hesaplanıp süreç hakkında uzman olan kişiler ile veriler yorumlanır.

Sürecin araştırılması aşamasında ise süreç hakkında bilgi toplanıp kalite kontrolden alınan veriler incelenir. Kalite kontrol grafikleri veya diğer İSK araçları kullanılarak bulunan verilerin analizi yapıp yorumlanır.

2.1.3. İstatistiksel süreç kontrolü araçları

İşletmeler, süreçlerini kontrol altında tutabilmek için bazı teknikler kullanmaktadırlar. Bunların başında kalite kontrolün yedi klasik aracı olarak bilinen istatistiksel süreç kontrolü araçları gelmektedir. Bu araçlar;

1. Çeteleme Grafiği (Frekans Dağılımı)
2. Histogram (Sütun Grafiği)
3. Pareto Grafiği
4. Sebep-Sonuç (Kılçık) Grafiği
5. Gruplandırma
6. Dağılım Grafiği
7. Kontrol Grafikleri

İSK araçları tek tek kullanılabileceği gibi müşterilerin talebini karşılamak için kaliteyi artırmak adına birlikte de kullanılabilmektedir. Çalışma kapsamında kalite kontrol grafikleri incelenecektir.

2.2. Kalite Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri, bir kalite karakteristiğinin (ağırlık, sıcaklık, uzunluk, bekleme süresi, kırık, lekeli v.b.) zamana göre değişen ölçümünün grafik gösterimi olarak tanımlanabilir [3].

Sürekli üretim yapan işletmelerde üretim sürecince varyasyonun olması kaçınılmazdır. Bu varyasyon varlığını ilk kez Walter A.Shewhart 1924'de kalite kontrol literatürüne geçirmiş, varyasyonun kaynağını etkisiz hale geçirmeye çalışmıştır. Aynı zamanda kontrol grafikleri de ilk olarak 1924 yılında Bell telefon laboratuvarlarında Shewhart tarafından geliştirmiştir. H.F.Dodge, H.G.Roming,

W.J.Jennett de grafiklerin tasarımının hızlanmasında Shewhart'a büyük katkı sağlamışlardır. Yapılan çalışmalar, 1931'de Royal Statistical Society'e sunulmuş ve İngiltere'de büyük ilgi çekmiştir.

Kalite kontrol grafiğinde incelenen verilerin ortalaması merkez çizgi olarak belirlenir. Kalite kontrol aşamasında izin verilen sapmanın küçük olan değerine 'alt kontrol sınırı', büyük olan değerine 'üst kontrol sınırı' denilmektedir. Bir kontrol grafiğinde gözlemlerin rasgele hareket sergilediği ve kontrol limitleri içinde kaldığı durumlara " kontrollü durum " , aksi durumlara ise " kontrol dışı durum " denir. İstatistiksel süreç kontrolünde sıkça kullanılan kontrol grafikleri sürecin hesaplanan kontrol limitleri arasında kalıp kalmadığını belirler. Kontrol grafikleri yardımıyla izlenen sürecin, kontrol dışına çıktığı noktalara çeşitli metotlar uygulanarak sürecin normal hale gelmesi sağlanır.

Kalite kontrol grafiklerinin iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, ürünler hakkında güncel kararlar verebilmektir. Eğer bir kontrol grafiğinde kontrol dışı bir durum gözlenmişse, verilecek karar, ürünün üzerinde yeniden çalışılması ya da ürünün hurdaya ayrılması şeklinde olabilir. Bunun dışında, kontrol grafiğinden elde edilen bilgiler, sürecin yeterliliğine karar vermede ya da sürecin üretim yeteneğinde hangi kalite seviyesinde olduğuna karar vermede kullanılmaktadır.

İkinci amaç ise süreçteki problemi çözmektir. Kalite kontrol grafikleri süreçte oluşan problemleri çözmeye yarar. Grafik sonucunda hurda olarak ayrılacak kalitesiz ürünlerin ya da yeniden işleme tabi tutulacak ürünlerin hata nedenlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi yapılır.

Kontrol grafiklerinin, karar verme ve problem çözmede başarılı bir rol oynayarak süreci geliştirmesinin yanında, süreçte meydana gelen değişimleri yorumlamak ve önlemler almak gibi temel bir görevi de vardır.

Akkurt (2002) , sürecin kontrolü için kullanılan en ideal kontrol araçları olmalarının yanı sıra, kontrol grafiklerinin amaçları da şu şekilde özetlemiştir [4].

1. Süreç sapmalarını ve sürecin kararlı olup olmadığını gösterir.
2. Kontrol edilen ürün özelliğinin, üst ve alt kontrol sınırlarına göre trendini gösterir.
3. Ürün, kontrol sınırları dışına çıktığı zaman, bunun nedenlerinin belirlenmesi ve düzeltme önlemlerinin alınması gerektiğini gösterir.
4. Kusurlu parçaların açığa çıkarılmasından daha çok, bunların önlenmesine yardım eder.
5. Süreç kabiliyetinin tayinine yardım eder.
6. Kalitenin iyileştirilmesi için en iyi yöntemdir.

2.2.1. Kontrol grafiklerinin sağlayacağı yararlar

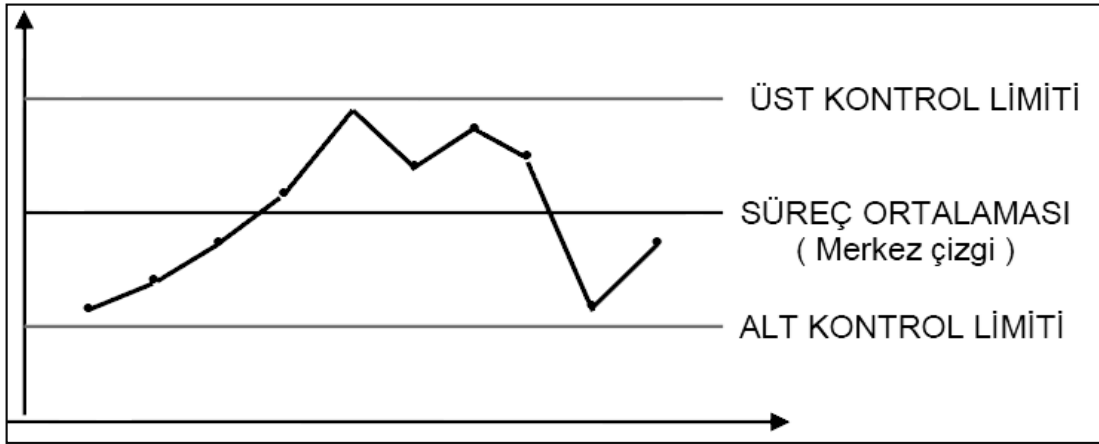
Kontrol grafiklerinin yararları şu şekilde özetlenebilir:

1. Süreç performansının tartışılmasında kullanılan ortak bir dil sağlayarak iletişimi kolaylaştırır.
2. Sınırları belirtilmiş kontrol grafiği; teknik resim, şartname, numune parça gibi araçlar ile kalite kontrol çalışmasının ne yapması gerektiğini belirler.
3. Ölçü aletleri, masterlar ve kontrol grafiği operatöre yaptığı işin kalitesini izleme olanağı sağlar.
4. Bir sorun halinde ne yapması gerektiği hakkında bilgi veren bir araçtır.
5. Sürecin iyileştirilmesi ile ilgili hedefler için de kullanılır.
6. Bunun yanı sıra kontrol grafikleri özel ve genel bozulma nedenlerinin tespit edilebilmesi olanağını sağlayarak, hangi sorunların çalışanlar tarafından ve hangilerinin yönetim tarafından çözüleceğini gösterir. Yönetim tarafından çözümlenebilecek sorunlar genellikle bir yatırım gerektirir. Söz konusu yatırım kararına yönetimi ikna etme açısından güçlü bir göstergedir.

2.2.2. Kontrol grafiklerinin yapısı

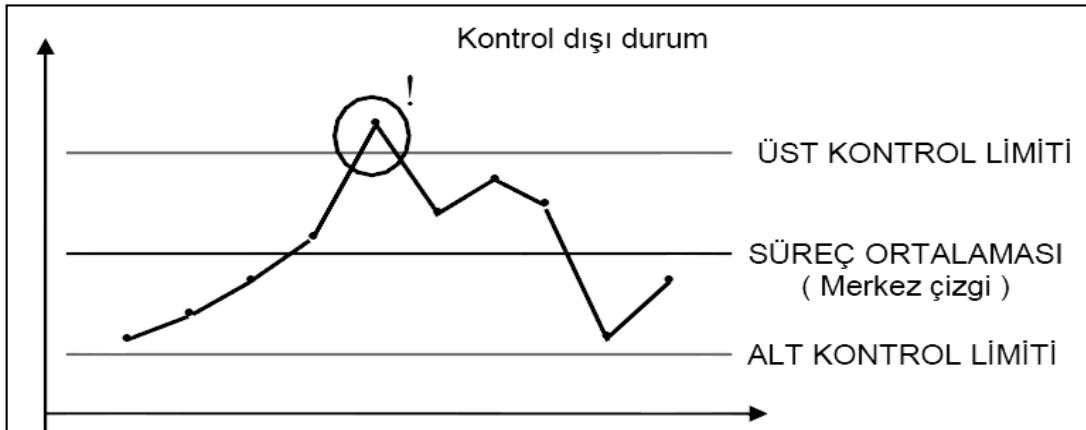
Kontrol grafiklerinin üç temel aşaması vardır. Bunlar; süreçten belirli aralıklarla örneklerin alınması, örneklerde ölçümlerin yapılması ve özet istatistiklerin grafikleştirilmesidir. Grafikleştirme aşamasında özet istatistikler dikey eksen, örnek sayıları yatay eksen üzerinde gösterilmektedir.

Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi kalite kontrol aşamasında izin verilen sapmanın küçük olan değerine ‘alt kontrol sınırı’, büyük olan değerine ‘üst kontrol sınırı’ denilmektedir. Dağılımın ortasından geçen çizgi ise merkez çizgidir.



Şekil 2. 1. İstatistiksel süreç kontrol grafiği

Bir kontrol grafiğinde verilerin rastgele dağıldığı ve kontrol limitleri içinde kaldığı durumlara ‘kontrol altındaki durum’, aksi durumlara ise ‘ kontrol dışı durum’ denir. Şekil 2.2’de 5. gözlemin üst kontrol limitini aştığı dolayısıyla kontrol dışında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 İstatistiksel süreç kontrolde kontrol dışı durum

İşaretlenen noktaların kontrol limitleri dışında kaldığı durumlarda süreç kontrol dışı, kontrol limitleri içinde kaldığı durumlarda ise süreç kontrol altında denilebilmektedir.

En yaygın kullanılan kontrol grafikleri arasında ortalama, aralık, standart sapma, kusurlu oranı grafikleri sayılabilir ancak bunun yanı sıra üstel ağırlıklı hareketli ortalama ve birikimli toplam kontrol grafiği de bulunmaktadır.

Gözlenen kalite karakteristiğinin zaman içinde aldığı değerler, noktalarla temsil edilmektedir. Kalite karakteristiği; ağırlık, uzunluk, boyut gibi ölçülebilir bir büyüklük ya da kusurlu parça oranı gibi ölçülemeyen bir özellik olabilir.

2.2.3. Kontrol grafiklerinin tasarımı

Kontrol grafiklerinin tasarlanması sırasında takip edilen adımlar şu şekilde sıralanabilir [5]:

1. Kontrol edilecek kalite karakteristiğinin seçilmesi: Kalite karakteristiği, bir ürün, hizmet ya da süreci tanımlayan ve farklılaştıran uzunluk, ağırlık gibi fiziksel karakteristikler; tat, renk gibi duyuşsal karakteristikler; dayanıklılık, hizmet görülebilirlik gibi zamana bağlı karakteristikler; ölçülebilen ve ölçülemeyen karakteristikler gibi sistemi ve süreç performansını ölçen göstergedir.

Kontrol grafikleri oluşturulmadan önce, hangi karakteristikle çalışılacağına karar verilmelidir. Seçilen karakteristik ürün veya hizmeti temsil etmeli, performansını etkilemeli ve ilk bakışta fark edilebilir olmalıdır.

Üretim sektöründe; uzunluk, yükseklik, renk, boyut, kusurlu sayısı gibi karakteristikler ön plana çıkarken hizmet sektöründe; hata sayısı, yanlış işlem sayısı, teslim zamanları, servis zamanları gibi karakteristikler ilk olarak akla gelmektedir.

2. Rasyonel alt grubun belirlenmesi: Üretim ve hizmet sektöründe sürekli örnek alıp kalitenin ölçülmesi maliyet ve zaman açısından gereksiz ve imkânsızdır. Bu yüzden ana kütleyi temsil eden bir alt örneklem grubu belirlenip kontrol grafiği oluşturulmaya çalışılır.

Alt grupların seçimi sırasında dikkat edilmesi gereken iki temel ilke vardır. Bunlar; örnek grupları arasında homojenlik olmalı ve grup içerisindeki varyasyon yani ilişki şansa bağlı olmalıdır.

Kontrol grafiğinin oluşturulmasında numunelerin seçimi de önemlidir. Örneklem alınırken ya belirli bir süre içinde n kadar örneklem alınır ya da örneklem art arda alınıp numune oluşturulur. Pratikte ikinci yöntemle seçim yapılmaktadır çünkü kontrol eden çalışan bu seçim yöntemini daha kolay bulmakta ve varyasyonlar şansa bağlı olduğu için örnek homojenliği sağlanmış olmaktadır.

Seçim yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise örneklem hacminin ne kadar olacağıdır. Genellikle bu büyüklük deneyimlere bakılarak tespit edilmektedir ancak Besterfield'in (1998) birtakım önerileri mevcuttur [5].

- a. Numune hacmi büyüdükçe, kontrol limitleri merkez çizgiye yaklaşır. Böylelikle, kontrol grafiği süreç ortalamasındaki küçük varyasyonlar için daha duyarlı hale gelir.
- b. Numune hacmi büyüdükçe, her numune için gözlem maliyeti de artmaktadır.
- c. Ürüne zarar veren ve hatta işe yaramaz duruma getiren testlerin uygulanması durumunda, maliyeti azaltmak için numune hacminin 2 ya da 3 alınması söz konusudur.
- d. Hesaplama kolaylığı açısından pratikte numune hacmi genellikle 4 ya da 5 alınmaktadır.

Son olarak da parti büyüklüklerine uygun örnek büyüklüklerini tablolaştırmıştır [5] (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Örnek büyüklüğü değerleri

Parti Büyüklüğü	Örnek Büyüklüğü
91-150	10
151-280	15
281-400	20
401-500	25
501-1200	35
1201-3200	50
3201-10000	75
10001-35000	100
35001-150000	150

3. Verilerin toplanması: Kalite kontrol ile ilgili veriler kontrol departmanında çalışan bir personel tarafından, önceden belirlenen bir zamanda ve belirlenen miktarda alınmaktadır. Verilerin kaydedildiği formlarda tarih, örnekleme planı, ölçüm için kullanılan araçlar, yöntem, verileri toplayan kişi gibi bazı bilgiler de bulunabilir.

Veriler toplanırken bazı hususlara dikkat edilmelidir. Öncelikle verilerin ne zaman ve ne miktarda toplanacağı önceden belirlenmelidir. Gözlemlerin aktarılabilmesi için bir form hazırlanmalıdır. Numuneleri alacak olan kişiler eğitilmeli, hata yapma olasılıkları en aza indirilmelidir. Son olarak da verileri toplayan kişilerle görüşülüp kalite karakteristiğinin doğru seçilip seçilmediği, örnek almada meydana gelen zorluklar, numunelerin yeterliliği gibi konularda bilgi alınmalıdır.

4. Deneme merkezi ve kontrol limitlerinin belirlenmesi: Tüm kontrol grafikleri, verilerin olması gereken ortalama değeri (μ) ve ortalama değere k uzaklıkta bulunan sapmaları içerir. Kalite karakteristiğinin ortalaması μ , standart sapması σ ve uzaklığı gösteren katsayı k olmak üzere şu şekilde formüle edilir:

$$\text{Alt Kontrol Limiti (AKL)} \quad \mu - k\sigma \quad (2.1)$$

$$\text{Merkez çizgi (MÇ)} \quad \mu \quad (2.2)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti (ÜKL)} \quad \mu + k\sigma \quad (2.3)$$

ABD’de k katsayısı 3 olarak alınmakta ve 3σ (sigma) limitleri hangi grafikte çalışıldığı farketmeksizin hepsi için uygulanmaktadır. Kalite karakteristiğinin normal dağıldığı durumlarda ve k ’nın 3 kabul edilmesi halinde, numune ortalamaları % 99,73 olasılıkla kontrol limitleri içinde kalmaktadır [6].

5. Düzeltilmiş merkezi ve kontrol limitlerinin belirlenmesi: Deneme kontrol limitleri, öncelikle bütün örnekler için hesaplanmaktadır. Daha sonra, hazırlık kontrol grafikleri incelenmekte ve kontrol dışında kalan numune ortalamalarının belirli nedenlere bağlı olup olmadığı araştırılmaktadır. Nedeni belirli olan değerler kontrol grafiğinden çıkarılmakta, yalnızca şansa bağlı değerler grafiğinde kalmaktadır. Bu işlemden sonra kontrol limitleri yeniden hesaplanmaktadır. Düzeltilmiş kontrol limitleri olan bu değerler, süreci belirli bir süre için kontrol etme görevini üstlenirler [1].

6. Kontrol grafiğinin kullanılması ve yorumlanması: Bir işletmedeki yöneticilerin, kaliteye önem vermesi ve kontrol grafiklerini kullanmasıyla işletmede çalışan personelin tamamı kaliteli ürün üretmeye ve kaliteye ilgi duymaya başlar. Grafiği kullanan personel önceki bölümlerde anlatıldığı gibi numuneleri alıp kontrol limitlerini belirledikten sonra grafiği yorumlamaya başlar.

Kalite karakteristikleri kontrol limitleri içerisinde kalıyorsa süreç kontrol altında denilir ancak bazı durumlarda kontrol grafiklerindeki veriler kontrol limitleri içerisinde kalsa bile grafik kontrol dışında sinyali verebilmektedir. Bunun nedeni ise işaretlenen noktaların tesadüfî olmayan ya da sistematik olan bir eğilim göstermesidir. Söz konusu anormalliklerin meydana gelmesi olasılığı istatistik olarak binde bir veya daha azdır. Bu da çok küçük bir olasılık olduğundan süreç istatistik olarak kontrol dışına çıkmış veya stabilite dışına çıkma olarak kabul edilir. Sürecin kontrol dışına çıktığı durumlar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

- a. Kontrol grafiğinde alt ve üst kontrol limitleri dışında bir veya daha fazla nokta olması durumunda süreç özel nedenlerden dolayı kontrol dışına çıktığı anlaşılır.
- b. Kontrol grafiği üzerindeki tüm noktaların yaklaşık üçte ikisinin limitler arasındaki açıklığın ortadaki üçte birlik bölüme dağılması da anormalliğin bir göstergesidir.

- c. Diğer bir kural ise 3σ çizgisi yakınındaki her 3 noktadan 2 sinin 2σ çizgisi dışına taşmasıdır.
- d. Dördüncü kural ortalamanın altında veya üstünde birbirini izleyen yedi noktanın veya ürünün bulunmasıdır. Bu durum süreç ortalamasında değişkenliğinde önemli bir kaymanın olduğunu göstergesidir.
- e. Son olarak art arda yedi noktanın aşağı veya yukarı doğru bir meyil izlemesi kontrol dışı olarak yorumlanır. Bu durum da yukarıdaki kurala benzer olarak süreç ortalamasında veya değişkenliğinde önemli kaymanın olduğunu belirtir.
- f. Ardışık 11 noktadan 10 tanesinin ana ortalama hattının bir tarafında olması kuralı
- g. Ardışık 14 noktanın en az 12 tanesinin ortalamanın bir tarafında olması kuralı.
- h. Ardışık 17 noktanın en az 14 tanesinin ortalamanın bir tarafında olması kuralı.
- i. Ardışık 20 noktanın en az 17 tanesinin ortalamanın bir tarafında olması kuralı.
- j. Ardışık 5 noktanın 4 tanesinin bir standart sapma (σ) dışında bulunması kuralı.
- k. Ardışık 15 noktanın bir standart sapma (σ) içinde bulunması kuralı
- l. Noktaların periyodik olarak değişim göstermesi

Bütün bu durumlarda sürecin istatistik kontrol dışına çıktığına veya stabilitenin bozulduğu anlaşılmaktadır.

2.2.4. Kontrol grafiklerinin sınıflandırılması

İşletme içerisinde hangi kontrol grafiklerinin kullanılacağını belirleyen bazı kriterler vardır. Bunlar;

1. Kalite karakteristiğinin ölçülme yeteneği,
2. Örnek hacmi,
3. Veri tipi,
4. Kayma miktarıdır.

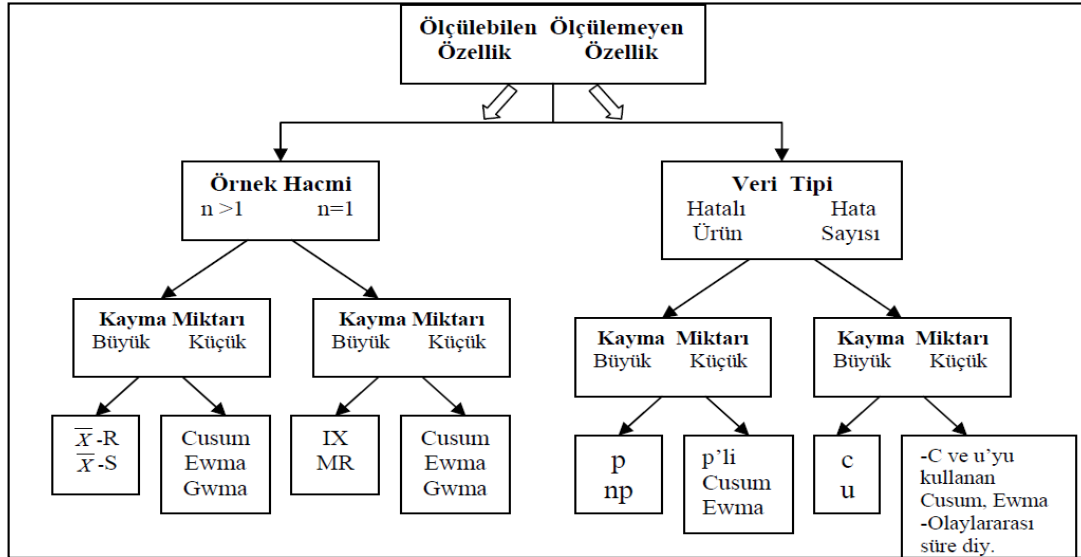
Genel olarak ürünlerde incelenebilecek kalite özellikleri iki grupta incelenilir.

a. Ölçülebilen (niceliksel) kalite özellikleri

Ölçülebilen kalite özellikleri uzunluk, ağırlık, mukavemet, hacim gibi alet ve cihaz yardımıyla ölçülebilen ve rakamsal olarak ifade edilebilen özelliklerdir.

b. Ölçülemeyen (niteliksel) kalite özellikleri

Ölçülemeyen kalite özellikleri ise kırık, çatlak, lekeli, bozuk gibi duyu organlarıyla değerlendirilebilen, alet veya cihaz yardımıyla ölçülemeyen özelliklerdir. Şekil 2.3’de kontrol grafiklerinin sınıflandırılması görülmektedir [7].



Şekil 2.3. Süreç kontrol grafiklerinin seçim kriterleri

Çalışma kapsamında ölçülebilir özellikler için Shewhart kontrol grafikleri, ölçülemeyen özellikler için Shewhart kontrol grafikleri ve Shewhart dışındaki süreç kontrol grafikleri incelenecektir.

1. Ölçülebilir özellikler için Shewhart kontrol grafikleri:

İstatistiksel kalite kontrolde birçok kalite karakteristiği uzunluk, hacim, ağırlık gibi sayısal verilerle ifade edilmektedir. Bu tür kalite karakteristikleri ölçülebilir özellikler taşımaktadır. Ölçülebilir özellikler için Shewhart kontrol grafikleri çizilirken verilerin ortalama ve dağılım değerleri yardımcı rol oynamaktadır. Bizim için ortalama önemli ise $\bar{X}$ grafiği, dağılım ve değişkenlik önemli ise s grafiği, aralık değerleri önemli ise R grafiği kullanılmaktadır.

$\bar{X}$ kontrol grafiği, R ya da s grafikleri ile birlikte kullanılır. Bunun nedeni ise örnek ortalamaları aynı olsa bile standart sapmalar veya değişim aralıkları büyük olursa sürecin kontrol dışı olabilme ihtimalidir.

Ölçülebilen özellikler için Shewhart kontrol grafikleri olarak 3 tip grafik kullanılmaktadır. Bunlar $\bar{X}$ -R, $\bar{X}$ -s ve MR-I $\bar{X}$ grafikleri olarak isimlendirilirler.

a. $\bar{X}$ - R kontrol grafikleri

$\bar{X}$ -R kontrol grafiği Shewhart tarafından geliştirilen ilk kontrol grafikleri olup işletmelerde oldukça yaygın bir kullanım alanı vardır.

Ortalama grafikleri, sürecin merkezi eğiliminin zamana göre durumunu değerlendiren istatistiksel tekniklerdir. Süreçte meydana gelen değişime özel bir varyasyon mu etki ediyor yoksa herhangi bir hatadan mı kaynaklanıyor sorusuna cevap aramaktadır.

Aralık grafikleri ise, alınan ölçümlerin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki farkı inceleyen grafiklerdir. Bu kontrol grafikleri, örneklem genişliği ile standart sapma arasında ilişki varsa çizilir. Sürecin dağılımı ya da yayılmasını zamana göre değerlendiren istatistiksel tekniklerden oluşur. Süreç dağılımının az veya çok istikrarlı oluşunda, özel varyasyonun etkisi olup olmadığı üzerinde çalışmaktadır.

Bu grafikler, kalitenin uzunluk, ağırlık, hacim, mukavemet gibi ölçülebilen miktarlarla kontrol edildiği süreçlerde kullanılır. Bu tip grafiklerin kullanıldığı kalite karakteristiklerine örnek olarak üretilen bir milin çapı, üretilen cıvatanın kopma mukavemeti, taşılama departmanından zımparalama departmanına taşınan bir ürünün ağırlığı verilebilir.

Kontrol grafikleri oluşturulurken her numune için ayrı ayrı ortalama ve aralık değerleri hesaplanmaktadır. Daha sonra bulunan bu değerler kontrol grafikleri üzerinde işaretlenmektedir. Numune istatistiklerinin kontrol altında olup olmadığını kontrol limitlerine bakarak anlarız.

Ortalama grafiğine ait kontrol limitleri aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (2.4)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{\bar{X}} \quad (2.5)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (2.6)$$

Aralık Grafiğine ait kontrol limitleri ise;

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad D_3 \bar{R} \quad (2.7)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{R} \quad (2.8)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad D_4 \bar{R} \quad (2.9)$$

formülleri ile bulunur.

Formüllerde yer alan A_2 , D_3 , D_4 değerleri örnek sayısına bağlı olarak değişen katsayılar tablosundan (EK 1) elde edilmiş sabit değerlerdir.

Süreç numune sayısı belirlerken ikiye ayrılmaktadır. Tasarım aşamasında 4-6 arasında numune miktarı yeterli olurken, hazırlık aşamasında 20-25 numune alınmaktadır ancak üretim maliyeti yüksek, üretilmesi zaman alan ürünlerde bu miktarlar daha az olabilmektedir. Yine hayatî önem taşıyan ürünlerin tamamı kalite kontrolden geçmektedir.

b. $\bar{\bar{X}}$ - s kontrol grafikleri

Ortalama ve standart sapma grafiklerindeki standart sapma değişkenliğin ölçüsüdür.

$\bar{X}$ - s kontrol grafikleri çizilirken, ilk olarak standart sapma değerleri ve kontrol limitleri hesaplanmakta, daha sonra s grafiğinin merkez çizgi değerinden hareketle, $\bar{X}$ grafiğinin kontrol limitleri hesaplanmaktadır.

Olasılık dağılımının varyansı σ^2 olmak üzere, numunelerin standart sapması;

$$\sigma = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - X_{ort})^2]}{n-1}} \quad (2.10)$$

olarak hesaplanır.

Ortalama grafiğine ait kontrol limitleri aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \quad (2.11)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{\bar{X}} \quad (2.12)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad (2.13)$$

s grafiğine ait kontrol limitleri ise;

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad B_3 \bar{s} \quad (2.14)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{s} \quad (2.15)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad B_4 \bar{s} \quad (2.16)$$

formülleri ile bulunur.

Formüllerde yer alan A_3 , B_3 , D_4 değerleri örnek sayısına bağlı olarak değişen kat sayılar tablosundan (EK 1) elde edilmiş sabit değerlerdir.

Standart sapmanın kullanılması, 2'den büyük hacimli numuneler için kullanılmaktadır. Etkililik derecesi numune hacmi büyüdükçe artmaktadır. Pratikte, numune hacmi 10 ve daha büyük olan numuneler için standart sapma değeri kullanılmaktadır.

c. MR – $\bar{X}$ kontrol grafikleri

Hareketli aralık ve ortalama grafikleri, numune hacminin 1 olduğu durumlarda kullanılan, sürecin merkezi eğilimini ve dağılımını değerlendiren istatistiksel tekniklerdir. MR- $\bar{X}$ grafikleri, gözlem maliyetinin yüksek olduğu, zarar verici muayenelerin uygulandığı, seyrek aralıklarla ölçümlerin yapılarak ürün birikiminin az olduğu, homojen kimyasal süreçler gibi tek bir ölçümün yeterli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. MR kontrol grafikleri, sürecin yayılmasını incelerken, $\bar{X}$ kontrol grafikleri, tek bir ölçü alımıyla ortaya çıkan sürecin konumunu incelemektedir [8].

MR kontrol grafiğinin kontrol limitlerinin hesaplanması aşağıda gösterilmektedir:

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad 0 \quad (2.17)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \overline{MR} \quad (2.18)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad 3, 267 * \overline{MR} \quad (2.19)$$

$\bar{X}$ grafiğine ait kontrol limitleri ise ;

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{X} - 2,66 \quad (2.20)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{X} \quad (2.21)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{X} + 2,66 \overline{MR} \quad (2.22)$$

formülleri ile bulunur.

2. Ölçülemeyen özellikler için Shewhart kontrol grafikleri:

Kalite karakteristiklerinden birçoğunu bir ölçü ile temsil etmek mümkün değildir. Bu tip ürünlerin muayeneleri gözle yapılmaktadır. Muayenede ürünler genel olarak hatalarına göre şartnameye uygun, uygun değil veya kusurlu, kusurlu değil diye ayrılmaktadır.

Nitelikler için, iki farklı kontrol grafiği grubu söz konusudur [4]:

– Kusurlu ürünlere ait kontrol grafikleri: İstatistikî olarak bu gruba ait kontrol grafikleri binom dağılımına uymaktadır. p grafiği, bir numunedeki kusurlu oranını göstermektedir. Kusurlu ürünler, oran ya da yüzde olarak ifade edilmektedir. np grafiği ise, kusurlu ürün sayısını incelemektedir.

– Kusurlara ait kontrol grafikleri: Bu gruptaki kontrol grafikleri, istatistik bakımından poisson dağılımına uymaktadır. c grafiği, otomobil, bir kağıt desteği gibi ürünlerin kontrolünde kusur sayısını vermektedir. u grafiği ise, birim bazında kusur sayısını incelemektedir.

Ölçülemeyen özellikler için kullanılan Shewhart kontrol grafikleri oluşturulurken numune alma sıklığına dair genel bir kural yoktur. Örneklem alma sıklığı ekonomik açıdan değerlendirilir. Numune ne kadar sık alınırsa süreç hakkında o kadar çok bilgiye sahip olunur böylece süreç içindeki normal olmayan verileri fark etmek için zaman kaybedilmemiş olacaktır. Buna karşılık her numunenin alınışı, değerlendirilmesi, grafiğe işlenmesi ve yorumlanması zaman kaybı ve dolayısıyla maliyete neden olmaktadır. Bu iki kaybın bir optimum noktasının tahmin edilmesi gerekir.

Niteliksel kontrol grafiği olarak 4 tip grafik kullanılmaktadır. Bunlar p , np , c ve u grafikleri olarak isimlendirilirler.

a. p kontrol grafiği

p kontrol grafiği, alınan örneklerdeki parça sayısının numunedeki kusurlu parça sayısına oranı ile kontrol edildiği durumlarda kullanılır.

p kusurlu oranı şu formül ile hesaplanır:

$$\bar{p} = \frac{x}{n} \quad (2.23)$$

formülde yer alan x numunedeki hatalı parça sayısını, n numunedeki toplam parça sayısını temsil etmektedir.

p grafiğinin 3σ esasına dayanan kontrol limitlerinin hesaplanması aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{p} - 3 \frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n} \quad (2.24)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n np}{\sum_{i=1}^n n} \quad (2.25)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{p} + 3 \frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n} \quad (2.26)$$

Hesaplamalarda, kontrol limitleri değişken olmakta ve alt kontrol limiti negatif çıkabilmektedir. Pratikte negatif kusurlu oranı olamayacağı için, negatif değer çıkan sonuç 0 olarak kabul edilmektedir.

b. np kontrol grafiği

np kontrol grafikleri numune sayısının sabit olduğu kusurlu parça sayısını görüntülemek için kullanılmaktadır.

np kontrol grafiğinin alt kontrol limiti, merkez çizgisi ve üst kontrol limiti şu şekilde hesaplanmaktadır

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{np} - 3 \sqrt{(1 - \bar{p})\bar{np}} \quad (2.27)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{np} \quad (2.28)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{np} + 3 \sqrt{(1 - \bar{p})\bar{np}} \quad (2.29)$$

c. c kontrol grafiği

c kontrol grafiği; kusurlu oranının hesaplanamadığı, kusurlu sayısı ile sürecin kalite kontrolünün yapılması gereken durumlarda kullanılmaktadır.

c grafiğinin merkez çizgisi ortalama kusur sayısını göstermek üzere (c) kontrol limitlerinin hesaplanması şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.30)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c}{k} \quad (2.31)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.32)$$

c kontrol grafiği 4 farklı amaçla kullanılmaktadır. İlk amaç yüzde yüz kontrol sonucunda ürünleri, hatalı ve hatasız olarak ayırmaktır. Bir otomobil motorunun son muayenesindeki uyumsuzluk sayısı buna örnek olarak verilebilir. İkinci olarak uyumsuzluklara belirli sayıda izin verildiği periyodik ürün örneklerinde minimum tolerans sağlanabilmek için kullanılır. Diğer amacı ise belli bir işleminin veya ürünün kalite değişimlerinin kısa özel kontrollerini yapmaktır. Son olarak hataların numune alınarak kabul veya ret edildiği karar vermektir.

d. u kontrol grafiği

Bazı işletmelerde hatalar sabit büyüklükteki numunedan alınamaz ve hata oranını hesaplamak gerekmektedir. u kontrol grafiğinin c kontrol grafiğinden farkı numune büyüklüğünün değişken olmasıdır.

u grafiği, gözlenen her birim için uygunsuzlukları ya da kusur sayılarını ölçen bir istatistiksel kontrol tekniğidir.

u grafiği için kontrol limitlerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (2.33)$$

$$\text{Merkez çizgi} \quad \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (2.34)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (2.35)$$

3. Shewhart dışındaki süreç kontrol grafikleri:

Shewhart'ın geliştirdiği kontrol grafikleri, grafik üzerinde işaretlenen son noktadan yola çıkarak süreci değerlendirir. Bu yüzden Shewhart kontrol grafikleri süreçlerdeki küçük değişimlere karşı duyarsız hale gelmektedir. Shewhart dışındaki kontrol grafikleri ise geçmişe ait verilerle de ilgilenir. Böylece sürecin sürekli kontrolü sağlanır. Shewhart dışındaki kontrol grafikleri 1960'lı yıllarda Shewhart kontrol grafiklerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Üretim sürecinin kontrol altında olup olmamasının değerlendirilmesinde; birikimli toplam, üstel ağırlıklı hareketli ortalama ve genel ağırlıklı hareketli ortalama kontrol grafikleri kullanılmaktadır.

a. Birikimli toplam (CUSUM) grafiği

Birikimli toplam ya da CUSUM olarak bilinen kontrol grafiği, 1950'lerde Britanya'da geliştirilmiş ve Page tarafından literatüre tanıtılmıştır. Verilerde küçük değişimlerin önemli olduğu durumlarda, CUSUM grafikleri güçlü metodlardan biri olarak kabul edilmektedir. [8]

CUSUM grafiğinde, örnek değerlerin hedef değerden pozitif ve negatif yönde sapmalarının kümülatif toplamalarının grafik üzerinde işaretlenmesiyle, bütün örnek değerleri hesaba katılmaktadır. CUSUM kontrol grafiklerinde süreç ortalamasında meydana gelebilecek kaymaların kontrol dışı olup olmadığının tespiti için Shewhart kontrol grafiğindeki kontrol limitlerinin bir türevi olan “V maskesi” ismi verilen yöntem kullanılır.

b. Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Grafiği

Üstel ağırlıklı hareketli ortalama olarak da adlandırılabilen EWMA grafiği, Roberts tarafından 1959 yılında geliştirilmiş, geçmiş verilere de ağırlık verilip bu verileri de dikkate alan bir kontrol grafiğidir.

EWMA grafiğinin λ ve L olmak üzere iki parametresi vardır. Grafiğin tasarımı için, ağırlıklandırma parametresi λ ve kontrol limitlerinin genişliğini ayarlayan parametre L 'nin hesaplanması gerekmektedir.

EWMA grafiği, ilerleyen bölümlerde daha kapsamlı olarak açıklanacaktır.

c. Genel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (GWMA) Grafiği

Genel ağırlıklı hareketli ortalama olarak da adlandırılabilen GWMA grafiği, Sheu ve Lin tarafından 2003 yılında geliştirilmiştir. Süreçteki küçük kaymaların belirlenmesinde etkili olan, geçmiş verilere azalan ağırlıklar vererek yeni ortalamayı hesaplayan bir istatistiktir. Süreçten düzenli olarak alınan, $n \geq 1$ hacimli örnekler temeline göre çalışır [9].

GWMA grafiğinin; q , α ve L olmak üzere üç parametresi vardır. Grafiğin oluşturulması için, q tasarım parametresinin, α ayarlanabilir parametrenin ve kontrol limitlerinin genişliğine karar vermedeki L parametresinin hesaplanması gerekir. GWMA grafiğinde, kontrol limitlerinin hesaplanması şekilde gösterilmektedir [10]: GWMA grafiğine ait alt kontrol limiti, merkez çizgi ve üst kontrol limiti aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$\text{Alt Kontrol Limiti} \quad \mu - L \sqrt{Q_j} \sigma \quad (2.36)$$

$$\text{Merkez Çizgi} \quad \mu \quad (2.37)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti} \quad \mu + L \sqrt{Q_j} \sigma \quad (2.38)$$

2.2.5. CUSUM, EWMA ve Shewhart grafiklerinin karşılaştırılması

Bu üç kontrol grafiğinin özellikleri aşağıdaki gibi maddeler halinde verilmiştir [11].

- a. Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri üretim sürecinden alınan verilere değişik ağırlıklar verir.
- b. Shewhart kontrol grafiğinde, sürecin kontrol dışında olduğu toplanan verilerden herhangi birisinin kontrol sınırlarının dışına taşmasıyla anlaşılır. Shewhart kontrol grafiğinde, herhangi bir zaman için hesaplanıp kaydedilen merkezi eğilim ölçüsü değerleri kontrol dışı olma bakımından bir önceki değerden fazla etkilenmez. Shewhart kontrol grafiğinin bazı çeşitlerinde geçmiş bilgiler dikkate alınmaktadır.
- c. CUSUM kontrol grafiği en eski bilgilere en yeniler kadar önem veren güçlü bir belleğe sahiptir. CUSUM kontrol grafiğinin bazı çeşitlerinde geçmiş bilgilere değişik oranlarda ağırlıklar verilmektedir.
- d. EWMA, eski bilgilere daha az ağırlık verilmesini sağlayan bir istatistiktir. Bununla birlikte, EWMA kontrol grafiği, sürecin gelecek zaman biriminde hangi değeri alabileceği hususunda tahmin yapmayı sağlar. EWMA grafiği, dinamik süreç kontrol aracı olarak kullanılabilir. Süreç ortalaması, hedef değer μ_0 üzerinde kontrol durumunu muhafaza ederken, her üç kontrol grafiği, hedef değerden sapmaları izleme bakımından birbirine benzer sonuçlar verir. Yani, EWMA kontrol grafiğinin gelecek zaman için yaptığı tahmin, hedef değerden önemli derecede farklı çıkarsa, karar verici mevcut sürece müdahale edip gerekli düzeltmeleri yapabilir.

e. Süreç ortalamasında ortaya çıkan geniş çaptaki kaymaların tespitinde Shewhart kontrol grafiğı daha etkili olurken küçük çaptaki kaymaların tespitinde ise CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri daha etkilidir ve birbirine yakın sonuçlar verir.

Görüldüğü gibi, genelde hangi kontrol grafiğinin daha üstün olduğunu söylemeye imkân yoktur. Bu yüzden söz konusu grafiklerin avantajlı yönlerinden istifade etmek gereklidir. Günümüz bilgisayar imkânlarıyla bu üç kontrol grafiklerinin birlikte uygulanması zor olmayan ve zorunlu bir kalite kontrol faaliyeti haline gelmiştir.



BÖLÜM 3. ÜSTEL AĞIRLIKLİ HAREKETLİ ORTALAMA GRAFİĞİ (EWMA)

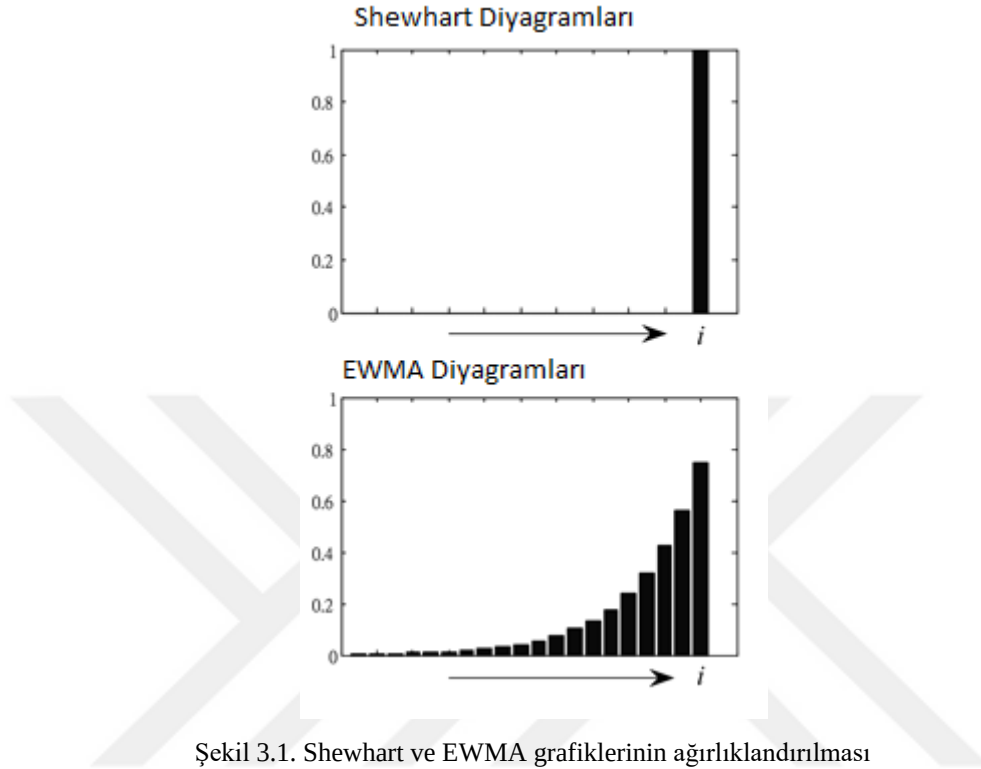
Shewhart grafikleri, grafik üzerinde işaretlenen son noktadan yola çıkıp daha önce işaretlenen noktalardan gelen bilgileri dikkate almadan süreci değerlendirdiği için, süreçte meydana gelen 1,5 standart sapma (σ) ve altındaki kaymalara karşı duyarsız hale getirmektedir. Bu yüzden üretim süreçlerindeki küçük kaymaları tespit etmek amacıyla EWMA grafiği oluşturulmuştur.

EWMA grafiği 1959 yılında S.W. Roberts tarafından ‘Geometrik Hareketli Ortalama’ adı ile ortaya çıkmıştır. Sonraki yıllarda ise geliştirilip ‘Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Grafiği’ olarak adlandırılmıştır. Grafik, yeni gözlemlere eskilere oranla daha fazla ağırlık verilmesi, her gözlemin bir ağırlıkla temsil edilmesi ve ağırlıkların üstel olarak azalmasına dayanmaktadır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda EWMA grafiğinin Shewhart grafiklerine göre süreç ortalamasındaki küçük değişimlere karşı daha hassas olduğunu anlaşılmıştır.

EWMA grafiği, kimyasal endüstrilerde, finansal ve yönetim sistemlerinde, büyük hacimli numuneler almanın pratik olmadığı, genellikle tekli gözlemlerle çalışmanın daha uygun olduğu durumlarda tercih edilmiştir [7].

Ayrıca; EWMA zaman serisi modellerinde ve tahmin yapmada da yaygın bir tarzda kullanılır. Üstel ağırlıklı hareketli ortalama, bütün geçmiş ve cari gözlemlerin ağırlıklı bir ortalaması olmasından dolayı normallik yaklaşımına karşı çok hassastır. Yani, üzerinde durulan kalite karakteristiğinin dağılımı normal ise bu kontrol grafiği ideal sonuçlar doğurur. Bu sebeptendir ki, bu grafik, zaman dilimi başına tek bir gözlem yapılması ve bu gözlemlerin de normal dağılım göstermesi halinde ideal bir grafiktir [12].

Shewhart grafiklerinin aksine, EWMA grafiği, zamanla eskiyen gözlemlere gittikçe azalan ağırlıklar vererek, verileri ortalayan bir istatistiktir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Shewhart ve EWMA grafiklerinin ağırlıklandırılması

EWMA grafiği sahip olduğu ağırlık faktörünün seçimi dolayısıyla esnek bir yapıya sahiptir ve bu faktörü, eski ve yeni gözlemler arasında bir denge kurmak için kullanmaktadır [13]. Roberts ilk olarak geometrik hareketli ortalama için Z_i yeni ağırlıklı ortalama değeri, λ ağırlık parametresi ve $X_{i \text{ ort}}$ i. örnek ortalaması olmak üzere;

$$Z_i = \lambda X_{i \text{ ort}} + (1 - \lambda) Z_{(i-1)} \quad i=1,2,3... \quad (3.1)$$

$$Z_{i-1} = \lambda X_{i-1 \text{ ort}} + (1 - \lambda) Z_{i-2} \quad i=1,2,3... \quad (3.2)$$

eşitliklerini kullanmıştır.

Daha sonra geliştirilen EWMA grafiğinde de benzer olarak Z_i yeni ağırlıklı ortalama değerini bulmak için kullanılan formülasyon aşağıdaki gibi oluşmuştur.

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda) Z_{(i-1)} \quad i=1,2,3\ldots \quad (3.3)$$

Formülasyondaki Z_i yeni ağırlıklı ortalama değerini, $Z_{(i-1)}$ bir önceki döneme ait değeri gösterirken; λ EWMA'nın geçmiş değerlerine 0 ile 1 arasında değer veren ağırlık faktörü olarak kullanılmıştır. X_i değeri ise i . zamandaki gözlem değeri olarak belirlenmiştir.

i değerinin 1 olması durumunda, $Z_{(i-1)} = Z_0$ olacağından ve hangi değeri alacağı da bilinemediğinden, $Z_0 = \mu_0$ olarak alınır. Buradaki μ_0 , sürecin hedeflenen değeridir. Bazen de önceki verilerin ortalaması EWMA'nın başlangıcında kullanılır. Bu durumda, $Z_0 = X_{\text{ort}}$ olacak demektir [14]. Yani EWMA grafiğindeki ilk değer merkez çizgi üzerinde bulunur. EWMA grafiklerinde örnek hacmi 1 olduğundan, her bir gözlem örnek ortalaması gibi işlem görür ve $X_i = X_{i \text{ ort}}$ olur [15].

3.1. EWMA Grafiğinin Literatür Taraması

EWMA grafiği ilk olarak S.W. Roberts tarafından 1959 yılında geliştirilmiş ve geometrik hareketli ortalama şemaları olarak adlandırılmıştır.

Roberts'dan sonra pek çok araştırmacı EWMA tekniklerinin teorik ve pratik kullanımlarını geliştirmiştir. Bu çalışmalar üç kategoride incelenebilmektedir.

- EWMA tekniklerinin çeşitli özel durumlarının uygulanması
- EWMA grafiğinin çalışma süresi dağılımları
- EWMA tekniklerinin geliştirilmesi

Wortham ve Heinrich, 1972 yılında EWMA'yı tekli gözlemler için kullanmıştır [16].

Robinson ve Ho (1978) EWMA grafiğinde ortalama çalışma süresi üzerinde çalışmalar yapmıştır [17].

1986 yılında J.S.Hunter, 'Geometrik Hareketli Ortalama (GMA) kontrol grafiğini, EWMA olarak adlandırmaya başlamıştır [18].

Crowder 1987 yılında EWMA grafiğinde çalışma süresinin belirlenmesi için integral denklemlerini kullanan sayısal işlemler yapmış, ortalama ve standart sapma çalışma sürelerini hesaplanması için formüller geliştirmiş, sonuç olarak da tablolar oluşturmuştur [19]. EWMA üzerinde çalışan pek çok araştırmacı Crowder'in oluşturduğu bu tablolardan yararlanmaktadır. Yöntemin dezavantajı ise sadece 100, 200 ve 370'lik ortalama çalışma süresi için şablon grafikler oluşturulmasıdır.

EWMA grafiğine ait literatür çalışmalarında ARL hesaplaması ile performans değerlendirilirken Markov zinciri yönteminin sıkça kullanıldığı görülmektedir. İlk olarak Saccucci ve Lucas 1990 yılında EWMA grafiğinde önceden kullanılmayan parametreleri kullanmış, ARL'yi daha hızlı ve kolay hesaplanması için Markov zincirinden yararlanmıştır [20]. Çalışmada belirli ağırlık parametresi ve kontrol limitlerinin genişliğini ayarlayan parametreler için kontrol altı ve kontrol dışı ortalama çalışma süresi değerleri bulunup tablolastırma yapılmıştır. Bu tablolar literatürdeki diğer çalışmalarda da sıkça kullanılmıştır.

Crowder ve Hamilton 1992 [21], MacGregor ve Harris ise 1993 yılında [22] sürecin standart sapmasını belirleyecek EWMA grafiğini oluşturmuştur.

EWMA grafiği performansının ARL ile hesaplanması konusunda yapılan diğer çalışmalardan bazıları da Srivastava ve Wu tarafından yapılmıştır. 1993 yılında EWMA, CUSUM ve Shiyayev-Roberts kontrol grafiklerinin hassasiyetleri karşılaştırılmaya çalışılmıştır [23].

Oktay, 1994 yılında yaptığı doktora tezinde Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin şeker sanayisinde uygulanması üzerinde bir deneme yapmış, küçük kaymaların üzerinde durulması ve süreç seviyesinin bir sonraki örnek alma

zamanında nerede olabileceğini tahmin edebilme bakımından EWMA kontrol grafiğinin kullanılmasına karar verilmiştir [24].

Srivastava ve Wu (1995) kontrol içi ve kontrol dışı ARL için formüller elde edilip bulunan sonuçlar Lucas ve Saccucci'nin 1990 yılında oluşturduğu tablo ile karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar incelendiğinde Lucas ve Saccucci'nin tabloları ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada CUSUM ve EWMA'nın kontrol içi ve kontrol dışı ortalama çalışma süresi değerlerinin hassasiyetleri de incelenmektedir [25].

Gan (1995), iki taraflı EWMA ortalama ve varyans grafiklerini oluşturmuştur [26].

Chandrasekaran, English ve Disney 1995'de zamanla değişen kontrol limitleri ile EWMA kontrol grafikleri üzerinde çalışmıştır [27].

Klein ise 1996 yılında Shewhart ve EWMA grafiklerini birleştirerek daha iyi ortalama çalışma süresi elde etmeyi başarmıştır [28].

Srivastava ve Wu (1997) ortalama çalışma süresinin formülleri üzerinde çalışmalar yapmıştır [29].

Neubauer (1997) klinik kimya endüstrisinde [30]; Steiner (1998), metal sürgü üretiminde EWMA grafiğini uygulamıştır [31].

Testik, Borrer ve Runger (2003) ise EWMA'nın normal olmayan veriler için EWMA'nın güçlülüğünü tartışmıştır [32].

Steiner, 1997 yılında, zamanla değişen kontrol limitleri ve hızlı başlangıç tepkisi ile EWMA'yı incelemiştir [33].

Özel, 2010 yılında, EWMA ve GWMA kontrol grafiklerini demir-çelik sektöründe kullanımı üzerine bir uygulama gerçekleştirmiştir [7].

Ege, 2000 yılında EWMA kontrol grafiğinin sapmalara karşı daha duyarlı olduğunu belirleyebilmek için ortalama çalışma süresini; simülasyon yolu ile her üç kontrol kartı için yazılan Fortran programı kullanılarak hesaplamış; EWMA, Shewhart ve CUSUM kontrol grafiğine ait sonuçları karşılaştırıp hangi kartın daha duyarlı olduğuna karar vermiştir [34].

Reynolds and Arnold (2001), EWMA kontrol grafiğinin küçük süreç sapmalarını ortaya çıkarmadaki etkinliğini artırma olasılığı üzerinde çalışmıştır [35]. Aynı zamanda Reynolds ve Arnold (2001), sabit örnek hacmi ve sabit örnek aralığına yerine değişken örnek hacmi ve değişken örnek aralığını getirmiş, hesaplarını karşılaştırmıştır.

Jones, Champ ve Rigdon (2001), gerçekte nadiren bilinen parametre değerleri yerine kullanılan tahmini değerlerin EWMA grafiği üzerindeki etkisini ölçmüştür. Tahmini parametre kullanmanın dezavantajının, ARL değerlerinin kötüleşmesi yani daha sık yanlış alarm sinyali alınması olduğunu ileri sürmüştür [36].

Diğer çalışma 2002 yılında Fu, Spiring ve Xie tarafından yapılmıştır. Çalışmada ARL'nin kontrol şemalarının performans hesaplanmasında geleneksel bir yöntem olduğu bunu da Markov zinciri ile hesapladıkları vurgulanmış, makale sonunda sayısal sonuçlar örneklenmiştir. Çalışmanın en büyük dezavantajı sayısal işlemlerin zorluğu olmuştur [37].

Aparisi ve Diaz ise 2004 yılında EWMA ve çok değişkenli üstel ağırlıklı hareketli ortalama (MEWMA) grafikleri performansını hesaplamak için Delphi yazılım programı kullanılmış, genetik algoritma komutları bu yazılım programı ile uygulanmıştır [38]. Aynı yöntem kullanılarak 2004 yılında da küçük sapmalara karşı duyarlılık örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır [39]. 2005 yılındaki çalışmalarında ise ARL markov zinciri kullanılarak bulunmuş, maliyet hesaplanması bölümünde ise genetik algoritma ile ilgili yazılım uygulanmıştır [40]. 2007 yılında da EWMA'nın sadece küçük sapmaların bulunmasında değil aynı zamanda kontrol altı, kontrol dışı gibi bölgelerin en iyi şekilde belirlediği vurgulanmış, aynı yazılım burada da kullanılarak veriler örneklendirilmiştir [41].

Kasap, 2006'da Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin gıda sanayinde uygulanmasını yapmıştır [42].

Chou, Cheng ve Lai ise EWMA kontrol grafiği çizimi aşamalarını beş bölgeye ayrılmış buna bağlı olarak altı test parametresi değerleri (örnek büyüklüğü, sabit örnekleme aralığı, ardışık örnekleme süresi arasındaki alt aralık sayısı, uyarı limiti katsayısı, kontrol limiti katsayısı ve üstel ağırlık sabiti) toplam maliyeti azaltacak şekilde genetik algoritma ile belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma; örnek problem ile desteklenmiş, ardından yapılan duyarlılık analizi ile sonlandırılmıştır [43].

Serel ve Moskowitz (2008), optimal örneklem büyüklüğü azaldıkça, kaymanın habercisi olarak ortalamanın ve/veya varyansın arttığını ve yüksek kalite kayıp katsayıları değerlerinin, daha kısa örneklem aralığına yol açtığını göstermiştir. Çalışma yapılırken ARL markov zinciri kullanılarak hesaplanmış, ekonomik tasarımı bulabilmek için de genetik algoritma yazılımlarından faydalanılmıştır [44].

Demir, 2008 yılında Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerini bir makine sanayisinde uygulamış; sonuç olarak Shewhart kontrol grafikleri hedef ortalama dan büyük kaymaların tespitinde iyi sonuç verirken, küçük kaymaların tespitinde ise CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir [45].

Serel 2009'da EWMA grafiğine ait örnek büyüklüğü, örneklem aralığı, kontrol limitleri ve düzeltme sabiti gibi parametrelerinin en aza indirgenmesi ile kontrol grafiğinin maliyetinin de azalacağını belirtmiş, maliyet hesaplamaları bir optimizasyon problemi olarak düşünülerek genetik algoritma kullanarak çözülmüştür [46].

2009 yılında Yang ve Yu, değişken örneklem aralıklarına (VSI) ilişkin EWMA kontrol şemaları oluşturmuş ve önerilen kontrol semasının performansını Markov zinciri yaklaşımı ile ölçmüştür. Önerilen model, otomobil fren sistemi örneğine uygulanmış ve önerilen VSI EWMA kontrol şemaları, süreç kaymalarını daha etkin bir şekilde belirlemiştir [47].

Castagliola ve Maravelakis 2009 yılında tahmini parametreler kullanıldığında, kontrol dışı durumu saptayabilmek için daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğu belirten çalışmalar yapmıştır [48].

Khoo, Wu, Chen ve Yeong (2010), süreç ortalaması ve varyansını görüntülemek için EWMA grafiğinden faydalanmıştır [49].

2011 yılında Charongrattanasakul ve Pongpullponsak tarafından yapılan ‘Minimizing the cost of integrated systems approach to process control and maintenance model by EWMA control chart using genetic algorithm’ başlıklı makalede saat başına düşen bakım maliyetini azaltacak, altı karar değişkenini (örnek büyüklüğü, örneklem aralığı, planlanan bakımdan önce alınan örnek sayısı, uyarı limiti uzunluğu, üstel ağırlık sabiti ve alt aralık sayısı) optimum yapabilecek matematiksel bir model elde edilmiştir. En düşük maliyetin bulunabilmesi için ise genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır [50].

Niaki ve Jahani 2011 yılında, toplam ortalama çalışma süresini, kontrol altı ve kontrol dışı çalışma süresi olarak ikiye ayırmıştır. Kontrol altındaki çevrim süresi; güvenli bölge ve uyarı bölgesi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kontrol dışı çevrim süresi ise; kontrol dışına çıktığı nokta ile kontrol dışına çıkma olayının düzeltildiği nokta arası; kontrol dışına çıkmasının belirlendiği nokta, kontrol dışına çıkmasının tanımlandığı nokta olarak üç aralık olarak tanımlanmıştır. Sonraki aşamada maliyet ve süreç parametrelerine ait en düşük ve en yüksek değerler belirlenip parametrelerin duyarlılıkları ANOVA testi ile karşılaştırılmıştır [51].

Chin ve Khoo 2012 yılında sürecin standart sapmalarının ve bu sapmaya ait değişimlerin EWMA ile belirlenmesinin zor olduğunu, bunun yerine t-EWMA kontrol grafiğinin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çalışmada performans kriteri olarak medyan çalışma süresi kriteri Markov zinciri kullanılarak bulunmuş, araba radyosu üretimindeki vidalama işlemine ait verilerde yapılan sonuçlar t-EWMA ve $\bar{X}$ -EWMA grafiklerinde karşılaştırılmıştır [52].

Singh ve Prajapati farklı kolerasyon seviyeleri için tablolar oluşturulup ARL değerleri hesaplanmış, bulunan en iyi değerlere ait λ ve L değerleri oluşturulacak grafikler için optimum değer olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak seri kolerasyon için EWMA ve CUSUM grafiklerinin performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır [53].

3.2. EWMA Grafiğinin Varsayımları

EWMA süreç kontrol grafiğinin iki temel varsayımı bulunmaktadır. Bu varsayımlar;

- a. Veriler arasında otokorelasyonun olmaması,
- b. Verilerin normal dağılıma uygun olmasıdır.

3.2.1. Otokorelasyonlu süreçlerde EWMA grafikleri

İstatistiksel süreç kontrolü, süreç takibinde kullanılacak verilerin birbirinden bağımsız olması yönünde bir varsayım içermektedir. Ancak bu durum teoriden pratiğe geçildiğinde kimya, kağıt gibi bazı sektörler açısından pek mümkün olmamaktadır. Periyodik olarak elde edilen verilerin ardışık değerlerinin, birbirinden bağımsız olmaması ya da diğer bir ifadeyle değerler arasında ilişkinin olması durumu otokorelasyon olarak adlandırılmaktadır. Süreçlerde otokorelasyon söz konusu olduğunda ortaya çıkan temel problem, otokorelasyon nedeniyle oluşan varyasyonun yanlış zamanda kontrol dışı sinyali üretmesidir. Ayrıca böyle bir durumun varlığında, özel ve genel varyasyonun birbirinden ayrılması güçleşmektedir [54].

Gözlemler arasında otokorelasyon olduğunda, geleneksel istatistiksel süreç kontrol tekniklerinin kullanımı uygun olmadığı için, bu amaçla geliştirilmiş algoritmik istatistiksel süreç kontrol (ASPC) teknikleri bulunmaktadır. Bu teknikler, otokorelasyonlu verinin yapısından ileri gelen varyasyonun tespit edilmesini sağlamaktadır.

Alwan ve Roberts (1988) tarafından geliştirilen teknikler, otoregresif hareketli ortalama (ARMA) modelini de içermektedir. Schmid ve Schone (1997), klasik

EWMA grafiğini, otokorelasyonlu süreçlerde kullanılması üzerinde çalışmıştır. Kontrol altı çalışma sürelerinin (ARL) kuyruk olasılıklarını hesaplamıştır. Otokovaryanslar 0'a eşit ya da büyük olduğunda, otokorelasyonlu sürecin kuyruklarının, bağımsız değişkenli sürece oranla daha büyük olduğunu kanıtlamıştır [7].

3.2.2. Normallik dışı durumlarda EWMA grafikleri

Borror, Montgomery ve Runger (1999), normallik dışı durumlar için, Shewhart ve EWMA grafiklerinin ARL performanslarını karşılaştırmıştır [55].

Çarpık dağılım durumlarını temsil etmek için Gamma dağılımı ve normale göre daha ağır kuyukları olan simetrik dağılımları temsil etmek için t dağılımı kullanılmıştır. Tekli gözlemler için kullanılan grafiklerin normallik yaklaşımına duyarlılıkları fazla olmadığından çalışmada tekli gözlemler için Shewhart grafiği ve EWMA grafiği kullanılmıştır. Normallik dışı durumlar, kontrol altı ARL değerlerinin beklenen ya da önerilene göre daha az olmasına neden olmaktadır. Çalışmanın sonuçları olan kontrol altı ARL değerleri Tablo 3.1 ve 3.2'de yer almaktadır [8].

Tablo 3.1. Gamma dağılımları için EWMA ve Shewhart grafiklerinde ARL değerleri

λ	EWMA			Shewhart
	0.05	0.1	0.2	1
L	2.492	2.703	2.86	3.00
Normal	370.4	370.8	370.5	370.4
Gamma(4,1)	372	341	259	97
Gamma(3,1)	372	332	238	85
Gamma(2,1)	372	315	208	71
Gamma(1,1)	369	274	163	55
Gamma(0.5,1)	357	229	131	45

Tablo 3.2. t dağılımları için EWMA ve Shewhart grafiklerinde ARL değerleri

λ	EWMA			Shewhart
	0.05	0.1	0.2	1
L	2.492	2.703	2.86	3.00
Normal	370.4	370.8	370.5	370.4
t ₅₀	372	341	259	97
t ₄₀	372	332	238	85
t ₃₀	372	315	208	71
t ₂₀	369	274	163	55
t ₁₀	357	229	131	45

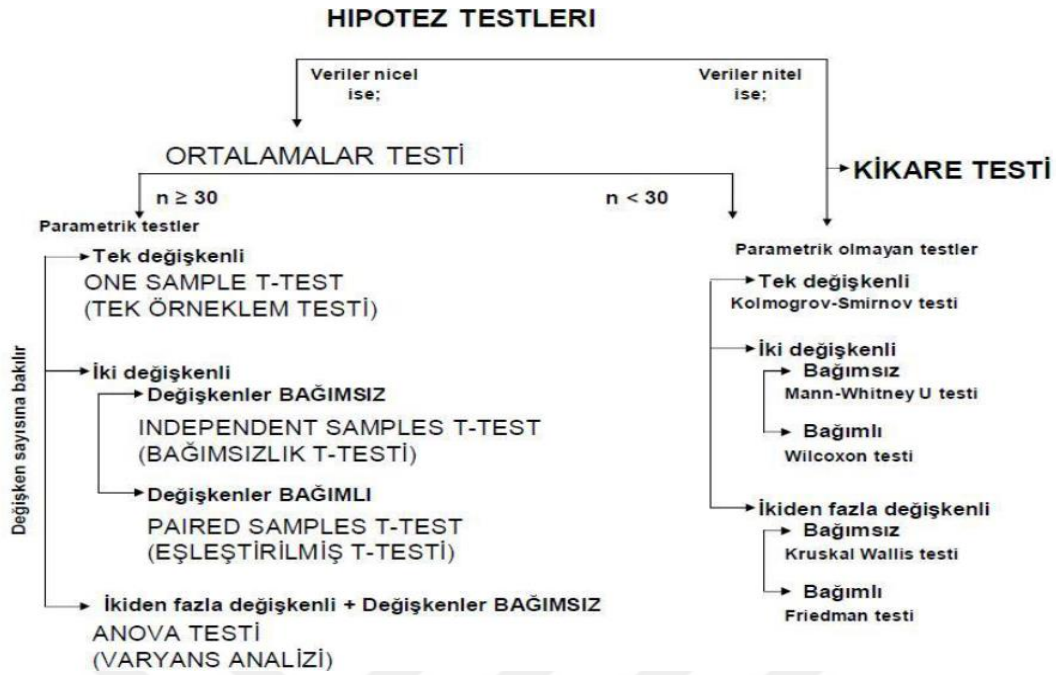
Tablolardan, normal olmayan dağılımlarda Shewhart grafiğinin kontrol altı ARL değerlerini oldukça büyük bir oranda düşürdüğü görülmektedir. Bu durum yanlış alarm sinyali artıracaktır. EWMA grafiği ise, normallik dışı durumdan Shewhart grafiğine göre daha az etkilenmektedir. EWMA λ değeri 0.05 ve 0.10 olduğunda, Gamma ve t dağılımlarındaki kontrol altı ARL değerleri normal dağılım değerlerine oldukça yakındır [7].

Verilerin normal dağılıp dağılmadığını anlamak için hipotez testlerinden yararlanılır. Bunun için kurulan hipotezler;

H₀: Veriler normal dağılıma sahip bir ana kütleden gelmektedir.

H₁: Verilerin dağılımı normale uymamaktadır.

Çalışmalarda kullanılabilecek hipotez testleri Şekil 3.2 yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Şekile göre verilere uygulanabilecek hipotez testine nicel veya nitel olmasına ve örneklem büyüklüğüne göre karar verilmektedir.



Şekil 3.2. Hipotez testleri

3.3. EWMA Kontrol Grafiğinde Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi

Üstel ağırlıklı hareketli ortalama değerlerini bulmak için 4.1 no'lu eşitlikten yararlanılır.

İlk örnek ortalaması için EWMA değeri 4.3. formül olan,

$$Z_t = \lambda X_{i \text{ ort}} + (1 - \lambda) Z_{(i-1)}$$

ile hesaplanmaktadır. Aynı şekilde her veri seti için ağırlıklı ortalama değeri bulunur.

Formülde yer alan λ değeri $0 < \lambda \leq 1$ olmak üzere rassal olarak seçilir. Daha sonra $Z_{(t-1)} = Z_0$ olarak alınacağı için veri setlerinin ortalaması hesaplanır.

$$[\sum_{t=1}^n X_t] / n \tag{3.4}$$

formülü sonucunda veri setinin ortalaması bulunmaktadır.

EWMA kontrol grafiğinin kontrol sınırlarını hesaplamada ise Z_t 'nin standart sapması,

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda [1 - (1 - \lambda)^{2t}]}{2 - \lambda}} \quad (3.5)$$

olur [56].

Genel bir ifade ile EWMA kontrol grafiğinin kontrol sınırları;

$$\text{Üst Kontrol Limiti (ÜKL)} \quad \mu_0 + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda [1 - (1 - \lambda)^{2t}]}{2 - \lambda}} \quad (3.6)$$

$$\text{Merkez çizgi (MÇ)} \quad \mu_0 \quad (3.7)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti (AKL)} \quad \mu_0 - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda [1 - (1 - \lambda)^{2t}]}{2 - \lambda}} \quad (3.8)$$

olarak hesaplanır.

Sınırların hesaplanmasında standart sapma değerleri belli bir t değerine kadar artar daha sonra sabit kalır. t değerinin yeterli büyüklükte (8 veya 9) bir değere ulaşması durumunda, 4.5 no'lu eşitlik;

$$\sigma_{zt} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \quad (3.9)$$

gibi daha basit bir hale dönüşür [57].

EWMA kontrol grafiğinde limitlerin belirlenmesinde ise ait üst kontrol sınırı, belli bir t değerine kadar artar, alt kontrol sınırı ise buna paralel olarak azalır. $[1-(1-\lambda)^{2t}]$ terimi t değerine yaklaştıkça kararlı hale gelmeye başlar ve başlangıç değerinin etkisi zamanla kaybolur. Kararlı durum için kontrol limitleri ise şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Üst Kontrol Limiti (ÜKL)} \quad \mu_0 + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad (3.10)$$

$$\text{Merkez çizgi (MÇ)} \quad \mu_0 \quad (3.11)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti (AKL)} \quad \mu_0 - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad (3.12)$$

Kontrol limitleri belirlendikten sonra ağırlıklı ortalama değerleri grafiğe işaretlenir. Kontrolü yapılacak olan kalite karakteristiği dikey eksen ve örnek alma zamanları da yatay eksen olmak üzere kontrol grafiği oluşturulur. Kontrol grafiği yardımıyla kontrol altındaki ve kontrol dışındaki durumlar belirlenir.

3.4. λ ve L Parametrelerinin Seçilmesi

EWMA grafiğinin λ ve L gibi iki parametresi vardır. Grafiğin tasarımı için, ağırlıklandırma parametresi λ ve kontrol limitlerinin genişliğini ayarlayan parametre L 'nin hesaplanması gerekmektedir.

λ , 0'dan büyük ve en fazla 1 olabilen sabit bir değer aynı zamanda EWMA Grafiğinin geçmişi ne kadar yansıtacağına karar veren ağırlık faktörü parametresidir. Parametrenin 1'e yakın değeri son verilere daha çok ve önceki verilere daha az ağırlık verildiğini ifade eder. Bu gibi durumlarda EWMA grafiği Shewhart grafiğine benzer özellikler göstermektedir. λ parametresinin 0'a yakın değerler alması ise önceki verilere daha çok ağırlık verildiğini gösterir. Bu durumda ise EWMA grafiği, verilere eşit ağırlıklar veren CUSUM grafiğine benzemektedir.

λ parametresi, ağırlıkların ne ölçüde azalacağına, dolayısıyla önceki verilerin EWMA istatistiğinin hesaplanmasına ne oranda katılacağına karar verir. Süreçteki kaymalara karşı duyarlılığı arttırmak için λ ağırlık faktörünün doğru seçilmesi gerekmektedir. Örnek ortalamasının eskimesiyle, $\lambda (1 - \lambda)^i$ ağırlıkları, geometrik olarak azalmaktadır.

Süreçte söz konusu olan kayma miktarı karşısında, EWMA grafiğini duyarlı hale getirecek bir ağırlık parametresi λ ve L parametresi kombinasyonu seçilmek istenmektedir. Bu doğrultuda, seçilecek λ -L kombinasyonları, kontrol altındaki ARL değerini olası yanlış alarm sinyallerine karşı mümkün olduğunca büyük kılmalı, kontrol dışı ARL değerlerini ise kaymalar karşısındaki hassasiyeti artırmak için olabildiğince küçültmelidir [7].

EWMA grafiği, optimum λ ve L değerinin bulunması halinde meydana gelebilecek küçük kaymaların bulunmasında Shewhart kontrol grafiklerinin iyi bir alternatifidir [58].

3.5. EWMA Grafiklerinde Performans Ölçümü ve Karşılaştırılması

EWMA grafiklerini diğer Shewhart kontrol grafiklerinden ayıran en önemli özelliği sapmaları kısa sürede tespit edip verimliliği arttırmasıdır. Bunu sağlayabilmek için ‘Ortalama Çalışma Süresi’(ARL - Average Run Length) olarak adlandırılan performans ölçüsü değerinin en üst düzeyde tutması gerekmektedir.

Ayrıca EWMA kontrol grafiğinin performansı hemen hemen ‘Birikimli Toplam Kontrol Grafiği’nin (CUSUM) performansına denktir. Ayrıca, bazı hallerde EWMA kontrol grafiğinin düzenlenmesi ve uygulanması çok daha kolaydır.

Dolayısıyla kontrol grafiklerinin performansı, meydana gelen tayin edilebilir nedenleri ortaya çıkarma hızı ve yanlış alarm sıklığı tarafından belirlenir [59]. Performans belirlemede kullanılan göstergelerin hesaplanmasında ise kontrol grafiğinin gücünden faydalanılır.

Bir kontrol grafiğinin çalışma süresi; ilk kez kontrol limitleri dışına çıkana kadar, grafik üzerinde işaretlenen, incelenmekte olan kalite karakteristiğine ait noktaların sayısıdır [60].

ARL, kontrol grafiklerinin performans ölçümünde yaygın olarak kullanılan performans göstergesidir [61]. ARL (ortalama çalışma süresi), süreci kontrol etmek için kullanılan kontrol grafiği, sürecin kontrol altındayken kontrol dışında olduğuna dair bir sinyal verene kadar süreçten alınan ortalama örnek sayısını gösterir [59].

ARL kavramı, ilk olarak Weindling tarafından ortalama aksiyon zamanı (mean action time) olarak tanımlanmıştır ve bu kavram daha sonra Page tarafından, ARL olarak adlandırılmıştır. Wendling ve arkadaşları ortalama aksiyon limitlerinin ve uyarı limitlerinin ortalama aksiyon zamanı üzerine etkisini incelemişlerdir. Aksiyon limitlerinin yeri, ortalama aksiyon zamanı fonksiyonundaki limitleri belirler. Aksiyon limitlerinin küçük olması, bir örnek noktası bu limitler dışına çıktığı zaman, grafiğın sinyal verme olasılığını artıracak ve ortalama aksiyon zamanı küçülecektir. Aksiyon limitlerinin artması ise ortalama aksiyon zamanını artıracaktır [62].

Kontrol grafiklerinin gücü, süreçte meydana gelen değişimlerin tayin edilme olasılığı olarak ifade edilir. Farklı değişim büyüklüklerine karşı farklı güç değerlerinin grafiği çıkarılarak kontrol grafiklerinin güç fonksiyonu elde edilir [63].

Genel olarak bir güç fonksiyonu üç kritere bağlıdır;

- a. Tayin edilen sinyalin büyüklüğü,
- b. Sinyali tayininde kullanılan bilgi miktarı,
- c. Mevcut bilgileri analiz etmek için kullanılan prosedür.

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

kullanılacak tayin kuralı, herhangi bir örnek noktasının üç sigma limitleri dışına çıkmasıdır [64].

EWMA kontrol grafiğinde sürecin kontrol altında olduğu durumu tanımlayan ARL_0 aşağıdaki formülle hesaplanır [65].

$$ARL_0 = (2\lambda)^{-1} \int_0^L [\phi(z)]^{-1} [2\Phi(z) - 1] dz \quad (3.13)$$

Formülde

ϕ Standart normal olasılık yoğunluk fonksiyonu

Φ Standart normal birikimli dağılım fonksiyonu

Bunun yanı sıra; süreç kontrol dışındayken kontrol altında sinyali verme durumunda ise δ referans değeri, L kontrol limitlerinin genişliğini ayarlayan parametre ve λ ağırlıklandırma parametresi olmak üzere ARL_1 formülü kullanılır [65].

$$ARL_1 = (1/\delta)^2 * [1.2277 L^2 - 2.835 + 9.740 L^{-2}] + \frac{1}{2} * (1-\lambda) \quad (3.14)$$

ARL değerlerinden; kalite karakteristiğinin performansının belirlenmesinin yanı sıra örnek hacmi ile frekanslarının seçimi, kontrol grafiklerini tasarlama ve kontrol grafiklerinin duyarlı olduğu kayma büyüklüğünü belirleme gibi alanlarda yararlanılmaktadır.

ARL dışında performans ölçümünde kullanılan diğer göstergeler ise şöyledir [66]:

1. ANSS (Average number of samples to signal): Sürecin başlangıcından veya giderilebilir nedenin meydana gelişinden, kontrol grafiği kontrol dışı sinyal verene kadar gözlenen örnek sayısının beklenen değeridir. ARL ile tanımsal olarak aynıdır, fakat ANSS örnekleme aralıkları değişken olduğu zaman kullanılır.

2. ANOS (Average number of observations to signal): Sürecin başlangıcından veya giderilebilir nedenin meydana gelişinden, kontrol grafiği kontrol dışı sinyal verene kadar gözlenen birim sayısının beklenen değeridir.

3. ATS (Average time to signal): Sürecin başlangıcından, kontrol grafiği kontrol dışı sinyal verene kadar geçen sürenin beklenen değeridir.
4. AATS (Adjusted average time to signal): Süreçte bir giderilebilir nedenin meydana gelişinden, kontrol grafiği bir sinyal verene kadar geçen sürenin beklenen değeridir.

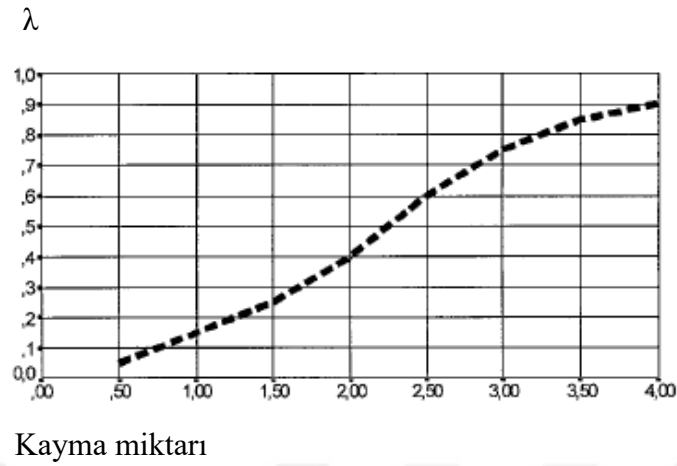
Literatür çalışmalarında ARL'nin bulunduğu birkaç yöntem vardır. Bunlardan ilki Crowder'in kullandığı yöntemdir. 1987 yılında EWMA grafiğinde çalışma süresinin belirlenmesi için integral denklemlerini kullanan sayısal işlemler yapmış, ortalama ve standart sapma çalışma sürelerini hesaplamıştır. 1989 yılında ise bilgisayar hesaplamalarını kullanarak, EWMA grafiğini oluşturmak için ve ARL'den oluşan performansı bulmak için dört adım yöntemi olarak adlandırılan bir prosedür geliştirmiştir. Prosedürün adımları şu şekildedir [67]:

1. Kontrol altındaki duruma göre belirlenmesi gereken ARL seçilir.
2. İstenilen süreç kayma miktarı seçilir. Bu miktara dayanarak ağırlık faktörü λ 'ya karar verilir.
3. Elde edilen λ yoluyla kontrol limitlerinin genişliğini ayarlayan L parametresine karar verilir.
4. En iyi ARL performanslarına karar vermek için bir simülasyon programında duyarlılık analizi yapılır.

Neubauer (1997), Crowder tarafından önerilen EWMA grafiği tasarım prosedürünü uygulayarak, klinik kimya alanından bir örnek sunmuştur. Örnekte uygulanan adımlar şu şekildedir:

Adım 1: Kontrol altındaki ARL değeri 100 olarak belirlenmiştir.

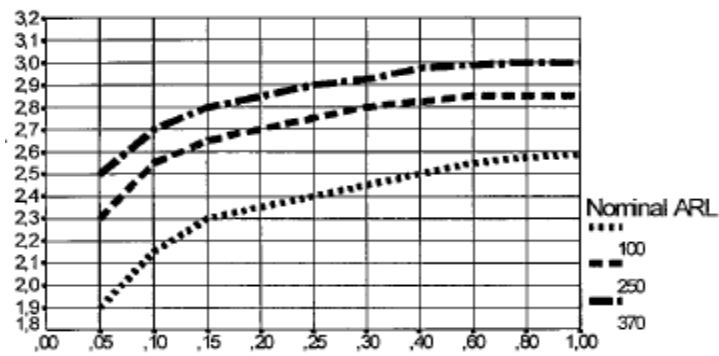
Adım 2:Öncelikle süreçte meydana gelebilecek kayma büyüklüğüne karar verilmiştir. Kayma miktarı, laboratuvar performansında meydana gelebilecek kabul edilebilir hata oranıyla ilgilidir. Süreçteki kayma miktarı 2.00σ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kayma miktarını karşılayacak ağırlık faktörü seçim eğrisi çizilmiştir. 2.00σ kayma miktarı için λ değeri Şekil 3.3'den 0.4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Kayma miktarı için optimal λ değerleri

Adım 3: Ağırlık parametresinin seçimiyle, sıra kontrol limitlerinin genişliğini ayarlayan L parametresinin seçimine gelmiştir. ARL değerlerine göre oluşturulan Şekil 3.4’de λ karşısında L seçimi görülmektedir. Örnek olarak; L değerinin 2.5 olmasına karar verilmiştir.

L değerleri



λ değerleri

Şekil 3.4. ARL ve λ değerleri için optimal L değerleri

Adım 4: L ve λ değerleri için kontrol sınırları oluşturulup, duyarlılık analizi yapılmış ve oluşturulan EWMA grafiğinin süreç kaymaları karşısında ARL performansı ölçülmüştür.

Görüldüğü gibi Crowder yönteminde belirli bir ARL değeri belirlenip buna uygun λ ve L değerleri seçilmiştir. Yöntemde sadece 100, 200 ve 370'lik ortalama çalışma süresi için şablon grafikler oluşturulmuştur.

Yine Lucas ve Saccucci, Tablo 3.3'de [68] görüldüğü gibi λ 'nın 1.00, .75, .50, .40, .30, .25, .20, .10, .05, ve .03 olduğu durumlarda ARL'nin aldığı değerleri hesaplamışlardır. Daha sonra bu tablodan birçok araştırmacı yararlanmıştır.

Tablo 3.3. λ 'nın farklı olduğu durumlarda ARL değeri

Kayma	ARL Tipi	L	3.09	3.087	3.071	3.054	3.023	2.998	2.962	2.814	2.615	2.437
		λ	1.00	.75	.50	.40	.30	.25	.20	.10	.05	.03
.00	ARL ₀		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	ARL ₁		500	500	499	498	497	496	496	492	487	480
.25	ARL ₀		374	321	255	224	189	170	150	106	84.1	76.7
	ARL ₁		374	321	254	223	188	169	149	104	81.7	74.1
.50	ARL ₀		201	140	88.8	71.2	55.4	48.2	41.8	31.3	28.8	29.3
	ARL ₁		201	140	88.4	70.7	54.9	47.7	41.2	30.6	28.0	28.6
.75	ARL ₀		103	62.5	35.9	28.4	22.5	20.1	18.2	15.9	16.4	17.6
	ARL ₁		103	62.4	35.7	28.1	22.2	19.8	17.8	15.5	16.0	17.3
1.00	ARL ₀		54.6	30.6	17.5	14.3	12.0	11.1	10.5	10.3	11.4	12.6
	ARL ₁		54.6	30.5	17.3	14.1	11.8	10.9	10.3	10.1	11.2	12.5
1.50	ARL ₀		17.9	9.90	6.53	5.88	5.53	5.46	5.50	6.09	7.12	8.08
	ARL ₁		17.9	9.86	6.44	5.79	5.43	5.37	5.40	5.59	7.03	8.00
2.00	ARL ₀		7.26	4.54	3.63	3.52	3.54	3.61	3.74	4.36	5.23	5.99
	ARL ₁		7.26	4.52	3.58	3.47	3.49	3.56	3.69	4.31	5.18	5.95
2.50	ARL ₀		3.60	2.69	2.50	2.54	2.65	2.74	2.88	3.44	4.17	4.80
	ARL ₁		3.60	2.67	2.47	2.50	2.61	2.71	2.84	3.41	4.14	4.78
3.00	ARL ₀		2.15	1.88	1.93	2.02	2.16	2.26	2.38	2.87	3.50	4.03
	ARL ₁		2.15	1.87	1.91	1.99	2.12	2.22	2.35	2.85	3.48	4.02
3.50	ARL ₀		1.52	1.46	1.58	1.69	1.85	1.95	2.07	2.47	3.04	3.49
	ARL ₁		1.52	1.46	1.58	1.69	1.85	1.95	2.07	2.47	3.04	3.49
4.00	ARL ₀		1.22	1.22	1.34	1.44	1.61	1.73	1.86	2.19	2.69	3.11
	ARL ₁		1.22	1.23	1.36	1.46	1.60	1.69	1.80	2.20	2.68	3.09
5.00	ARL ₀		1.03	1.04	1.07	1.12	1.22	1.32	1.48	1.94	2.16	2.55
	ARL ₁		1.03	1.04	1.10	1.17	1.29	1.38	1.49	1.83	2.22	2.55

Sonraki aşamalarda ise 100, 300, 500, 1000, 2000 ve 5000 için ARL₀ değerlerini hesaplamışlardır. (Tablo 3.4) Ancak bu çalışma da sadece belirli ARL₀ değerleri için kullanılabilmektedir.

Tablo 3.4. 100, 300, 500, 1000, 2000 ve 5000 için ARL_0 değerleri

Kayma	Kontrol Altı Ortalama Çalışma Süresi					
	100	300	500	1000	2000	5000
.5						
λ	.07-.06	.06-.05	.05	.04	.04-.03	.03
L	2.015-1.954	2.462-2.399	2.616	2.817	3.069-2.989	3.299
ARL_{min}	17.3	24.9	28.7	34.3	40.1	47.7
1.0						
λ	.19-.16	.15-.14	.15-.12	.13-.10	.12-.10	.09
L	2.346-2.298	2.723-2.707	2.907-2.858	3.113-3.059	3.317-3.283	3.538
ARL_{min}	6.97	9.14	10.2	11.7	13.2	15.2
2.0						
λ	.52-.47	.42-.38	.37-.36	.35-.31	.32-.28	.29-.26
L	2.538-2.526	2.895-2.885	3.047-3.044	3.253-3.241	3.445-3.433	3.686-3.677
ARL_{min}	2.62	3.23	3.51	3.90	4.29	4.81
3.0						
λ	.81-.77	.74-.71	.70-.66	.66-.59	.61-.53	.53-.47
L	2.572-2.569	2.931-2.930	3.086-3.084	3.286-3.283	3.477-3.473	3.714-3.711
ARL_{min}	1.45	1.72	1.86	2.06	2.26	2.51
4.0						
λ	1.00-.85	.97-.84	.95-.82	.91-.80	.91-.75	.84-.72
L	2.576-2.573	2.935-2.934	3.090-3.089	3.290-3.289	3.480-3.480	3.719-3.718
ARL_{min}	1.08	1.16	1.21	1.29	1.39	1.53

Görüldüğü gibi Crowder yönteminde sadece 100, 200 ve 370 değerleri için λ ve L değerleri belirlenebilirken; Lucas ve Saccucci de bazı değerler için ortalama çalışma süreleri hesaplanıp tablolaştırılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında ise;

$$ARL_0 = (2\lambda)^{-1} \int_0^L [\phi(z)]^{-1} [2\Phi(z) - 1] dz$$

olan 3.13 formülasyonu MATLAB sayısal işlem yükü olmadan kolayca hesaplanıp; çok sayıda λ ve L kombinasyonları elde edilmekte buradan da gatool komutu ile optimum değer belirlenmektedir. Böylece Crowder'in kullandığı 100, 200, 370 ve 500'lük ortalama çalışma süresi ve Lucas ile Saccucci'nin oluşturduğu tablonun dışındaki veriler için de ortalama çalışma sürelerinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 4. GENETİK ALGORİTMA (GA)

Genetik algoritma (GA) rastlantısal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir arama tekniğidir [69].

Gerçek hayatta, genellikle birçok farklı değişkene sahip olan ve tek bir amaçtan ziyade birden çok amaca sahip olan optimizasyon problemleriyle karşılaşırız. Bu tür problemlerde, minimizasyon ve maksimizasyon olabildiği birden fazla amaç tatmin edilmek zorundadır. O yüzden bu problemlerin çözümü klasik problemlerden daha zor ve karmaşıktır.

Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar [69].

Günümüzde, çok amaçlı problemlerin çözümünde genetik algoritmalar sıkça kullanılmaktadır. Özellikle lineer programlama ve matematiksel envanter modelleri gibi sıradan metotlarla çözülmesi imkansız veya çok güç olan problemlerde çok yararlı olmaktadır. Bununla beraber, genetik algoritma, özellikle diğer arama algoritmalarıyla karşılaştırıldığında kısa bir sürede çok iyi ve etkili sonuçlar vermektedir.

Genetik algoritma, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok genel anlamda genetik algoritmanın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar;

- a) Deneysel çalışmalarda optimizasyon,
- b) Pratik endüstriyel uygulamalar,
- c) Sınıflandırma sistemleridir [70].

Genetik algoritmalar doğal seçim ve mekanizmasına dayanan sayısal optimizasyon algoritmalarıdır. Konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde, araştırma alanı geniş ve karmaşık olan problemlerde, konuyla ilgili bilginin az olduğu, eldeki bilgi araştırma alanını daraltmanın mümkün olmadığı problemlerde, matematiksel analizin elde edilemediği veya geleneksel araştırma metodları ile başarısız olduğu veya iyi sonuç alınmadığı problemlerde genetik algoritmalarından faydalanıldığı görülmüştür.

Problemlerin ihtiyaç duyduğu verimli ve etkili araştırmalarda geçerli bir yaklaşım olarak yerleşen genetik algoritmalar; mühendislik, iş/ticaret ve bilimsel çalışmalarda daha geniş uygulama imkânları bulmaktadır. Genetik algoritmaların uygulama alanlarının genişlemesinin sebebi, hesaplamalardaki kolaylığı ve arama uzayı ile ilgili varsayımlarda önemli sınırlayıcılarla kısıtlandırılmamasıdır

4.1. Genetik Algoritma'nın Tarihçesi

İlk olarak John Holland evrim sürecini bir bilgisayar yardımıyla kullanarak genetik algoritmaları oluşturmuştur. Holland 1975 yılında Michigan Üniversitesi'nde yaptığı çalışmaları 'Adaptation in Natural and Artificial Systems' adlı kitabında bir araya getirmiştir. Holland bu çalışmalarda evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır [71].

Holland'ın ilk amacı özellikli bir problemin çözümü için algoritma ortaya koymanın yanı sıra doğada olduğu gibi bir adaptasyonu biçimsel olarak çalışmak, doğal adaptasyon mekanizmalarının bilgisayar sistemlerine uygulanabileceği metotlar geliştirmek ve bunları formüle ettiği şema teoremi ile uygulamak olmuştur. Şema teoremi 0,1 ve * sembollerinden oluşan bir dizilerin oluşturduğu kromozomları konu edinmiştir.

Daha sonra Holland'ın öğrencisi David Goldberg 1989 yılında genetik algoritmaların çeşitli konularda kullanılabileceğini göstermiştir [72].

1992 yılında da John Koza genetik algoritmayı kullanarak genetik programlamayı geliştirmiştir. Koza, bu yönteme genetik programlama ('Genetic Programming' - GP) adını vermiştir [73].

4.2. Genetik Algoritmaların Kullanılma Nedenleri

Problemlerin maksimizasyonunda, minimizasyonunda, en iyileme veya optimizasyonunda öncelikle niçin diğer yöntemlerin kullanılmadığı belirtilmelidir.

Genelde bu problemlerin çözümünde;

- a. Türev ve integral hesap,
- b. Numaralama yöntemleri,
- c. Rastgele arama yöntemleri gibi üç tip temel çözüm yönteminden yararlanılır.

Türev ve integral hesaba dayanan hesaplama yöntemleri çok yoğun kullanılmıştır. Bu yöntemler fonksiyonun 1.mertebe türevini sıfır yapan köklerinin fonksiyona en küçük ve en büyük değer veren noktalar olmasına dayanır. Gerçek problemler için bu noktaları bulmak çok daha ayrı bir problemdir. Bilinen diğer bir yöntem ise, alınan bir başlangıç noktasından yukarı yönde ilerleyerek en iyi sonucu bulmayı hedefler [74].

Genetik algoritmalar, klasik yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işlemleri kısa bir zamanda çok net olmasa da yeterli bir doğrulukla yapabilir [75].

4.3. Genetik Algoritma Ve Optimizasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Genetik algoritmaların geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları vardır. Bu farklılıklardan ilki parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanmalarıdır. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar.

Diğer farklılık ise çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını taramasıdır. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar.

Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan popülasyonu, eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır. Ayrıca genetik algoritmalar, büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümünde iyi sonuç verirler ve çeşitli optimizasyon probleminin çözümünde de kullanılabilirler.

Shaffer (1998) bütün bu avantajlarına karşılık GA'nın şu dezavantajlara sahip olduğunu da belirtmiştir [76].

- a. Çok fazla uyum fonksiyonu hesaplaması gerektirir,
- b. Global olarak tam optimum noktanın saptanmasında problem yaşanmaktadır,
- c. Kullanılan konfigürasyon genel değil, probleme özgü bir yapı taşımaktadır,
- d. Nesiller arasında iyi özelliklerin kaybolma ihtimali vardır.

Genetik algoritmayı diğer arama tekniklerinden farklı kılan özellikler şu şekilde özetlenebilir.

- a. Genetik algoritma, parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmez, parametre setlerinin kodları ile ilgilenir,
- b. Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya popülasyonun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda arama yapmaz,
- c. Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörleri kullanılmaz,
- d. Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz [77].

4.4. Genetik Algoritmada Kullanılan Temel Kavramlar

Genetik algoritma içerisinde kullanılan önemli bazı kavramlar aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

- a. Kromozom: Bir ya da birden fazla gen yapısının bir araya gelerek oluşturduğu, problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom denir. Her bir kromozom bir çözümü temsil eder.

b. Gen: Kromozom içindeki genetik bilgi taşıyan her bir elemana gen adı verilir. GA'nın kullanıldığı programlama yapısında bu gen yapıları programcının tanımlamasına bağlı olarak ikili tabanda, onluk tabanda veya on altılık tabanda olabilir. Dolayısıyla yazılan programa göre gen içeriği önem kazanmaktadır.

c. Popülasyon (Yığın, Kütle): Popülasyon, genetik bilgilerden oluşan genlerin birleşmesiyle meydana gelen kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm yığınının popülasyon denir. Çaprazlama ve mutasyon işlemleri sırasında bu popülasyon kümesinden bir takım kromozomlar yok olmakta ve yerlerine yeni kromozom yapıları eklenerek popülasyon büyüklüğü sabitlenmektedir. Sabit olan bu sayı programcı tarafından belirlenmektedir.

Popülasyon büyüklüğü, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom yığını problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıdaki popülasyon çözüm değerlerine ulaşamamasına ya da sistemin belirli çözüm uzayında takılıp iyileşememesine neden olabilir. Dolayısıyla popülasyon büyüklüğü programcı tarafından iyi belirlenmelidir.

d. Uygunluk değeri: Kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Hangi kromozomların bir sonraki nesile taşınacağı ve hangi kromozomların yok olacağı uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre karar verilir. Uygunluk değeri, popülasyondaki dizilerin bir değerlendirme işlevi yardımıyla hesaplanır. GA'da kullanılan değerlendirme işlevi problemin amaç işlevini oluşturur [78].

e. Seçim (Seleksiyon): Bir popülasyondaki çözümlerden kötü olanların atılması işlemine seçim denir.

f. Kopyalama (Reproduction): Seçim sonrası kalan çözümler popülasyondan eksilen kötü çözümlerin yarattığı boşluğu dolduracak şekilde çoğaltılır. Böylece popülasyon sayısı sabit tutulur.

g. Çaprazlama (Crossover): Oluşturulan popülasyondaki kromozomların kendi aralarında bilgi alışverişi yapmaları halinde daha iyi çözümlere erişilebileceği varsayılır. Bu bilgi alışverişini gerçekleştirmek üzere kromozomlar üzerinde gerçekleştirilen işleme çaprazlama (Crossover) işlemi denir. Bu işleme popülasyondaki tüm kromozomlar katılır veya belirli bir oranda katılım sağlanır. Çaprazlama oranı genellikle %60 olarak alınmaktadır. (Yani 50 çözümlük bir popülasyon var ise 30 kromozom çaprazlama işlemine tabi tutulur.) Ancak literatürde bu oranın %50 - %95 oranında uygulandığı görülmüştür. Çaprazlamada Mendel'in genetik çalışmalarını esas alır.

Kısa bir örnekle çaprazlama anlatılacak olursa ailede yer alan eski kromozomlar Şekil 4.1'deki gibi olursa;

:

Kromozom 1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
Kromozom 2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0

Şekil 4.1. Tek noktada çaprazlama örneğinde eski kromozomlar

Eski kromozomlara üçüncü genlerden sonra tek noktada çaprazlamadan sonra oluşacak yeni nesil kromozomlar Şekil 4.2'deki gibi oluşmaktadır.

Yeni Kromozom 1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
Yeni Kromozom 2	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0

Şekil 4.2. Tek noktada çaprazlama örneğinde yeni kromozomlar

Çaprazlamanın ardından amaç fonksiyonuna yakınsayan, uygunluk değeri yüksek yeni kromozomlar elde edilmektedir.

h. Mutasyon: Bir popülasyon aranan eniyi çözümün taşıdığı tüm özellikleri içermiyor olabilir. Popülasyonda yer almayan iyi özelliklerin popülasyonda kazandırılabilmesi için uygulanan işleme mutasyon denir. Mutasyon sadece tek kromozom işlemidir. Kromozomun yapısını az ya da çok değiştirir. Mutasyonda da Mendel'in genetik çalışmalarını esas alır.

Yine kısa bir örnekle çaprazlama anlatılacak olursa tek noktalı çaprazlamadan sonra edilen yeni kromozomun beşinci genine tek noktada mutasyon uygulandığında mutasyonlu yeni kromozom Şekil 4.3'deki gibi oluşmaktadır.

Yeni Kromozom 1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
Mutasyonlu Yeni Kromozom	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0

Şekil 4.3. Mutasyon sonrası oluşan kromozomlar

4.5. Genetik Algoritma Adımları

Genelde genetik algoritma Michalewicz'in özetlediği beş temel parçadan oluşmaktadır.

1. Problem çözümünün genetik gösterimi
2. Çözümün başlangıç popülasyonunu oluşturma
3. Uyumluluklarına bağlı olarak sonuçları sıralama
4. Yeni nesillerin üretilmesinde genetik operatörlerin oluşturulması
5. Genetik algoritmaların parametreleri için değer oluşturma [79].

Genetik algoritma çözümlerinde öncelikle ele alınan problem için bir rastgele n kromozomlu popülasyon oluşturulur. Daha sonra popülasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Genetik algoritmaların yeni popülasyon oluşuncaya kadar tekrar eden adımları genel hatları ile şu şekilde açıklanabilir.

- a. Başlatma adımı: İlk olarak arama uzayındaki tüm mümkün çözümler bir dizi olarak kodlanır. Daha sonra bu arama uzayından rastsal bir çözüm kümesi seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir.
- b. Uygunluk değerinin hesaplanması adımı: Her bir dizi için bir uygunluk değeri ($f(x)$, fitness fonksiyonu) hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini göstermektedir.
- c. Seçim adımı: Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.

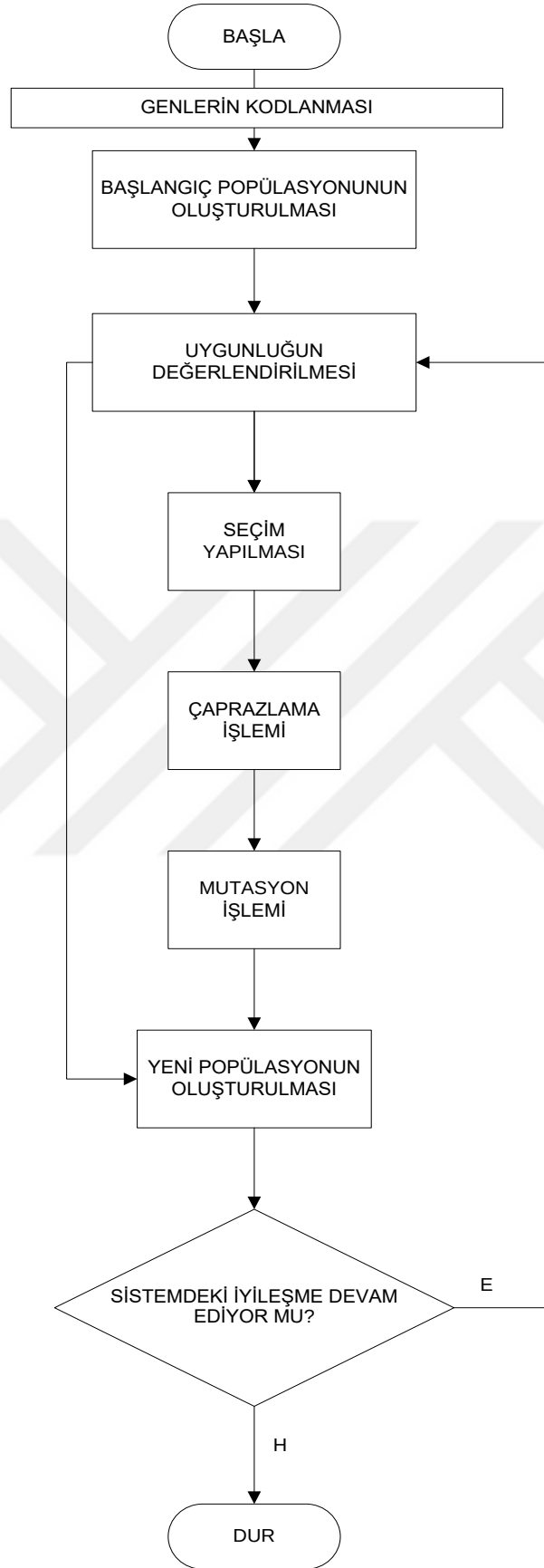
d. Çaprazlama adımı: Uyum değerini en iyi yansıtan kromozomlar seçilip çaprazlama oranına göre çaprazlama işlemi uygulanır. Aksi takdirde uyum değeri aynı olan kromozomlar elde edilir.

e. Mutasyon adımı: Elde edilen tüm kromozomlardan mutasyon oranına göre kromozom seçilip, bu kromozom içinden bazı dizilerin yerlerinin değiştirilmesiyle mutasyon işlemi uygulanır.

f. Kabul adımı: Oluşturulan yeni bireyler yardımıyla yeniden bir popülasyon oluşturulur.

g. Test adımı: Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir. İterasyon, belirlenen kuşak sayısına ulaşınca veya önceden belirlenen iyileşme süreci (belirli bir süre maksimum ya da minimum değerinde sabit kalma süresi) tamamlanınca işlem sona erdirilir. Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir.

Genetik algoritmaların genel akış şeması Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Genetik algoritmaların genel akış şeması

4.6. Kodlama

Genetik algoritma yönteminde öncelikle genler kodlanmalıdır. Bunun için bağımsız parametreler kendileri yerine onları temsil eden seriler kullanılmaktadır. Kısaca kodlama, ayrı ayrı genleri simgeleme işlemidir. Genetik algoritmaların performansı kodlama işleminin başarısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Literatürde en çok kullanılan farklı kodlama biçimleri aşağıda sıralanmıştır:

4.6.1. İkili kodlama

Genetik algortmada kodlama yapılırken en çok tercih edilen kodlama biçimi ikili kodlamadır. İkili kodlamada her bir kromozom ikili (binary) olarak kodlanır. Genler sadece 0 ve 1 değerini almaktadır. Şekil 4.5’de ikili kodlamaya örnek verilmiştir.

Kromozom 1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
Kromozom 2	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0

Şekil 4.5. İkili kodlama örneği

Literatürde ikili kodlama çok sık kullanılan bir kodlama tipi olmasına rağmen bazı sakıncaları da bulunmaktadır. İlki çok değişkenli bir fonksiyon optimizasyonu için değişkenlerin alt ve üst sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizinin çok uzun olmasıdır. Diğeri ise gezgin satıcı, çizelgeleme, karesel atama gibi optimizasyon problemlerinde ikili düzende kodlama arama uzayını tam olarak temsil edememesidir

4.6.2. Sekizli kodlama

Sekize kadar olan sayılardan (0-7) oluşturulan dizileri kullanan kodlama türüdür. Sekizli kodlamanın kullanım biçimi Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

Kromozom 1	0	5	3	4	6	1	2	5	6	6	7	0
Kromozom 2	2	3	4	4	5	2	6	7	0	1	5	0

Şekil 4.6. Sekizli kodlama örneği

4.6.3. Hekzadesimal kodlama

Hekzadesimal kodlama biçiminde 10'a kadar olan rakamlar ve ilk altı harften oluşturulan diziler (0-9, A-F) kullanılır. Gösterim biçimi Şekil 4.7'deki gibidir.

Kromozom 1	0	A	3	9	6	C	2	5	8	D	7	0
Kromozom 2	E	9	7	4	9	B	6	7	0	8	5	F

Şekil 4.7. Hekzadesimal kodlama

4.6.4. Değer kodlama

Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde doğrudan değer kodlama kullanılabilir. İkili kodlamanın bu tip problemler için kullanılması problemlerin zorlaşmasına neden olacaktır. Probleme özgü genetik operatörlerin kullanılması gerektiği durumlarda; problem ile bağlantılı rakamlar, reel sayılar veya probleme özgü bazı özel karakterler vb. ile kodlama yapılır. Değer kodlama ile kodlanmış kromozom örnekleri Şekil 4.8'de görülmektedir.

Kromozom 1	1.2324	5.3243	0.4556	2.3293	2.4545
Kromozom 2	(geri)	(ileri)	(geri)	(sol)	(sağ)

Şekil 4.8. . Değer kodlama örneği

Değer kodlama bazı özel problemler için iyi bir seçimdir. Ancak, bu tip kodlamada probleme özgü yeni çaprazlama ve mutasyon yöntemleri geliştirmek gereklidir. Örnek olarak bir sinir ağı için ağırlıkları bulma problemini verebiliriz. Sinir ağından beklenen değeri almak için sinir ağındaki sinirler arasındaki ağırlıklar istenmektedir.

Kodlama yapılırken kromozomlardaki gerçek değerler sinir ağındaki ağırlıkları temsil etmektedir. Çaprazlama işleminde ise ikili kodlamadaki tüm çaprazlamalar kullanılabilir. Mutasyon yaparken de gerçek sayı kodlamalar için küçük bir sayı eklenmesi veya çıkarılması yapılabilir (Şekil 4.9).

Mutasyon öncesi	1.29	5.68	2.86	4.11	5.55
Mutasyon sonrası	1.29	5.68	2.73	4.22	5.55

Şekil 4.9. Değer kodlamada mutasyon örneği

4.7. Genetik Algoritma Operatörleri

Genetik algoritmalar doğal seçim ilkesine dayanan bir sayısal optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma, çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesliyle, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal seçim operatörlerini kullanmaktadır. [80]

Farklı uygulamalarda farklı operatörler kullanılmakla birlikte genelde üç standart operatör kullanılmaktadır. Bu operatörler:

1. Yeniden Üretim Operatörü
2. Çaprazlama Operatörü
3. Mutasyon Operatörü

4.7.1. Yeniden üretim operatörü

Yeniden üretim operatörünü iki aşamada inceleyebiliriz.

1. Nesil üretimi

Genetik algoritma ile problem çözülmeye karar verildiğinde öncelikle yapılacak işlem başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Popülasyon oluşturulurken genellikle rassal seçim uygulanmaktadır ancak bazı kısıtlara sahip problemlerde bu uygun olmayan çözümlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durumu engellemek için ise probleme en uygun sezgisel yöntemler kullanılarak çözüm yapılır.

2. Kararlı durum üretimi

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra algoritmanın işleyişini sağlamak için yeni bireyler oluşturulması gerekmektedir. Uyum değeri yüksek olan bireyler sonraki nesillere aktarılacak üzere daha fazla oranlara sahip olmak üzere tüm bireyler

üremeye katılır. Yeniden üretim sonucunda elde edilen ara nesil, çaprazlama ve mutasyon genetik operatörleri kullanılarak yeni nesil elde etmede kullanılır.

Mevcut bir popülasyondan bireylerin seçilerek izleyen popülasyonda yer almaları için geliştirilmiş bir çok yöntem vardır. Bireylerin seçimi için kullanılan en yaygın operatörler; orantılı yeniden üretim mekanizması, sıralı yeniden üretim mekanizması, turnuva yeniden üretim mekanizması, denge durum yeniden üretim mekanizmasıdır. Bunlardan en yaygın kullanılanlardan ikisi ise rulet seçim yöntemi ve turnuva seçim yöntemidir.

a. Rulet seçimi yöntemi

Rulet seçimi ilk defa Holland tarafından ortaya çıkarılan, uyum değerinin daha yüksek olduğu kromozomların izleyen popülasyonuna seçilmesini bir olasılık değeri ile ilişkilendiren yaklaşımdır. Seçim işleminde en önemli bilgi uyum değerleri olup, uyum fonksiyonu her zaman doğrudan amaç fonksiyonu değeri olmaz. Rulet her bir kromozomun uyum değerinin onun izleyen popülasyonda hangi oranda temsil edilmesinin daha uygun olacağını belirten görsel bir araçtır. Esasen yapılan bir Monte Carlo benzetimidir.

Rulet seçiminin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir: Tüm bireylerin uygunluk değerleri bir çizelgede yazılır ve bu değerler toplanır. Bireylerin uygunluk değerleri toplama bölünerek (0,1) aralığında sayılar elde edilir ve sayıların hepsi bir çizelgede toplanır. Çizelgedeki sayılar birbirine eklenerek rastgele olarak bir sayıya kadar ilerlenir ve bu sayıya ulaşıldığında son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmiş olur.

Bu metot ortalama güçlü bir seçim tekniğidir, çünkü uygun bireylerin seçilme garantisi yoktur ancak seçilme olasılıkları yüksektir.

b. Turnuva seçim yöntemi

Turnuva seçim yönteminde yerine koyarak ya da koymadan rastgele t adet birey seçilir ve bu büyüklüğe turnuva genişliği adı verilir. Bu gruptaki en iyi birey yani uyum değeri en iyi olan birey, yeni popülasyona kopyalanma şansı yakalar.

Genellikle 2 veya 3 birey seçilir. Yani turnuva büyüklüğü parametresi yaygın olarak 2 veya 3'tür. Bu parametre 2'den küçük ve popülasyon büyüklüğünden büyük olamaz. Eğer turnuva büyüklüğü popülasyon büyüklüğüne eşit ise izleyen popülasyonun tamamı en iyi kromozomun kopyalarından ibaret demektir. Bu işlem kullanıcı tarafından önceden kararlaştırılan çevrim sayısı kadar tekrarlanır.

4.7.2. Çaprazlama operatörü

İki dizinin bir araya gelerek karşılıklı gen yapılarının değişimi ile yeni dizilerin oluşumunu sağlayan operatördür. Çaprazlama yapılmadan önce belirlenecek çaprazlama oranına göre operatör çalıştırılır ve kromozomlar arasında bilgi alış verişi yapılmış olur. Çaprazlama oranı genelde % 60 olarak alınsa da literatürde bu oranın %50 - %95 oranında uygulandığı görülmektedir.

Çaprazlamada ne tür bir çaprazlamanın yapılacağı da diğer önemli unsurdur. Örneğin, eş kromozom seçiminde ilk olarak en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom seçilirken, ikinci kromozom rastgele olarak seçilebilir. Bir yığına çaprazlama operatörü olasılık ile uygulanır.

Literatürde uygulanan birçok çaprazlama operatörü bulunmaktadır. Çalışma kapsamında tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama ve uniform çaprazlama operatörleri incelenecektir.

a. Tek noktalı çaprazlama operatörü

Geleneksel olarak genetik algoritmalar tek noktalı çaprazlamayı kullanmaktadır. Literatürde tek noktalı çaprazlama 'basit çaprazlama' olarak adlandırılmaktadır. Bu operatörde çaprazlama noktası, N kadar gene sahip olan iki kromozom için 1 ile N arasında rastgele seçilir. Eğer uygun bir nokta seçilmiş ise iyi ebeveynleri eşleyerek daha iyi çocuklar elde edilebilir. Aksi durumda ise dizinin kalitesi oldukça kötü etkilenecektir.

Elenen iki kromozomda, bu çaprazlama noktasından sonraki bölümler yer değiştirilerek iki tane yeni birey elde edilir.

Kromozom 1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
Kromozom 2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0

Şekil 4.10. Tek noktalı çaprazlama operatörü eski kromozomlar

Eski kromozomlara üçüncü genlerden sonra tek noktada çaprazlama uygulanırsa (Şekil 4.10) oluşacak yeni nesil kromozomlar Şekil 4.11’deki gibi oluşmaktadır.

Yeni Kromozom 1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0
Yeni Kromozom 2	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0

Şekil 4.11. Tek noktalı çaprazlama operatörü yeni kromozomlar

b. İki noktalı çaprazlama operatörü

Bu operatörde kromozomlar üzerinde 1 ile N arasında rastgele iki çaprazlama noktası seçilir (Şekil 4.12). Eşlenen iki dizide, bu çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler birbiriyle yer değiştirerek iki tane yeni birey elde edilir.

Kromozom 1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
Kromozom 2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0

Şekil 4.12. İki noktalı çaprazlama operatörü eski kromozomlar

Eski kromozomlara beşinci ve sekizinci genler arasında iki noktada çaprazlama uygulanırsa oluşacak yeni nesil kromozomlar Şekil 4.13’deki gibi oluşmaktadır.

Yeni Kromozom 1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
Yeni Kromozom 2	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1

Şekil 4.13. İki noktalı çaprazlama operatörü yeni kromozomlar

Tek noktalı çaprazlamada dizinin baş ve kuyruk ya da son kısmı birlikte yeni kromozoma kopyalanamaz. Hem baş hem de kuyruk kısmı iyi genetik bilgi içeriyor ise bu bilgi tek noktalı çaprazlama ile kromozoma aktarılamaz. İki noktalı çaprazlama bu problemi ortadan kaldırır ve genellikle tek noktalı çaprazlamaya göre daha iyi sonuçlar verir. [81]

c. Uniform çaprazlama operatörü

Uniform çaprazlama n noktalı çaprazlamadan oldukça farklıdır. Döl üzerindeki her bir gen, kromozomlarla aynı uzunlukta ve tesadüfî oluşturulan ikili bir çaprazlama maskesine göre seçilen ebeveynden gelir. Çaprazlama maskesinde 1 olduğu yerde gen ilk ebeveynden, 0 olduğu yerde ise ikinci ebeveynden kopyalanır. Her bir ebeveyn çifti için yeni bir çaprazlama maskesi rassal olarak oluşturulur. Bundan dolayı, döllere her bir ebeveynden gelen bir gen karışımını taşır. Uniform çaprazlama biçimi aşağıdaki Şekil 4.14’de gösterilmektedir. Örnekte ilk çocuk üretiminde maskede 1 olduğunda gen birinci ebeveynden seçilmiş, ikinci çocukta ise tersi uygulanmıştır [82].

Kromozom 1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
Kromozom 2	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
Çaprazlama Maskesi	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1
Yeni kromozom	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1

Şekil 4.14. Uniform çaprazlama operatörü

4.7.3. Mutasyon operatörü

Mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip operatörlere mutasyon operatörleri denir.

Mutasyonun amacı; küçük bir olasılıkla bir dizideki bir veya birkaç değeri rassal olarak değiştirerek yeni dizilerin ya da arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesine çalışmaktır.

Mutasyon popülasyonun genetik aloritmadaki faydası lokal en iyiye takılmaktan uzak tutmasıdır. Tesadüfî işlemlerle kaybedilen genetik bilgiler gibi kayıp genetik materyalin geri kazanılmasında rol alır. Aynı zamanda genetik materyalin geri dönülemez kaybını da engellemektedir. Çalışma kapsamında döndürme ve değiş-tokuş mutasyon operatörleri açıklanmıştır.

a. Döndürme mutasyon operatörü

Bir geni döndürme, 0 ve 1 rakamlarından rassal olarak oluşturulan bir mutasyon kromozomuna göre 0'ı 1'e ve 1'i 0'a çevirme işlemidir.

İlk olarak bir ebeveyn seçilir ve tesadüfî olarak bir mutasyon kromozomu oluşturulur. Mutasyon kromozomundaki sadece 1'e tekabül eden gen '0' ise '1'e; '1' ise 0'a çevrilerek yeni birey oluşturulur. Mutasyon kromozomunda 0 olan genlere tekabül eden ebeveyn bitleri yeni bireye dönüştürülmeden aynen kopyalanır (Şekil 4.15).

Eski Kromozom	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
Mutasyon Kromozom	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
Yeni Kromozom	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0

Şekil 4.15. Döndürme mutasyon operatörü

b. Değiş tokuş mutasyon operatörü

Dizi üzerinde rastsal olarak iki farklı nokta belirlenip bu noktalardaki genlerin değiş tokuş edilmesiyle yeni nesil kromozom üretilmesini sağlayan operatördür (Şekil 4.16).

Eski Kromozom	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
Yeni Kromozom	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0

Şekil 4.16. Değiş tokuş mutasyon operatörü

4.8. Genetik Algoritmanın Durma Kriterleri

Genetik algoritma prensip olarak sonsuza kadar çalışır. Bunun için pratikte bir sonlandırma kriteri gerekmektedir. Literatürde genetik algoritmalar için farklı tamamlanma kriterleri uygulanmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Problemin en iyi çözüm değeri biliniyor ise o değere eriştiği veya yeteri kadar yakınsadığı zaman,
- Sabit bir iterasyon sayısı veya çözüm süresine erişildiğinde zaman,

c. Belirli bir iterasyon süresince hiçbir iyileşme gözlenmediği zaman.

4.9. Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları

Genetik algoritma geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok genel anlamda genetik algoritmanın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir.

Bu bağlamda genetik algoritmalar işletmelerin çoğu iyileştirme aşamasında uygulanabilecek bir eniyileme aracı olarak görülebilmektedir. Nitekim gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi, çinli postacı problemi, iş atölyesi çizelgeleme problemi, atama problemi, yerleşim tasarımı problemi, makine tasarım problemi ve sırt çantası problemi gibi optimizasyon problemlerinde; bilgisayar çipleri tasarımı, ders programı hazırlanması ve ağların çizelgelenmesi gibi otomatik programlama ve bilgi sistemleri problemlerinde; sınıflama sistemi, sinir ağları ve proteinin yapısal analizi gibi mekanik öğrenme problemlerinde; fiyat verme stratejilerinin gelişim süreçlerini ve kazanç getiren pazarların ortaya çıkış süreçlerini modelleme alanlarında, sembolik sistem tanımlama, kara kutu, veri madenciliği ve modelleme gibi ekonomik ve sosyal sistem modelleri problemlerinde; finans alanında hisse senedi fiyatlarındaki değişim kalıplarını tahmin etmede ve bulmada, kaynak tahsisi ve uluslararası sermaye tahsisi stratejilerini belirlemede, portföy optimizasyonu, endeks izleme, işlem maliyetleri ve risk tercihleri kısıtlarının da katıldığı çok dönemli portföy yönetim sistemlerinin kurulması, yine minimum işlem lotlu portföy seçimi, daha yüksek getiriler elde etmek için piyasalardaki ticari kuralları geliştirmede, müşterilerinin kredi değerliliğini ölçmede, yatırım araçlarının performansını belirlemede, işletmedeki mali kayıpların araştırılmasında, finansal opsiyonların geliştirilmesinde kullanılan veri madenciliğinde, müşteri kredi değerliliğini ölçme, kredi kartı puanlama, piyasalar ile ilgili tahminleri ve şirketlerdeki iflas tahminlerini yapmada; pazarlama alanında veri madenciliğinde; üretim/işlemler alanında üretim hattı dengelemede, çizelgelemede, tesis yerleşiminde, atamada, sistem güvenilirliğinde, taşımada, gezgin satıcıda, araç rotalamada, minimum yayılan ağa; askeri ve sosyal alanda plaka yeri belirlemede,

makale yerleştirmede, ameliyathane ve sağlık çalışanı çizelgelemede, ders programı hazırlamada, insansız hava aracı veya kent içi otobüs rotası belirlemede, deniz savaşında filo konuşlandırma problemi ve akaryakıt tüketimi simülasyonda, asansör grup kontrolünde, çatı makaslarının farklı yüklemeler altında optimum tasarımlarında, giyontinsiz kesme probleminde kullanılmaktadır.

4.10. Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Etmenler

Genetik algoritmaların performansını etkileyen etmenler kısaca söyle özetlenebilir: [83].

- a. Kromozom sayısı: Kromozom sayısını artırmak çalışma zamanını arttırırken, azaltmak da kromozom çeşitliliğini yok eder.
- b. Mutasyon oranı: Kromozomlar birbirlerine benzemeye başladığında, çözüm hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulması için tek yoldur. Ancak yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacaktır.
- c. Çaprazlama eşidi: Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan çalışmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir. Çaprazlama sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği, elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılamayacağı bazen önemli olmaktadır.
- d. Nesillerin oluşturulması: Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesle bağlı olarak oluşturulur. Bazı durumlarda yeni nesli, eski nesille birlikte; yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile oluşurmak yararlı olabilir.
- e. Parametrelerin kodlaması: Kodlamanın nasıl yapıldığı en önemli noktalardan biridir. rnek vermek gerekirse kimi zaman bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilir.

f. Kodlama gösterimi: Bu da nasıl olduğu yeterince açık olmamakla beraber genetik algoritmaların performansını etkileyen bir noktadır. İkili düzen, kayan nokta aritmetiği ya da Gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.

g. Başarı değerlendirmesi: Uygun yazılmamış bir değerlendirme işlevi çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşılmamasına da neden olabilir.



BÖLÜM 5. UYGULAMA

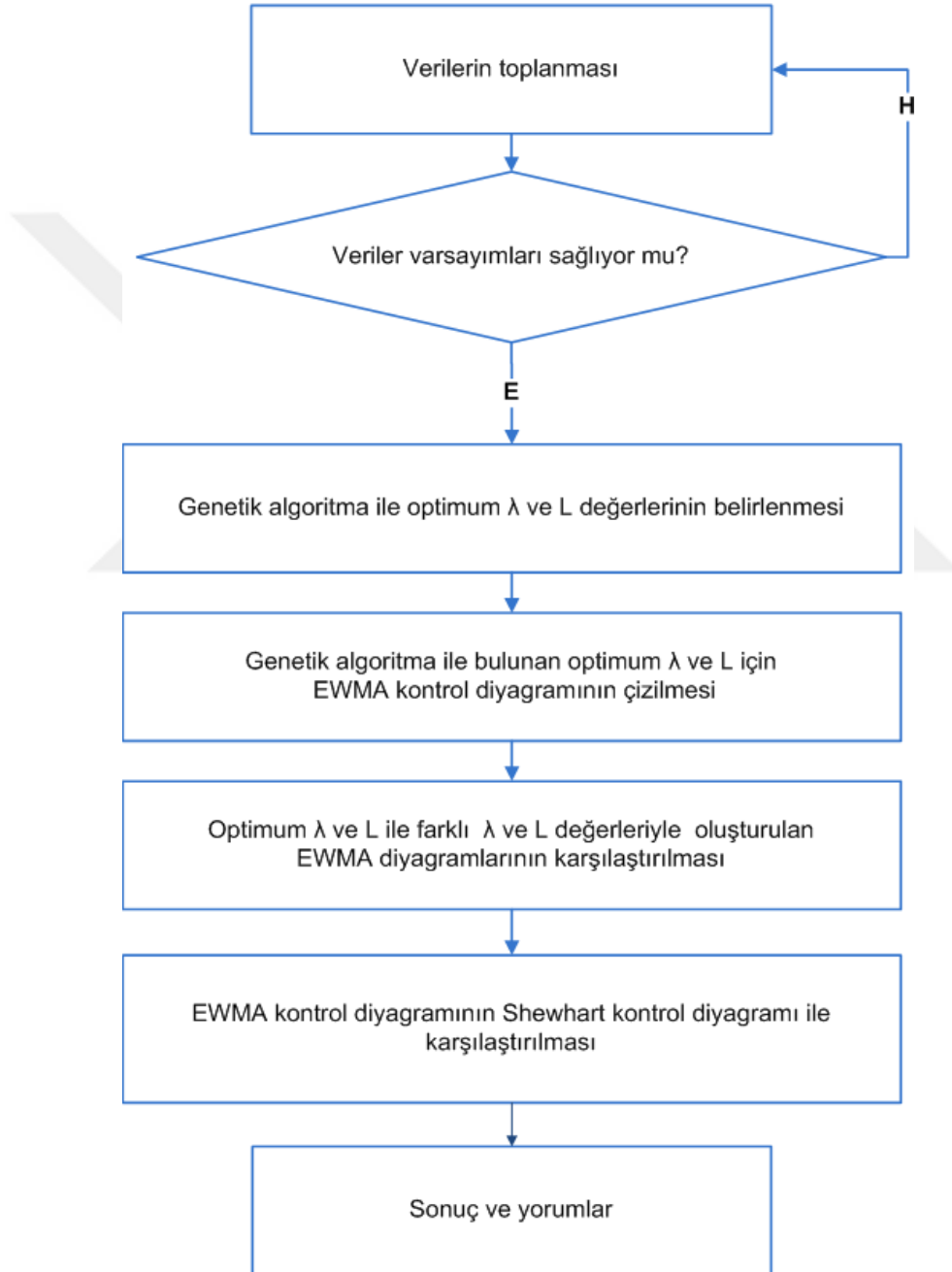
Tez kapsamında EWMA kontrol grafiği ile kalite kontrolü yapılan veriler için ARL hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama yapılırken ARL'nin parametreleri olan λ ve L 'nin optimum değerleri genetik algoritma ile bulunmuş, böylece EWMA grafiğinin performansı artırılıp, küçük kaymalar için bile hassasiyet esas alan grafikler oluşturmak amaçlanmıştır.

Veriler için EWMA grafiğinin uygunluğu belirlendikten sonra grafikten en iyi performansı alabilmek için optimum ARL_0 değeri bulunmalıdır. Literatürde EWMA'nın performans göstergesi olan ARL değeri farklı şekillerde belirlenmiştir. Bunlardan en çok kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir:

1. Crowder'in yönteminde belirli bir ARL değeri belirlenip buna uygun λ ve L değerleri seçilmiştir. EWMA üzerinde çalışan pek çok kişi bu tablolardan yararlanmıştır. Yöntemin dezavantajı ise sadece 100, 200 ve 370'lik ortalama çalışma süresi için şablon grafikler oluşturulmasıdır.
2. EWMA grafiği 1,5 standart sapma ve altındaki kaymalara karşı hassas bir grafikdir ancak bu hassasiyet uygun λ ve L kombinasyonlarının belirlenmesi ile mümkündür. İkinci yöntemde ise belirli bir λ ve L belirlenip ARL sayısal işlemlerin zor olduğu formül yardımıyla hesaplanır. Bu da asıl amacı en küçük sapmalara karşı duyarlılık olan EWMA'nın genel ilkesine aykırı bir seçimdir. Aynı zamanda kullanılan işlemlerin zorluğu zaman ve vakit kaybına neden olmaktadır.
3. Üçüncü yöntem ise ARL'nin markov zinciri ile çözülmesidir. Bu yöntem de sayısal işlemlerin zorluğu nedeniyle tercih edilmemektedir.

Çalışma kapsamında ise öncelikle optimum λ ve L değerleri genetik algoritma yardımıyla bulunmuş böylece en iyi değeri alan veya bu değere yakınsayan ARL değeri hesaplanmıştır. Ayrıca Crowder ve diğer yöntemlerin aksine, sadece belirli ARL_0 değeri için değil tüm değerler için ARL_0 hesaplanabilir hale gelmiştir.

Çalışmanın akış şeması Şekil 5.1’de özetlenmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama akış şeması

Çalışmanın yapıldığı işletme, Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyette bulunup toplam 5 beyaz yaka olmak üzere 44 çalışana sahiptir. Söz konusu şirkette; mangal ızgaraları, fırın içi ızgaralar, mutfak aksesuarları, radyan telleri, hasır, ocak üstü ızgara, kesilmiş tel ve kangal üretimi yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan kalite karakteristiği ızgara tellerinin uzunluğu olarak belirlenmiştir.

Tezin aşamaları; verilerin toplanması, verilere ait varsayımların yapılması, genetik algoritma ile optimum λ ve L değerlerinin bulunması, farklı parametre değerlerine sahip EWMA grafiği ile karşılaştırma yapılması ve EWMA grafiğinin Shewhart grafikleri ile karşılaştırılması gibi alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

5.1. Verilerin Toplanması

Analizi yapılan veriler, bir tel ve tel mamülleri fabrikasının tel kesme bölümünde, malzeme olarak kullanılan tellerin boylarına ait ölçümlerdir. Veriler, üretim sürecinden 2013 yılında 3 ay boyunca düzenli periyotlarla alınmış n=5 hacimli 100 adet günlük değerden oluşmaktadır.

Tablo 5.1'de üstel ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafiği çiziminde kullanılacak olan ızgara boylarına ait ölçüm verileri santimetre cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.1. Izgara boylarına ait ölçüm verileri

Örnek No	Ölçüm Değeri	Örnek No	Ölçüm Değeri	Örnek No	Ölçüm Değeri	Örnek No	Ölçüm Değeri
1	28,72	26	27,31	51	27,18	76	28,27
2	28,97	27	29,08	52	28,17	77	27,95
3	28,33	28	28,28	53	28,38	78	27,68
4	28,46	29	28,96	54	27,56	79	27,92
5	28,98	30	27,48	55	28,93	80	27,99
6	27,72	31	28,47	56	28,9	81	28,03
7	27,49	32	29,79	57	29,38	82	28,14
8	27,89	33	28,69	58	28,24	83	28,66
9	28,26	34	28,42	59	28,29	84	28,05
10	27,52	35	29,06	60	28,17	85	29,41
11	28,4	36	28,9	61	27,86	86	28,24
12	27,22	37	29,75	62	28,8	87	27,24

Tablo 5.1. Izgara boylarına ait ölçüm verileri (devamı)

13	29,02	38	28,5	63	28,18	88	27,55
14	28,44	39	28,94	64	27,88	89	27,74
15	28,31	40	28,3	65	28,56	90	28,25
16	28,17	41	27,96	66	28,47	91	27,83
17	28,49	42	28,06	67	27,02	92	28,07
18	28,45	43	28,33	68	28,34	93	27,72
19	28,09	44	27,35	69	28,28	94	27,88
20	28,47	45	28,6	70	28,12	95	27,9
21	28,94	46	28,91	71	27,7	96	27,69
22	29,24	47	28,51	72	28,14	97	28,77
23	28,51	48	29,12	73	28,46	98	27,65
24	27,89	49	28,96	74	28,17	99	27,47
25	28,08	50	28,48	75	27,52	100	28,46

5.2. Verilere Ait Varsayımların Yapılması

Uygulamada EWMA kontrol grafiğinin kullanılabilmesi için iki temel varsayıma bakılmaktadır. Tez kapsamında bu varsayımların kontrolü için SPSS 21 programı kullanılmıştır. Çalışma sırasında kullanılan SPSS verileri ve varsayımların SPSS programı çıktıları EK 2 olarak CD'ye aktarılmıştır.

Çalışma kapsamında ilk olarak verilerin normal dağılıma uyup uymadığına bakılır. Bunun için kullanılan hipotezler;

H_0 : Veriler normal dağılıma sahip bir ana kütleden gelmektedir.

H_1 : Verilerin dağılımı normale uymamaktadır.

SPSS programında normal dağılıma bakmak için Analyze – Nonparametrik Test – One Sample sekmeleri kullanılarak Kolmogorov-Smirnov testi seçilip normal dağılım işaretlenir. Çalışmada örnek sayısı 50'den büyük olduğu için ($n=100 > 50$) Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Sonuçlar yorumlanırken test istatistiği 0,05'den küçük olursa H_0 reddedilirken; p değeri 0,05'den büyük olursa H_0 kabul edilir. Uygulamada ilgili test istatistiğinin 0,05'ten büyük olduğu için normal dağılıma uyduğuna karar verilmiştir.

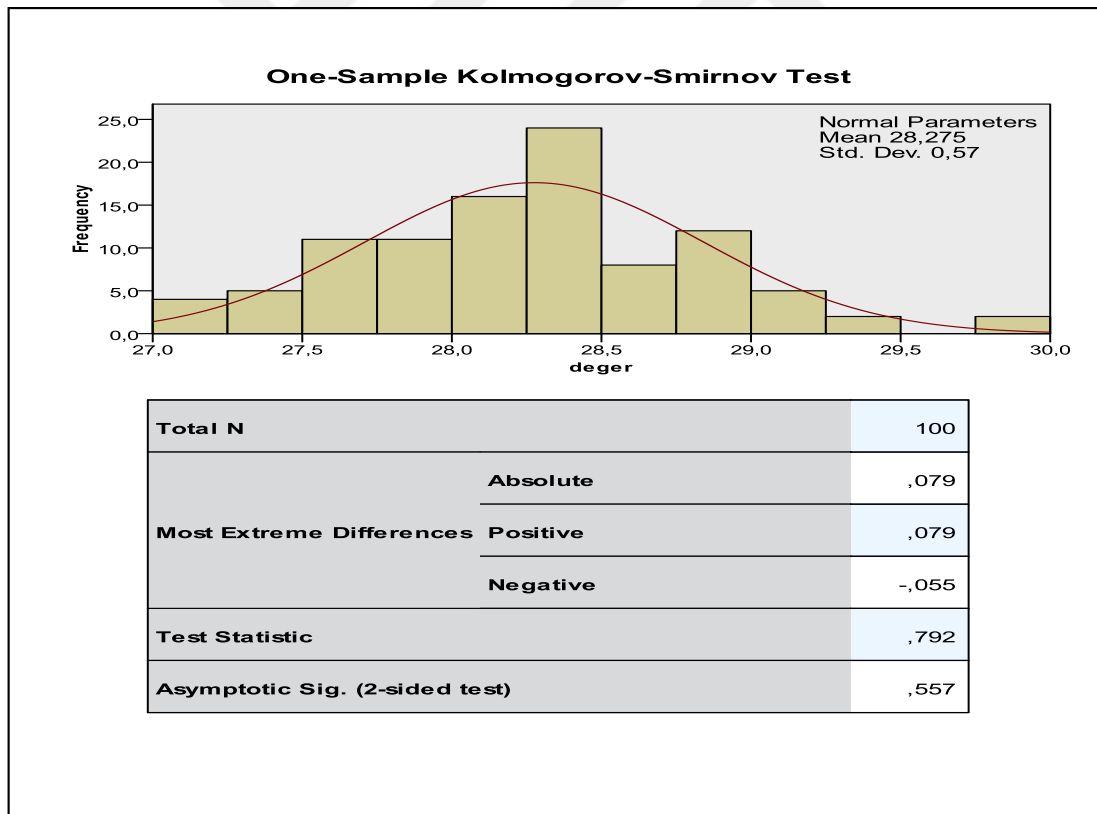
Hypothesis Test Summary			
	Null Hypothesis	Test	Sig. Decision
1	The distribution of deger is normal with mean 28,275 and standard deviation 0,57.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	,557 Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Şekil 5.2. Verilere ait hipotez testi sonucu

Şekil 5.2’de de görüldüğü üzere kalite karakteristiği ortalaması 28,25 ve standart sapması 0,57 olan normal dağılıma uygun verilerden oluşmuştur.

Şekil 5.3.’de ise gözlem değerlerinin tek örneklem Kolmogorov Smirnov testine göre normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ilk varsayım gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Kolmogorov - Smirnov testi sonuçları

İkinci varsayım ise gözlem değerlerinin otokorelasyonsuz olmasıdır. EWMA kontrol grafiğinde istenilen durum, verilerin birbirlerini etkilememesidir. Veriler arasında

otokorelasyon olması halinde, grafiklerde birtakım düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Otokorelasyon varlığının tespiti için yine SPSS 21 programından yararlanılır. Otokorelasyonun saptanmasında kullanılan en önemli tekniklerden biri olan Durbin-Watson testi, SPSS 21 paket programında tel boyu uzunlukları verilerine uygulanmış, elde edilen d istatistiği, Durbin-Watson tablosundaki ilgili değerle karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

Bunun için programda sırasıyla Analyze→Regression→Linear komutları izlenmiş, istatistik butonu ile de Durbin-Watson değeri seçilmiştir. Otokorelasyon için kullanılan hipotezler;

H_0 : Ana kütledeki hata terimleri arasındaki korelasyon katsayısı (ρ) = 0.

H_1 : $\rho \neq 0$

Buradaki H_0 hipotezi veriler arasında otokorelasyonun olmadığını, alternatif olarak kullanılan hipotez ise veriler arasında ilişki olduğunu anlamına gelmektedir. Genellikle 1.5 -2.5 civarında bir Durbin-Watson testi değeri otokorelasyon olmadığını gösterir [84].

Şekil 5.4’de de görüldüğü üzere Durbin-Watson değeri 1.753 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla gözlem değerleri arasında otokorelasyon olmadığı görülmüştür.

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,255 ^a	,065	,056	,55017	1,753
a. Predictors: (Constant), ornekno					
b. Dependent Variable: deger					

Şekil 5.4. Otokorelasyon için model özeti

Sonuçlardan da anlaşıldığına göre EWMA grafiği için iki temel varsayım kabul edilmiştir. Dolayısıyla veriler için EWMA grafiği uygulanabilmektedir.

5.3. Genetik Algoritma ile Optimum λ ve L Değerlerinin Bulunması

ARL₀ hesaplamaları sırasında 3.13. formülünde yer alan matematiksel formüllerin kolay bir şekilde hesaplanabilmesi için MATLAB, hızlı bir şekilde genetik algoritma sonuçlarının elde edilmesi için de 'gatool' komutu kullanılmıştır. Çalışma sırasında kullanılan MATLAB verileri ve program çıktıları EK 3 olarak CD'ye aktarılmıştır. Varsayımlara ait testler yapıldıktan sonra problemin çözümü aşamasında öncelikle modelleme kurulmalıdır:

Uygulamadaki amaç; ARL₀'ı maksimum yapacak değere ulaşmak olduğu için amaç fonksiyonu;

$$Z_{\max} = (2\lambda)^{-1} \int_0^L [\phi(z)]^{-1} [2\Phi(z) - 1] dz$$

Karar değişkenlerinin alt ve üst sınırları;

$$0 < \lambda \leq 1$$

$$0 < L < 6 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

Problemin MATLAB gatool ile çözümü için ilk olarak yeni bir M-File dosyası açarak amaç fonksiyonu;

```
function y = arlhesaplama( x )
y=- ( (1/2*x(1))*int ((1/(1/sqrt (2*3.14))*2.718.^-(z.*0.5))*(2*normcdf(29,0,1)-1),0,(x(2)))
end
```

şeklinde tanımlanmalı ve dosya kaydedilmelidir.

Ardından Command Window alanına gatool yazılarak Matlab'e ait genetik algoritma ara yüzü açılır. Arayüzdeki 'fitness function' alanına kaydedilen M-file dosyasının

adı olan arithesaplama yazılır. ‘Number of variables’ kısmına ise X_1 ve X_2 olarak isimlendirilen λ ve L değişkenlerinin sayısı girilir.

Daha sonra kısıtlayıcı fonksiyonların katsayıları ve sınırları belirlenir. Bunun için;

$$0 < \lambda \leq 1$$

$$0 < L < 6$$

eşitsizlikleri göz önünde bulundurularak problem kurma ve sonuçlar bölümüne veriler girilir.

Kodlama yapılırken λ ve L parametrelerine ait değerler reel sayılardan oluştuğu için değer kodlama tercih edilmiştir. Böylece λ ; 0.734, 0.03 gibi L değeri ise; 1.88, 3.74 gibi reel değerleri alabilme şansına sahip olacaktır.

Yine Matlab, kullanıcılarına başlangıç popülasyonunu belirleme gibi bir komut oluşturmuştur. Böylece X_1 , X_2 olarak belirlenen λ ve L değerlerine ait başlangıç popülasyonu belirlenip algoritma çalıştırılmaya başlanabilir.

Örnek olarak verilebilecek başlangıç popülasyonları aşağıdaki şekilde oluşturulabilir.

	λ	L
Kromozom 1	0.058	1.948
Kromozom 2	0.832	2.974
Kromozom 3	0.623	3.371
Kromozom 4	0.307	1.236

Bu özelliğin avantajı optimuma yakın değerler biliniyor veya tahmin edilebiliyorsa başlangıç popülasyonu o değerlere yakın seçip algoritmayı hemen tamamlamasına yardımcı olmaktır. Bu yol parametrelerimiz önceden tahmin edilemediği için kullanılmamıştır.

Matlab’in options bölümünde ise popülasyon büyüklüğü 100 olarak belirlenmiştir. Bunun yerine istenilen popülasyon büyüklüğü de seçilebilirdi ancak büyüklüğün çok fazla olması algoritmanın çalışma süresinin artmasına böylece zaman ve maliyet

bakımından artışa neden olur. Tam tersi durumda yani populasyon büyüklüğünün küçük alınmasında da optimum değere ulaşılama riski vardır.

Yine Matlab'ın options bölümünde seçim fonksiyonu olarak rulet seçilmiştir. Bu seçimlerin yerine seçim yöntemi stokastik, düzgün, geleneksel veya turnuva gibi seçim yöntemleri de seçilebilirdi.

Aynı bölümde mutasyon operatörü 'uniform' olarak belirlenmiştir. Diğer seçilebilecek mutasyon fonksiyonları ise düzgün veya gauss mutasyon yöntemleridir.

Çaprazlama fonksiyonu ise 'single point' şeklinde girilir. Bölümde yer alan diğer çaprazlama operatörleri ise düzgün, sezgisel veya geleneksel çaprazlama fonksiyonlarıdır ancak kromozomlar iki genden oluştuğu için ve genetik algoritma bölümünde de anlatıldığı üzere çaprazlama noktası 1 ile N arasında rassal olarak seçildiği için çaprazlamada iki noktalı çaprazlama seçilememektedir. Bunun yerine tek noktada çaprazlama kullanılmıştır.

Matlab'de son olarak durdurma kriterleri belirlenmiştir. Seçilen kritere göre genetik algoritma 100 iterasyondan sonra sonlandırılmaktadır. Bu seçimden önemli olan maliyeti ve çözüm için gerekli süreyi en aza indirecek; optimum değeri bulabilecek kadar fazla iterasyon sayısının seçilmesidir. Durma kriteri olarak seçilebilecek diğer yöntemler ise süre limiti, uyum fonksiyonu limiti gibi kriterlerdir. Bu yöntemlerde ise algoritma belli bir süre sonra kendini sonlandırmakta veya seçilen uyum fonksiyonuna yakınsadığında durmaktadır. Bu yüzden bu yöntemler ya uyum fonksiyonunun tahmin edildiği ya da çözüm sürenin kısıtlı olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Tüm işlemler tamamlandıktan sonra program çalıştırılır. λ ve L değerine ait optimum sonuçlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2. λ ve L değerlerine ait sonuçlar

Bulunan Optimum Sonuçlar	
λ	L
0.86	1,13

Dolayısıyla kontrol altındaki ARL değerini olası yanlış alarm sinyallerine karşı mümkün olduğunca büyük kılan ARL_0 değeri 8,07 olarak bulunmuştur.

5.4. Farklı Parametrelere Sahip EWMA Grafiği ile Karşılaştırılması

EWMA grafiğinin hassasiyetinin belirlenebilmesi için veriler üzerinde EWMA grafiği uygulanmıştır. Bu grafiği çizebilmek için EXCEL'den faydalanılmıştır. Bunun için öncelikle verilere ait yeni ağırlıklı ortalama (Z_i) değerleri (Tablo 5.3) 3.3. formül olan;

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda) Z_{(i-1)} \quad i=1,2,3... \quad \text{yardımıyla bulunmuştur.}$$

Tablo 5.3. Yeni ağırlıklı ortalama değerleri

Örnek No	Yeni Ağırlıklı Değer (Z_i)	Örnek No	Yeni Ağırlıklı Değer(Z_i)	Örnek No	Yeni Ağırlıklı Değer(Z_i)	Örnek No	Yeni Ağırlıklı Değer(Z_i)
1	28,72	26	27,31	51	27,18	76	28,27
2	28,97	27	29,08	52	28,17	77	27,95
3	28,33	28	28,28	53	28,38	78	27,68
4	28,46	29	28,96	54	27,56	79	27,92
5	28,98	30	27,48	55	28,93	80	27,99
6	27,72	31	28,47	56	28,9	81	28,03
7	27,49	32	29,79	57	29,38	82	28,14
8	27,89	33	28,69	58	28,24	83	28,66
9	28,26	34	28,42	59	28,29	84	28,05
10	27,52	35	29,06	60	28,17	85	29,41
11	28,4	36	28,9	61	27,86	86	28,24
12	27,22	37	29,75	62	28,8	87	27,24
13	29,02	38	28,5	63	28,18	88	27,55
14	28,44	39	28,94	64	27,88	89	27,74
15	28,31	40	28,3	65	28,56	90	28,25
16	28,17	41	27,96	66	28,47	91	27,83

Tablo 5.3. Yeni ağırlıklı ortalama değerleri (devam)

17	28,49	42	28,06	67	27,02	92	28,07
18	28,45	43	28,33	68	28,34	93	27,72
19	28,09	44	27,35	69	28,28	94	27,88
20	28,47	45	28,6	70	28,12	95	27,9
21	28,94	46	28,91	71	27,7	96	27,69
22	29,24	47	28,51	72	28,14	97	28,77
23	28,51	48	29,12	73	28,46	98	27,65
24	27,89	49	28,96	74	28,17	99	27,47
25	28,08	50	28,48	75	27,52	100	28,46

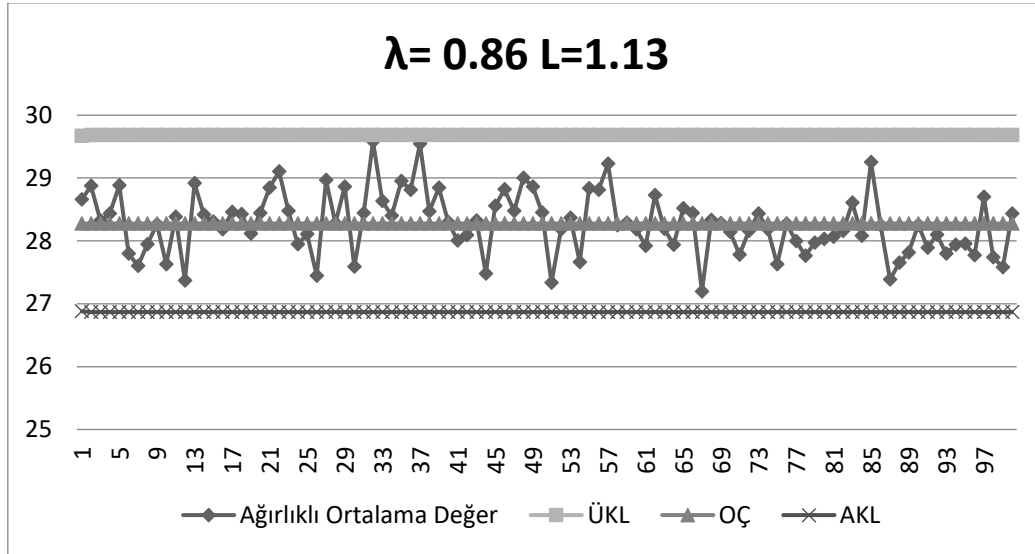
Yeni ağırlıklı ortalama değerlere ait üst kontrol limiti, merkezi çizgi ve alt kontrol limiti de 3.6, 3.7 ve 3.8 formülleri yardımıyla EK 4'deki gibi bulunmuştur. Örnek olarak da $\lambda=0.8$ ve $L=1$ için kontrol imitleri hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$\begin{array}{lll} \text{Üst Kontrol} & & \\ \text{Limiti (ÜKL)} & 28,658 + 1 * 3 \sqrt{\frac{0.8 [1 - (1 - 0.8)^{2*1}]}{2 - 0.8}} & = 29,669 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Merkez çizgi} & & \\ \text{(MÇ)} & 28,658 & = 28,275 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Alt Kontrol} & & \\ \text{Limiti (AKL)} & 28,658 - 1 * 3 \sqrt{\frac{0.8 [1 - (1 - 0.8)^{2*1}]}{2 - 0.8}} & = 26,882 \end{array}$$

Son olarak da verilere ait EWMA grafiği Şekil 5.5'deki gibi çizilmiştir.

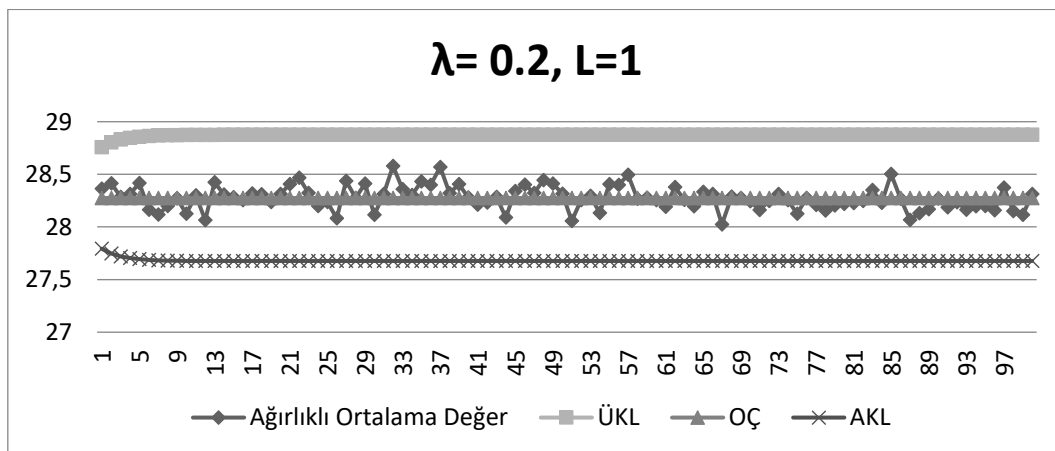


Şekil 5.5. Optimum λ ve L değerleri ile oluşturulan EWMA grafiği

Şekilden de anlaşıldığı gibi süreç 32. veride kontrol limitlerinin dışında kalmıştır. Parametrelerin kullanılması ile oluşan ARL_0 değeri ise 8,07 olarak bulunmuştur.

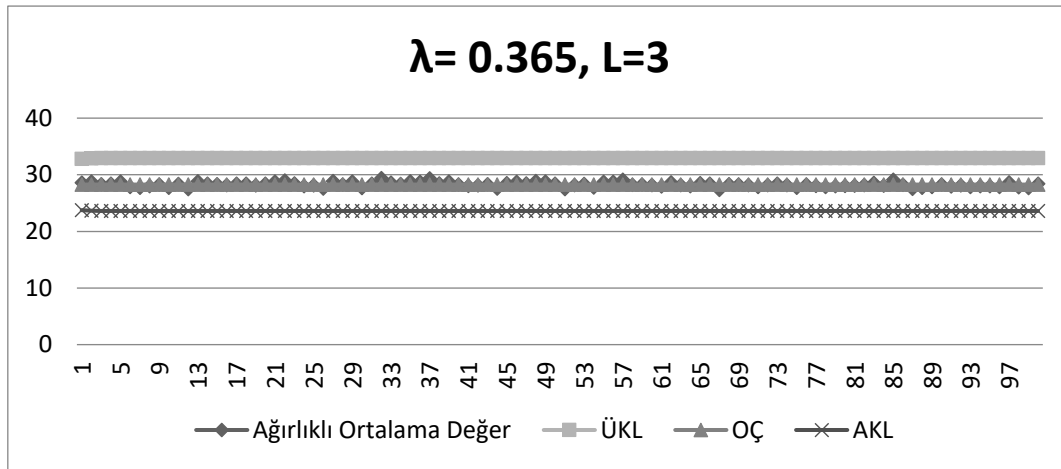
Çalışmada bulunan λ ile L parametrelerinin dolayısıyla ARL_0 değerinin optimum değer olup olmadığını anlayabilmek için λ ile L 'ye rasgele değerler verilmiş elde edilen grafikler ve yorumları aşağıda özetlenmiştir.

$\lambda = 0.2$ ve $L = 1$ olarak seçildiğinde EWMA kontrol grafiğinin kontrol dışına çıkmadığı görülmektedir. (Şekil 5.6)



Şekil 5.6. $\lambda = 0.2$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

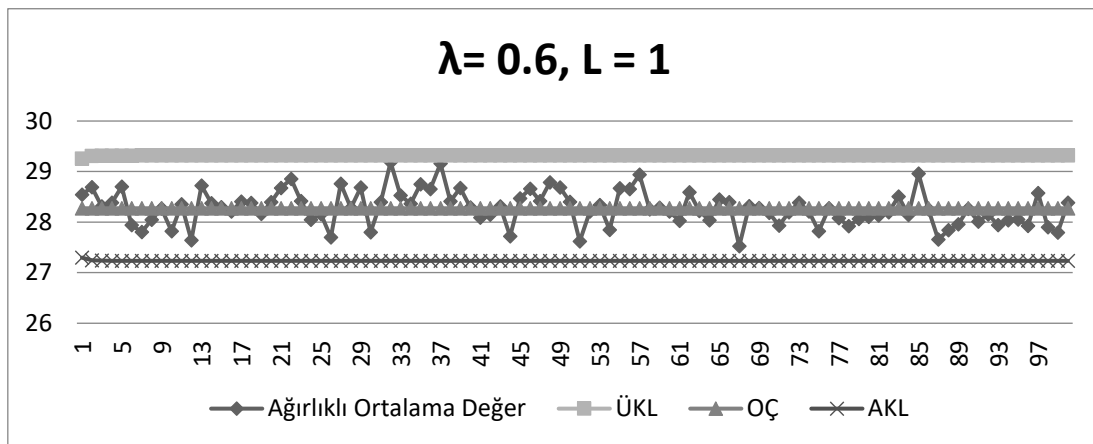
$\lambda = 0.365$ ve $L = 3$ olarak seçildiğinde de EWMA kontrol grafiğinin kontrol dışına çıkmadığı görülmektedir. (Şekil 5.7)



Şekil 5.7. $\lambda = 0.4$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

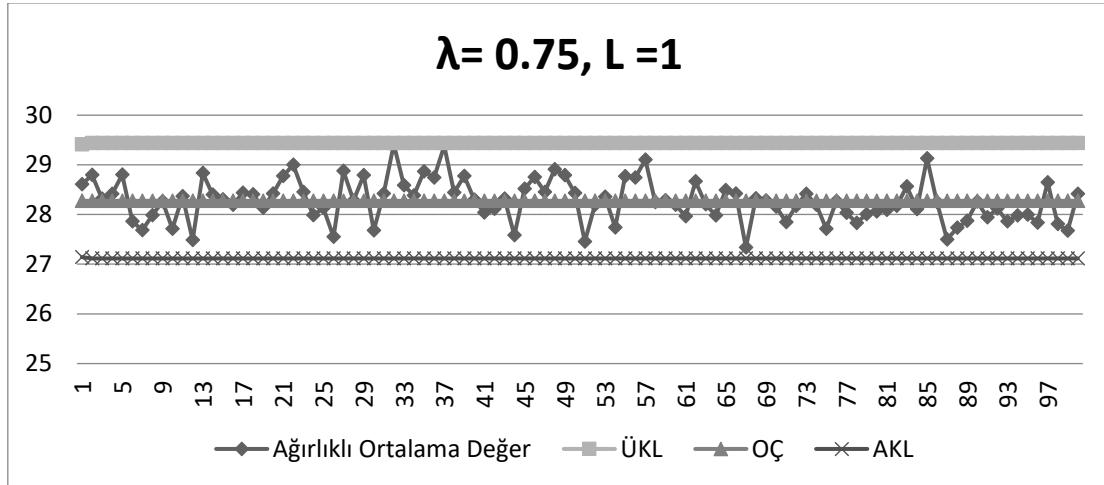
Görüldüğü gibi EWMA grafiğinin iyi performans gösterip hassasiyetinin artması için λ ve L kombinasyonunun uygun seçilmesi gerekmektedir.

$\lambda = 0.6$ ve $L = 1$ olarak seçildiğinde kontrol dışına çıkma noktası 32 olarak bulunmuştur. (Şekil 5.8)



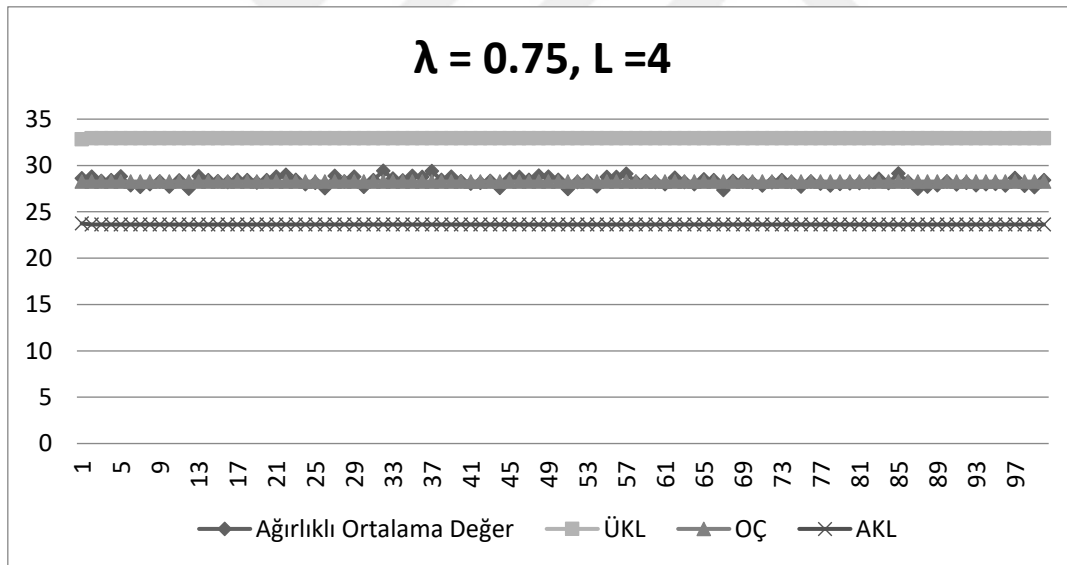
Şekil 5.8. $\lambda = 0.6$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

$\lambda = 0.75$ ve $L = 1$ olarak seçildiğinde kontrol dışına çıkma noktası 33 olarak bulunmuştur. (Şekil 5.9)



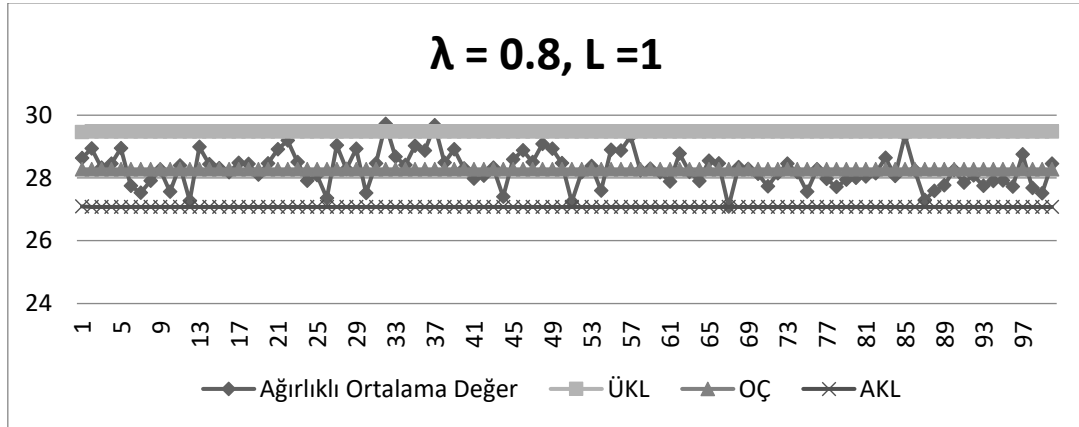
Şekil 5.9. $\lambda = 0.75$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

$\lambda = 0.75$ ve $L=4$ olarak seçildiğinde süreç kontrol altında olarak belirlenmiştir. (Şekil 5.10)



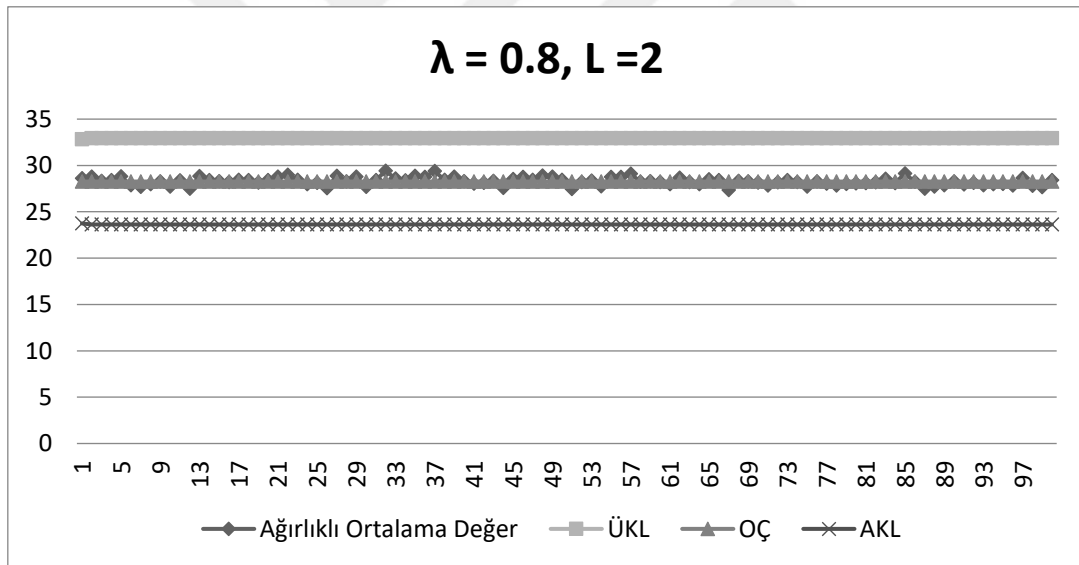
Şekil 5.10. $\lambda = 0.75$ ve $L = 1.2$ olduğunda EWMA grafiği

$\lambda = 0.8$ ve $L=1$ olarak seçildiğinde kontrol dışına çıkma noktası 32 olarak bulunmuştur. (Şekil 5.11)



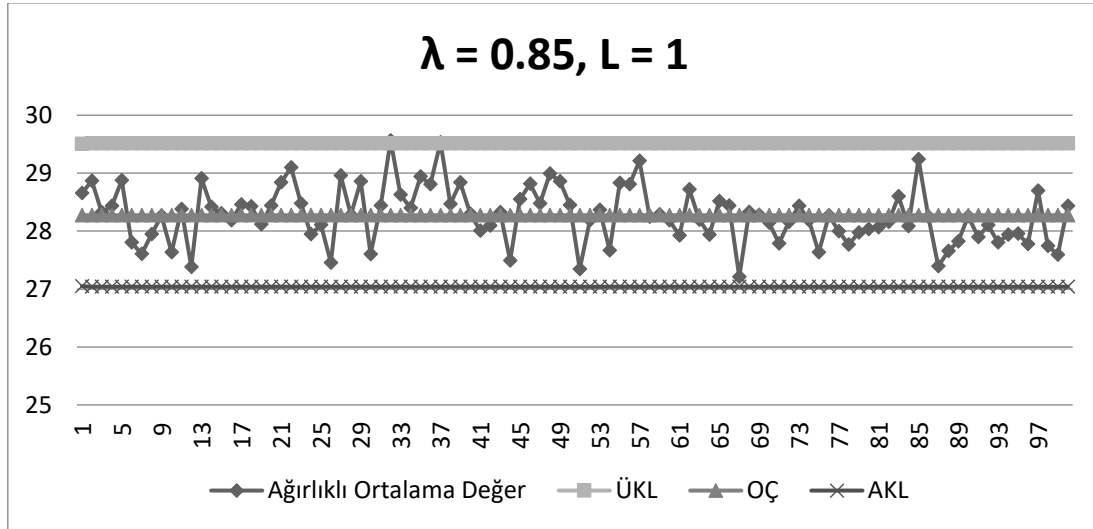
Şekil 5.11. $\lambda = 0.8$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

$\lambda = 0.8$ ve $L=2$ olarak seçildiğinde süreç yine kontrol altında gözükmemektedir. (Şekil 5.12)



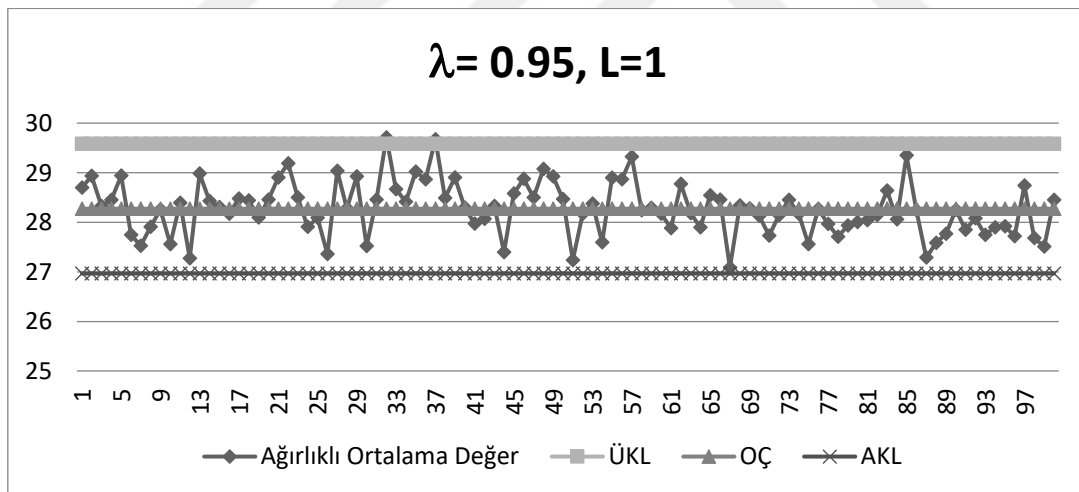
Şekil 5.12. $\lambda = 0.8$ ve $L = 1.2$ olduğunda EWMA grafiği

$\lambda = 0.85$ ve $L=1$ olarak seçildiğinde kontrol dışına çıkma noktası 32 olarak bulunmuştur. (Şekil 5.13)



Şekil 5.13. $\lambda = 0.85$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

$\lambda = 0.95$ ve $L = 1$ olarak seçildiğinde kontrol dışına çıkma noktası 32 olarak bulunmuştur. (Şekil 5.14)



Şekil 5.14. $\lambda = 0.95$ ve $L = 1$ olduğunda EWMA grafiği

Genetik algoritma ile bulunan optimum ARL değeri ve grafikleri çizilen rassal olarak seçilmiş λ ile L parametrelerinin formül 3.13 yardımıyla bulunan ARL sonuçları Tablo 5.6'da özetlenmiştir.

Tablo 5.2. Optimum ve rassal bulunan ARL değerleri

	λ parametresinin değeri	L parametresinin değeri	ARL değeri
Genetik algoritma ile bulunan optimum	0.86	3,13	8,07
Rassal seçim 1	0.2	1	1,28
Rassal seçim 2	0.365	3	1,65
Rassal seçim 3	0.6	1	1,39
Rassal seçim 4	0.75	1	4,67
Rassal seçim 5	0.75	4	2,94
Rassal seçim 6	0.8	1	2,08
Rassal seçim 7	0.8	2	4,62
Rassal seçim 8	0.85	1	7,18
Rassal seçim 9	0.95	1	6,73

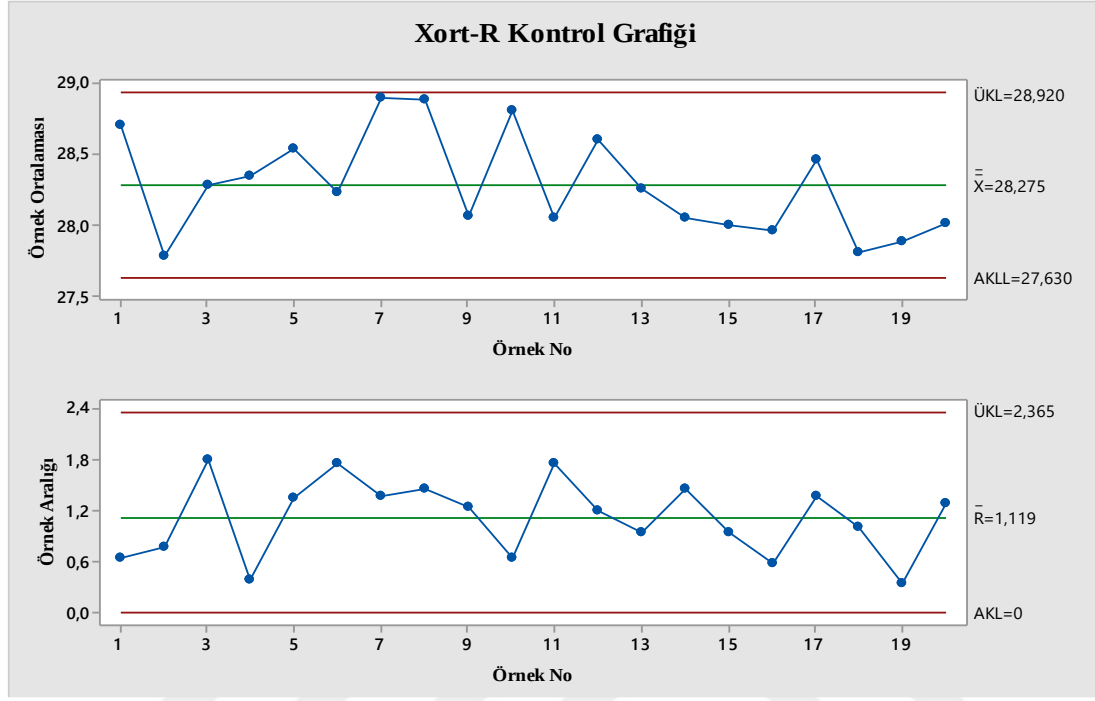
Tablodan da anlaşıldığı gibi genetik algoritma ile bulunan λ ve L parametrelerinin ARL'yi optimum (8,07) olarak belirlediği anlaşılmaktadır.

Önceden de belirtildiği gibi ARL değeri süreç kontrol altında iken bir örneklem reddedilinceye kadar kabul edilen örneklem sayılarının ortalamasıdır dolayısıyla süreçten verim elde etmek için bu değerinin maksimum değer alması gerekmektedir. Genetik algoritma ile bulunan ARL_0 değeri olan 8.07 rassal olarak seçilen değerler göre daha iyi değer almıştır. Böylece genetik algoritma ile bulunan değerler kullanılarak kontrol grafiği çizildiği takdirde, süreç kontrol altında iken kontrol dışına çıktı zannedip sürecin duraksaması engellenmiş olur. Bu da süreçte verimlilik elde edilmesi anlamına gelmektedir.

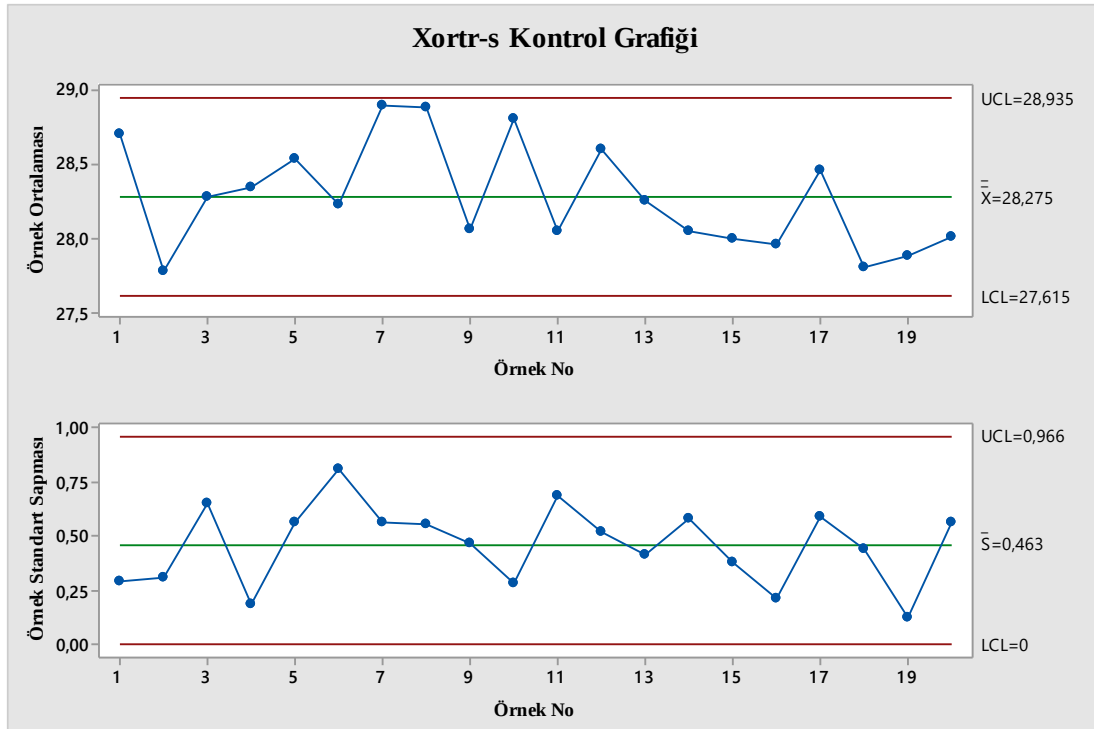
5.5. EWMA Grafiğinin Shewhart Grafikleri ile Karşılaştırılması

Çalışmada ARL değerini maksimum yapan λ ve L parametreleri belirlendikten sonra EWMA grafiğinin hassasiyetini görebilmek için Shewhart grafikleri ile karşılaştırma yapılmıştır.

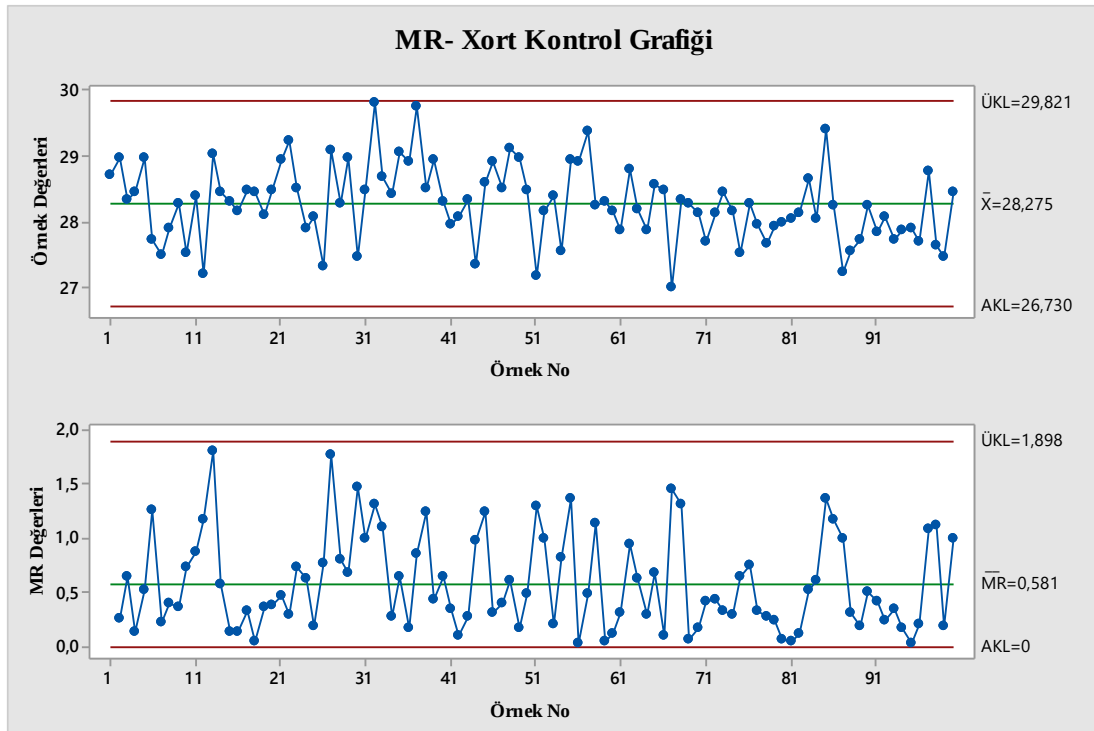
İlk olarak çalışma kapsamında kullanılan veriler için X-R, X-s ve MR-I $\bar{X}$ Shewhart grafikleri Minitab 17 yardımıyla çizilmiştir. Sonuçta oluşan grafikler Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de görülmektedir.



Şekil 5.6. $\bar{X}$ ve R kontrol grafiği



Şekil 5.7. $\bar{X}$ ve s grafiği



Şekil 5.17. MR-I $\bar{X}$ kontrol grafiği

Minitab 17'nin çıktısı olan üç grafikten de anlaşıldığı gibi veriler kontrol limitleri dışına çıkmamıştır dolayısıyla sürecin kontrol altında olduğu söylenebilmektedir.

Optimum değer olarak belirlenen λ ve L değerleri ile oluşturulan Şekil 5.5'i tekrar incelemek olursak EWMA grafiğinin 33. veri incelenirken kontrol dışına çıktığı görülmektedir. Bu nedenle EWMA grafiğinde bulunan kontrol sınırı limitlerinin daha hassas olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak EWMA grafiği en küçük kaymalara bile hassasiyet gösterip kontrol dışı uyarısı vermektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ

İşletmeler müşteri beklentilerini gerçekleştirip pazarda pay sahibi olabilmek için kalite kavramına önem vermek zorundadır. Ürün veya hizmetlerin kalite düzeylerinin araştırılması ve kalite değişimlerinin belirlenebilmesi için istatistiksel kalite kontrolden yararlanılmaktadır. En çok tercih edilen istatistiksel kalite kontrol aracı ise kontrol grafikleridir.

Çalışmada üretim süreçlerindeki küçük kaymaları tespit etmek amacıyla kullanılan ‘Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama’ (EWMA) kontrol grafiği incelenmiş, EWMA’nın performans kriteri olan ortalama çalışma süresinin parametreleri sezgisel yöntem olan genetik algoritma kullanılarak bulunmuştur.

Ortalama çalışma süresinin genetik algoritma yardımıyla bulunması ile literatürdeki diğer çalışmaların aksine sadece belirli ARL_0 için değil, istenilen tüm ARL_0 değerleri için EWMA diyagramı performansının kolayca hesaplanması sağlanmıştır. Ayrıca kullanılan MATLAB programı ile matematiksel işlem yüklerine de gerek kalmamıştır.

Son olarak da veriler için Shewhart kontrol grafikleri ile EWMA kontrol grafikleri uygulanmış; Shewhart kontrol grafiklerinde kontrol içi olan değerlerin EWMA kontrol grafiğinde kontrol dışına çıktığı görülmüştür. Bu da EWMA grafiği için bulunan ortalama çalışma süresi parametreleri olarak kullanılan λ ve L değerlerinin iyi belirlenip, en küçük kaymalara karşı bile hassas davrandığı anlamına gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZEL A., Ağırlıklı Hareketli Ortalama Kontrol Grafiklerinin Bir Üretim Sürecinde Uygulanması. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s. 43, 2010.
- [2] DONNA C. S. SUMMERS, Quality, Ed. S. Helba, 2. bsk., New Jersey, Prentice-Hall, s. 13, 2000.
- [3] DOTY LEONARD A., Statistical Process Control, 2. bsk., New York, Industrial Press Inc., s. 121, 1996.
- [4] AKKURT, M., Kalite Kontrol Excel Destekli. Birsen Yayınevi, İstanbul. 688s.,2002.
- [5] BESTERFIELD DALE H., Ph. D., P.E., Quality Control, 5. bsk., New Jersey, Prentice Hall, 1998.
- [6] DOTY, LEONARD A. : Statistical Process Control, 2. bsk., New York, Industrial Press Inc., 1996.
- [7] BARAY, ALP Ş. : Üretimde Varyasyon: İstatistiksel Yaklaşım, İstanbul, Çağlayan Kitabevi, 2008.
- [8] MONTGOMERY D., Introduction to Statisticial Quality Control, İkinci Baskı, John Wiley and Sons Inc, s.180, 1991.
- [9] SHEU S. H., LIN T. C., “The Generally Weighted Moving Average Control Chart For Detecting Small Shifts In The Process Mean”, Quality Engineering, C.XVI, No:2, s. 210, 2003.
- [10] SHEU H., S. H., TAI, “Generally Weighted Moving Average Control Chart For Monitoring Process Variability”, The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, C: XXX, No:5-6, s. 454, 2006.
- [11] KASAP, E., Shewhart, CUSUM ve EWMA Kalite Denetimi Grafiklerinin Bir Üretim Sürecinde Kullanılması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [12] HEINRICH R.H., WORTHAM A.W., Control Charts Using Exponential Smoothing Techniques, ASQC Technical Conference Transactions, 1972.

- [13] ROBINSON ve HO, Average Run Lengths of Geometric Moving Average Charts by Numerical Methods, Technometrics, 85-93 s., 1978.
- [14] HUNTER J.S., Exponentially Weighted Moving Avarage, Journal of Quality Technology, 1986.
- [15] CROWDER S.W., Average Run Lengths of Exponentially Weighted Moving Average Control Charts ,Journal of Quality Technology, 1987.
- [16] LUCAS J. Ve SACCUCCI M., Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enchancements Technometrics, Şubat 1990.
- [17] HAMILTON M.D., CROWDER S.V., Average Run Lengths of Ewma Control Charts for Monitoring A Process Standard Deviation, Journal of Quality Technology,44-50 s., 1992.
- [18] MACGREGOR J.F., HARRIS T.J., The Exponentially Weighted Moving Variance, Journal of Quality Technology, 1993.
- [19] SRIVASTAVA M.S. ve WU Y., Comparison of EWMA, CUSUM and Shiyayev- Roberts Procedures for Detecting A Shift in The Mean, The Annals of Statistics, 645-670 s., 1993.
- [20] OKTAY E., Shewhart, CUSUM ve EWMA Kontrol Grafiklerinin Şeker Sanayinde Uygulanması Üzerine Bir Deneme, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi, 1994.
- [21] SRIVASTAVA M.S. ve WU Y., Evaluation of Optimum Weights and Average Run Lenghts in EWMA Control Schemes, Technical Report, Nisan 1995.
- [22] GAN F., Joint Monitoring of Process Mean and Variance Using Exponentially Weighted Moving Average Control Charts, Technometrics, 446-453, 1995.
- [23] CHANDRASEKARAN S., ENGLISH J.R. ve DISNEY R.L., Modelling and Analysis of EWMA Control Schemes with Variance-Adjusted Control Limits, IIE Transavtiions, 282-290 s., 1995.
- [24] KLEIN M., Composite Shewhart-EWMA Statistical Control Schemes, IIE Transactions,475-481 s.,1996.
- [25] SRIVASTAVA M.S ve WU Y.,Evaluation of Optimum Weights and ARL in EWMA Control Schemes, Communications in Statistics-Theory and Methods, 1253-1267 s., 1997.

- [26] NEUBAUER A., The EWMA Control Chart: Properties and Comparison with Other Quality-Control Procedures by Computer Simulation, *Clinical Chemistry*, 594- 601 s., 1997.
- [27] STEINER S., Grouped Data Exponentially Weighted Moving Average Control Charts, *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, s. 203-216, 1998.
- [28] TESTİK M., RUNGER G., BORROR C., Robustness Properties of Multivariate EWMA Control Charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 31-38 s., 2003.
- [29] STAINER S.H., Exponentially Weighted Moving Average Control Charts with Time Varying Control Limits and Fast İnitial Response, *Journal of Quality Technology*, 1999.
- [30] EGE Ö., EWMA Kontrol Kartının Shewhart ve CUSUM Kontrol Kartları ile Karşılaştırılması- Similasyon Denemesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 125-132 s., 2000.
- [31] REYNOLDS M., ARNOLD J., EWMA Control Charts With Variable Sample Sizes and Variable Sampling İntervals, *IIE Transactions*, 511-530 s., 2001.
- [32] JONES L., CHAMP C. ve RİNGDON S., The Performance of Exponentially Weighted Moving Average Charts With Estimated Parameters, *Technometrics*, 156-167 s., 2001.
- [33] FU J., SPİRİNG F. ve XİE H, On The Average Run Lengths of Quality Control Schemes Using A Markov Chain Approach, *Statistics Probability Letters*, 369-380 s., 2002.
- [34] APARİSİ F. ve DİAZ J., Optimization of Univariate and Multivariate Exponentially Weighted Moving-Average Control Charts Using Genetic Algorithms, *Computers Operations Research*, 1437-1454 s., 2004.
- [35] APARİSİ F. ve DİAZ J., A Multiobjective Optimization for the EWMA and MEWMA Quality Control Charts, *Inverse Problems, Design and Optimization Symposium*, 2004.
- [36] APARİSİ F. ve DİAZ J., Economic Design of EWMA Control Charts Using Regions of Maximum and Minimum ARL, *IIE Transactions* 1011-1021 s., 2005.
- [37] APARİSİ F. ve DİAZ J., Design and Optimization of EWMA Control Charts For In-Control, Indifference, And Out-Of-Control Regions, *Computers Operations Research*, 2096-2108 s., 2007.

- [38] KASAP E., Shewhart, CUSUM ve EWMA Kalite Denetimi Grafiklerinin Bir Üretim Sürecinde Kullanılması, On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [39] CHOU C., CHENG J.ve LAI W., Economic Design of Variable Sampling Intervals EWMA Charts with Sampling at Fixed Times Using Genetic Algorithms, Expert System with Applications, 419-426 s., 2008.
- [40] SEREL D. ve MOSKOWITZ H., Joint Economic Design of EWMA Control Charts For Mean And Variance, European Journal of Operational Research, 2008.
- [41] YILDIRIM D., Shewhart, CUSUM ve EWMA Kontrol Grafiklerinin Makine Sanayine Uygulanması, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [42] SEREL D., Economic Design of EWMA Control Charts Based on Loss Function, Mathematical and Computer Modelling, 745-759 s., 2009.
- [43] YANG S. ve YU Y., Using VSI EWMA Charts to Monitor Dependent Process Steps with Incorrect Adjustment, Expert Systems with Applications, 442-454 s., 2009.
- [44] CASTAGLIOLA P. ve MARAVELAKIS P., An EWMA Chart for Monitoring the Process Standard Deviation When Parameters are Estimated, Computational Statistics & Data Analysis, 2653-2664 s., 2009.
- [45] KHOO M., WU Z., CHEN C. ve Yeong K., Using One EWMA Chart to Jointly Monitor The Process Mean and Variance, Computational Statistics, s. 299-316, 2010.
- [46] CHARONGRATTANASAKUL P. ve PONGPULLPONSAK A., Minimizing the Cost of Integrated Systems Approach to Process Control and Maintenance Model by EWMA Control Chart Using Genetic Algorithm, Expert Systems with Applications, 2011.
- [47] NAKI S.ve JAHANI P., The Economic Design of Multivariate Binomial EWMA VSSI Control Charts, Journal of Applied Statistics, 2011.
- [48] CHIN W. ve KHOO M. A Study of the Median Run Length (MRL) Performance of the EWMA t chart for the Mean, South African Journal of Industrial Engineering, 42-55 s., 2012.
- [49] SINGH S., PRAJAPATI D.R. , Performance of CUSUM and EWMA Charts for Serial Correlation, 2012.
- [50] MONTGOMERY D., Introduction to Statistical Quality Control, İkinci Baskı, John Wiley and Sons Inc, s.299,1991.

- [51] BREYFOGLE, Implementing Six Sigma: Smarter Solutions® Using Statistical Methods, s. 690.
- [52] BARAY, Ş., Üretimde Varyasyon:İstatistiksel Yaklaşım, İstanbul, Çağlayan Kitabevi,, s. 198, 2008.
- [53] DE VARGAS, V.C.C., Lopes, L.F.D., Souza, A.M., Comparative study of the performance of the CuSum and EWMA control charts. Computers & Industrial Engineering, 46(4): 707-724., 2004.
- [54] KOEHLER A. B., MARKS N. B., O'CONNELL R. T., “EWMA Control Charts For Autoregressive Processes”, The Journal Of Operational Research Society, C. LII, No:6, s. 699, 2001.
- [55] BORROR C. M., MONTGOMERY D. C., RUNGER G. C., “Robustness Of The EWMA Chart To Nonnormality”, Journal Of Quality Technology, C. XXXI, No:3, s. 310-315,1999.
- [56] PAN, R., CASTILLO, E.D., Integration of sequential process adjustment and process monitoring techniques. Quality and Reliability Engineering International, s. 371-386, 2003.
- [57] PANARETOS P.E., , PSARAKIS J., , S., EWMA chart and measurement error. Journal of Applied Statistics, s. 445-455, 2004.
- [58] MONTGOMERY D., Introduction to Statistical Quality Control, İkinci Baskı, John Wiley and Sons Inc, s.299-300,1991.
- [59] TAGARAS, G., A Survey of Recent Developments in the Design of Adaptive Control Charts, Journal of Quality Technology, Vol. 30, No. 3,s. 212-226, 1998.
- [60] BARAY, Alp Ş. : Üretimde Varyasyon: İstatistiksel Yaklaşım, İstanbul, Çağlayan Kitabevi, s. 69, 2008.
- [61] LIN, Y.,CHOU, C., Adaptive X Control Charts with Sampling at Fixed Times, Quality Reliability Engineering International, Vol. 21, s.163-175,2005.
- [62] WEINDLING,J., SEBASTIAN B., “Mean action Time of the Control Charts with Warning Limits”, Journal of Quality Technology, Vol. 2, No.2, s. 79-85, 1970.
- [63] BANKS, J., Principles of Quality Control, New York, John Wiley & Sons, cop., 1989.
- [64] WHEELER, Donald J. : Advanced Topics in Statistical Process Control, Knoxville, SPC Press,1995.

- [65] SRIVASTAVA M., WU Y. Evaluation of Optimum Weights and Avarage Run Lenghts in EWMA Control Schemes, Technical Report No 9503, 1995.
- [66] LIN, Y.,CHOU, C., Adaptive X Control Charts with Sampling at Fixed Times, Quality Reliability Engineering International, Vol. 21, s.163-175,2005.
- [67] CROWDER S., “Design Of Exponentially Weighted Moving Average Schemes”, Journal Of Quality Technology, C. XXI, No:3, s. 156-167,1989.
- [68] LUCAS J, SACCUCCI M., Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements, Technometrics, Vol. 32, No. 1, 1990.
- [69] GOLDBERG, D. E. , Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1989.
- [70] GATHERCOLE, C., ROSS, P , “Tackling the Boolean Even N Parity Problem with Genetic Programming and Limited-Error Fitness”, Genetic Programming 1997: Proceedings of the Second Annual Conference, Stanford University, CA, USA, 1997.
- [71] HOLLAND J. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence, England: U Michigan Press., 1975.
- [72] GOLDBERG D., HOLLAND J., Genetic Algorithms and Machine Learning, 1988.
- [73] KOZA J., Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, 1992.
- [74] CANDAN G., Esnek Üretim Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık Yöntemleri ile Çözülmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi, 2010.
- [75] EMEL, G.,TASKIN, Ç., Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, s.129-152, 2002.
- [76] KULLUK, S., "Tesis Yerlesimi Problemlerinde Genetik Algoritmalar ve Bir Genetik Algoritma Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.

- [77] GOLDBERG, D. E. , Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1989.
- [78] FANG, H., “Genetic Algorithms for Scheduling”, MSc Thesis, Department of Artificial Intelligence University of Edinburg, 4: 7-11, s. 21-27,1992.
- [79] GEN M., CHENG R., Genetic Algorithms and Engineering Optimization, John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [80] BOLAT B., EROL K., İMRAK C., Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2004.
- [81] SIVANANDAM, S.N., DEEPA, S.N., Introduction to Genetic Algorithms, Springer, 1st Edition, 2008.
- [82] SAKAWA, MASATOSHI, Genetic Algorithms and Fuzzy Multiobjective Optimization, Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, 2002.
- [83] KULLUK, S. "Tesis Yerlesimi Problemlerinde Genetik Algoritmalar ve Bir Genetik Algoritma Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [84] KALAYCI Ş., SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, 5. Baskı, s. 269, 2010.

EKLER

EK 1. Katsayılar Tablosu

n	A ₂	d ₂	D ₃	D ₄	A ₃	c ₄	B ₃	B ₄
2	1,880	1,128	-	3,267	2,659	0,7979	-	3,267
3	1,023	1,693	-	2,574	1,954	0,8862	-	2,566
4	0,729	2,059	-	2,282	1,628	0,9213	-	2,266
5	0,577	2,326	-	2,114	1,427	0,9400	-	2,089
6	0,483	2,534	-	2,004	1,287	0,9515	0,030	1,970
7	0,419	2,704	0,076	1,924	1,182	0,9594	0,118	1,882
8	0,373	2,847	0,136	1,864	1,099	0,9650	0,185	1,815
9	0,337	2,970	0,184	1,816	1,032	0,9693	0,239	1,761
10	0,308	3,078	0,223	1,777	0,975	0,9727	0,284	1,716
11	0,285	3,173	0,256	1,744	0,927	0,9754	0,321	1,679
12	0,266	3,258	0,283	1,717	0,886	0,9776	0,354	1,646
13	0,248	3,336	0,307	1,693	0,850	0,9794	0,382	1,618
14	0,235	3,407	0,328	1,672	0,817	0,9810	0,406	1,594
15	0,223	3,742	0,347	1,653	0,789	0,9823	0,428	1,572
16	0,212	3,532	0,363	1,637	0,763	0,9835	0,448	1,552
17	0,203	3,588	0,378	1,622	0,739	0,9845	0,466	1,534
18	0,194	3,640	0,391	1,608	0,718	0,9854	0,482	1,518
19	0,187	3,689	0,403	1,597	0,696	0,9862	0,497	1,503
20	0,180	3,735	0,415	1,585	0,680	0,9869	0,510	1,490
21	0,173	3,778	0,425	1,575	0,663	0,9876	0,523	1,477
22	0,167	3,819	0,434	1,566	0,647	0,9882	0,534	1,466
23	0,162	3,858	0,443	1,557	0,633	0,9887	0,545	1,455
24	0,157	3,895	0,451	1,548	0,619	0,9892	0,555	1,445
25	0,153	3,931	0,459	1,541	0,606	0,9896	0,565	1,435

EK 4. Verilere ait alt kontrol limiti, merkezi çizgi ve üst kontrol limiti

VERİ NO	ÜKL	MÇ	AKL	VERİ NO	ÜKL	MÇ	AKL	VERİ NO	ÜKL	MÇ	AKL
1	29,669	28,275	26,882	35	29,681	28,275	26,87	69	29,681	28,275	26,87
2	29,681	28,275	26,87	36	29,681	28,275	26,869	70	29,681	28,275	26,87
3	29,681	28,275	26,869	37	29,681	28,275	26,869	71	29,681	28,275	26,87
4	29,681	28,275	26,869	38	29,681	28,275	26,869	72	29,681	28,275	26,87
5	29,681	28,275	26,869	39	29,681	28,275	26,869	73	29,681	28,275	26,87
6	29,681	28,275	26,869	40	29,681	28,275	26,869	74	29,681	28,275	26,87
7	29,681	28,275	26,869	41	29,681	28,275	26,869	75	29,681	28,275	26,87
8	29,681	28,275	26,869	42	29,681	28,275	26,869	76	29,681	28,275	26,87
9	29,681	28,275	26,869	43	29,681	28,275	26,869	77	29,681	28,275	26,87
10	29,681	28,275	26,869	44	29,681	28,275	26,869	78	29,681	28,275	26,87
11	29,681	28,275	26,869	45	29,681	28,275	26,869	79	29,681	28,275	26,87
12	29,681	28,275	26,869	46	29,681	28,275	26,869	80	29,681	28,275	26,87
13	29,681	28,275	26,869	47	29,681	28,275	26,869	81	29,681	28,275	26,87
14	29,681	28,275	26,869	48	29,681	28,275	26,869	82	29,681	28,275	26,87
15	29,681	28,275	26,869	49	29,681	28,275	26,869	83	29,681	28,275	26,87
16	29,681	28,275	26,869	50	29,681	28,275	26,869	84	29,681	28,275	26,87
17	29,681	28,275	26,869	51	29,681	28,275	26,869	85	29,681	28,275	26,87
18	29,681	28,275	26,869	52	29,681	28,275	26,869	86	29,681	28,275	26,87
19	29,681	28,275	26,869	53	29,681	28,275	26,869	87	29,681	28,275	26,87
20	29,681	28,275	26,869	54	29,681	28,275	26,869	88	29,681	28,275	26,87
21	29,681	28,275	26,869	55	29,681	28,275	26,869	89	29,681	28,275	26,87
22	29,681	28,275	26,869	56	29,681	28,275	26,869	90	29,681	28,275	26,87
23	29,681	28,275	26,869	57	29,681	28,275	26,869	91	29,681	28,275	26,87
24	29,681	28,275	26,869	58	29,681	28,275	26,869	92	29,681	28,275	26,87
25	29,681	28,275	26,869	59	29,681	28,275	26,869	93	29,681	28,275	26,87
26	29,681	28,275	26,869	60	29,681	28,275	26,869	94	29,681	28,275	26,87
27	29,681	28,275	26,869	61	29,681	28,275	26,869	95	29,681	28,275	26,87
28	29,681	28,275	26,869	62	29,681	28,275	26,869	96	29,681	28,275	26,87
29	29,681	28,275	26,869	63	29,681	28,275	26,869	97	29,681	28,275	26,87
30	29,681	28,275	26,869	64	29,681	28,275	26,869	98	29,681	28,275	26,87
31	29,681	28,275	26,869	65	29,681	28,275	26,869	99	29,681	28,275	26,87
32	29,681	28,275	26,869	66	29,681	28,275	26,869	100	29,681	28,275	26,87
33	29,681	28,275	26,869	67	29,681	28,275	26,869				
34	29,681	28,275	26,869	68	29,681	28,275	26,869				

