

**KONTROL GRAFİKLERİNİN LİMİTLERİNİN  
REVİZYON KARARI İÇİN BİR YAKLAŞIM**

**AN APPROACH FOR DECISIONS ON REVISION OF  
CONTROL CHARTS' LIMITS**

**MERVE ÖNDEŞ**

**PROF. DR MURAT CANER TESTİK**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

# ÖZET

## KONTROL GRAFİKLERİNİN LİMİTLERİNİN REVİZYON KARARI İÇİN BİR YAKLAŞIM

**Merve ÖNDEŞ**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK**

**Ocak 2023, 78 sayfa**

Ürün ve süreç kalitesinin iyileştirilmesi, günümüzde hızla gelişen pazar koşullarında rekabet avantajı sağlanması ve üretim maliyetlerinin azaltılması amacıyla oldukça önem kazanmıştır. Süreç iyileştirmede temel amaç meydana gelen sistematik hataların en kısa sürede ortadan kaldırılarak ve tekrarlanması önlenerek sürecin kararlı hale getirilmesidir. Bir sürecin kararlı olması zaman içerisinde tahmin edilebilir değer aralıklarında çıktı üretmesi anlamına gelmektedir. Süreç kararlılığının sağlanması için kontrol grafikleri en önemli araçlardandır ve bir kontrol grafiği sinyali ile sürecin kontrol dışına çıktığı tespit edilmeye çalışılır. Kontrol grafiği kontrol dışı durum sinyali vermiyorsa süreç kontrol altında kabul edilir. Bir süreç kontrol altındaysa izlenmekte olan kontrol istatistiğinin ortalamasının sabit olduğu ve süreçte değişkenliğe neden olabilecek bir saptanabilir sebebin olmadığı kabul edilir. Bu tez kapsamında, kontrol altındaki sürecin kontrol istatistiğinin ortalamasının bir sabit değil, rastgele değişen olduğu varsayılmıştır. Süreçlerin dinamik doğası gereği kontrol istatistiğinin ortalamasının zaman zaman küçük sapmalar göstermesi ve bunun saptanamayacak küçük sebeplerinin olabileceği süreç izleme problemlerine daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Kontrol grafikleri tasarlanırken genellikle sürece ilişkin görece kısa bir döneme ait geçmiş gözlemler kullanılmakta ve kontrol limitleri belirlenmektedir. Bu kontrol limitleri kontrol altındaki sürece ilişkin bir modelleme olup, süreçte meydana gelebilecek kontrol dışı durumlar bu modelden sapma ile tespit edilir. Ancak zaman içerisinde, kontrol altında olduğu kabul edilen süreçte çeşitli doğal değişiklikler olabilir. Dolayısıyla, kontrol limitlerinin zaman zaman sistematik bir metotla revize edilmesi gereklidir.

Bu tez çalışmasında, süreçlerin izlenmesi ve gerekiyorsa kontrol limitlerinin revize edilmesi için bütünleşik bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşım simülasyonla değerlendirilmiş ve performans değerlendirmesi yapılarak faydası gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstatistiksel Süreç Kontrol, Kontrol Limitlerinin Revizyonu, Kontrol Grafiklerinin Ekonomik Tasarımı, Kontrol Grafiklerinin Otomasyonu, Normallerin Ortalaması, Ortalama Tespit Uzunluğu

# **ABSTRACT**

## **AN APPROACH FOR DECISIONS ON REVISION OF CONTROL CHARTS' LIMITS**

**Merve ÖNDEŞ**

**Master of Science, Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK**

**January 2023, 78 pages**

Improvement of product and process quality has gained importance in order to provide competitive advantage and reduce production costs in today's rapidly developing market conditions. The main objective of process improvement is to stabilize a process by eliminating systematic errors rapidly and to prevent their recurrence. Stability of a process implies that it produces output in predictable ranges over time. Control charts are one of the most important tools to ensure process stability and are used for process monitoring to detect out of control conditions. A process is considered to be in control if a control chart does not give a signal out of control. If the process is in control, it is assumed that the mean of the monitored control statistic is constant and those assignable causes, which could cause additional variation in the process, are not present. Within the scope of this thesis, however, it is assumed that the mean of the control statistic for an in-control process is not a constant but a random variable. Due to the dynamic nature of processes, this is a more realistic approach for process monitoring problems where the mean of the control statistic may indicate small deviations from time to time because of minor undetectable causes.

While designing control charts, historical observations from a relatively short period of time are used and control limits are determined accordingly. These control limits are a model of an in-control process, and out-of-control conditions that may occur in the process are detected by deviations from this model. However, over time, there may be natural variability in a process that is considered to be in control. Therefore, it is necessary to revise control limits of a control chart from time to time by using a systematic method for revisions.

In this thesis, an integrated approach is proposed for monitoring processes and revision of control limits when necessary. The proposed approach is evaluated by simulations and performance evaluations are presented to indicate benefits.

**Keywords:** Statistical Process Control, Revision of Control Limits, Economical Design of Control Charts, Automation of Control Charts, Average of Normals, Average Run Length

## TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimimden bu yana hiçbir zaman esirgemediği fikirleri, yönlendirmeleri, sabrı ve her koşulda tüm öğrencilerine sonuna kadar açık olan kapısı için çok kıymetli saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Murat Caner TESTİK'e,

Güler yüzü ve yardımseverliğiyle lisans öğrenimimden bu yana motivasyon kaynağı olan Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü teknisyeni Hakan BİRER'e,

Desteklerini esirgemeyen ASELSAN MGEO Uçuşa Elverişlilik ve Sertifikasyon Müdürlüğü'nde çalışan değerli yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma,

Hayatımda var olduğu için kendimi çok şanslı hissettiğim, çok değerli hayat arkadaşşıma,

Hak ve emeklerini ödemem mümkün olmayan çok kıymetli güzel aileme

Sonsuz teşekkürler...

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon.....	2
1.2. Tezin Organizasyonu.....	2
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Süreç İzlemede Kontrol Grafikleri .....	3
2.1.1. Kontrol Grafiklerinin Kullanımı .....	5
2.1.2. Kontrol Grafiklerinin Performansının Değerlendirilmesi.....	6
2.1.3. Shewhart Kontrol Grafiği .....	9
2.1.4. Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği.....	14
2.1.5. Normallerin Ortalaması Kontrol Grafiği .....	16
2.1.6. Çok Değişkenli Shewhart Kontrol Grafikleri .....	20
2.2. Kontrol Grafiklerinin Ekonomik Tasarımı.....	21
2.3. Kontrol Limitlerinin Revizyonu .....	24
2.4. Stokastik Süreçler ve Atlamalar .....	29
3. METODOLOJİ.....	30
3.1. Bütünleşik Revizyon Kontrol Grafiği Modeli.....	30
3.1.1. Revizyon İzleme için Önerilen Yöntem .....	32
3.1.2. Önerilen Yönteme İlişkin Algoritma ve Formülasyon .....	37
3.2. Simülasyonlar.....	41

4. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	
48	
4.1. Simülasyon Çıktıları .....	48
4.2. Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği Kullanımı için Maliyet Kıyaslaması	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
6. KAYNAKLAR .....	64
EKLER.....	69
EK 1 - BPMN 2.0 Notasyonu - Simgeler Sözlüğü .....	69
EK 2 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 1. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_0, i\sigma\delta_0 \sim N(0, 0,25), \delta_1, j\sigma\delta_1 \sim N(0, 1)$ ) .....	70
EK 3 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 2. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_0, i\sigma\delta_0 \sim N(0, 0,25), \delta_1, j\sigma\delta_1 \sim N(0, 1)$ ) .....	71
EK 4 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 1. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_0, i\sigma\delta_0 \sim N(0, 0,5), \delta_1, j\sigma\delta_1 \sim N(0, 1,5)$ ) .....	72
EK 5 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 2. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_0, i\sigma\delta_0 \sim N(0, 0,5), \delta_1, j\sigma\delta_1 \sim N(0, 1,5)$ ) .....	73
EK 6 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 1. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_0, i\sigma\delta_0 \sim N(0, 0,25), \delta_1, j\sigma\delta_1 \sim N(0, 1,5)$ ) .....	74
EK 7 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 2. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_0, i\sigma\delta_0 \sim N(0, 0,25), \delta_1, j\sigma\delta_1 \sim N(0, 1,5)$ ) .....	75
EK 8 - ARL Değerleri.....	76
EK 9 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu.....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	78



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kontrol Grafiklerinin Faz 1 ve Faz 2 Kullanımı için Akış Diyagramı .....	5
Şekil 2.2. Kontrol Grafiği Sinyallerinin Sınıflandırma Matrisi .....	7
Şekil 2.3. Shewhart Kontrol Grafiği Örneği .....	10
Şekil 2.4. Normal Dağılım Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun Altında Kalan Alan Değerleri.....	11
Şekil 2.5. Hareketli Ortalama Hesabında Kullanılan Hareketli Pencere.....	14
Şekil 2.6. Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği Örneği.....	15
Şekil 2.7. Hasta Verilerinde Normal Aralık.....	17
Şekil 3.1. Bütünleşik Sistemin Genel Seviye BPMN 2.0 Şeması .....	35
Şekil 3.2. Bütünleşik Sistemin Detay Seviye BPMN 2.0 Şeması .....	36
Şekil 3.3. Bütünleşik Revizyon ve İzleme Kontrol Grafiği Örneği .....	37
Şekil 3.4. Kontrol Altında Olduğu Kabul Edilen Bir Sürecin Ortalamasındaki Değişimler .....	40
Şekil 3.5. Süreç Ortalamasında Kontrol Dışı Sapma .....	41
Şekil 3.6. Baz Model Simülasyonunun Çalışma Sistematiği .....	42
Şekil 3.7. Bütünleşik Revizyon ve İzleme Yaklaşımının Simülasyonunun Çalışma Sistematiği.....	45
Şekil 4.1. Örnek Baz Model Simülasyon Çıktısı .....	48
Şekil 4.2. 1. Senaryo'ya İlişkin Örnek Simülasyon Çıktısı.....	49
Şekil 4.3. 2. Senaryo'ya İlişkin Örnek Simülasyon Çıktısı.....	50
Şekil 4.4. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_0$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1$ ).....	53
Şekil 4.5. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_0$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5, \delta_1 = 1,5$ ).....	54
Şekil 4.6. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_0$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ ).....	54
Şekil 4.7. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_1$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1$ ).....	55
Şekil 4.8. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_1$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5, \delta_1 = 1,5$ ).....	55

Şekil 4.9. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_1$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ ) .....	56
Şekil 4.10. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_1$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1$ ) .....	56
Şekil 4.11. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_1$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5, \delta_1 = 1,5$ ).....	57
Şekil 4.12. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle $ARL_1$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ ) .....	57
Şekil 4.13. 2. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti Değerleriyle $ARL_0$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1$ ) .....	58
Şekil 4.14. 2. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti Değerleriyle $ARL_0$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5, \delta_1 = 1,5$ ) .....	59
Şekil 4.15. 2. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti Değerleriyle $ARL_0$ İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ ) .....	59

## TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Nicel Kontrol Grafikleri.....	12
Tablo 2.2. Kalite Karakteristiğine Göre Kontrol Grafikleri.....	13
Tablo 2.3. Revizyon Kararının Gözden Geçirilmesi.....	26
Tablo 4.1. Simülasyonda Elde Edilen Ortalama ARL Değerlerinin Doğrulaması .....	51
Tablo 4.2. Baz Model Simülasyon Sonuçları.....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\mu$	Süreç ortalaması
$\sigma$	Süreç standart sapması
$X$	Standart Normal dağılıma sahip rastgele değişken
$m$	Örnekleme sayısı
$n$	Örnekleme büyüklüğü
$\lambda$	Atlamaların birim zamanda meydana gelme oranı
$\delta$	Süreç ortalamasındaki sapma miktarının $\sigma$ cinsinden değeri

### Kısaltmalar

AKL	Alt kontrol limiti
AON	Normallerin Ortalaması (Average of Normals)
ARL	Ortalama Tespit Uzunluğu (Average Run Length)
BPMN	Business Process Model and Notation
CSC	Combined Shewhart-CUSUM
CUSUM	Kümülatif Toplam
DF	Düzeltilici faaliyet
EWMA	Üssel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama
MA	Hareketli Ortalama (Moving Average)
ÜKL	Üst kontrol limiti



# 1. GİRİŞ

Endüstri 4.0'la birlikte, özellikle esnek üretim sistemlerinin de yaygınlaşmasıyla, günümüzde ürün çeşitliliği ve rekabet oldukça artmıştır. Bu durum, üreticileri ürünlerini sürekli olarak geliştirmeye ve değişen talepleri karşılamaya yönlendirmiştir. Bu nedenle süreç kalitesinin iyileştirilmesi daha önemli ve zorlu bir hal almıştır. Süreç kalitesinin iyileştirebilmesi için öncelikle ilgili sürecin işleyişi hakkında bilgi sahibi olunmalı, bunun için de süreç izlenmelidir. Bu amaçla, istatistiksel süreç kontrolde kullanılan histogram, pareto grafiği, saçılım grafiği, kontrol çizelgesi, kontrol grafiği vb. çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Kontrol grafikleri istatistiksel süreç kontrolde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.

Kontrol grafikleri kritik süreç parametrelerinin izlenmesi amacıyla kullanılan istatistik temelli grafiksel araçlardır. Kontrol grafiklerinin tasarımında ilk olarak veri toplanır ve kontrol limitleri hesaplanır. İlgili sürecin kontrol altında olduğu durumlarda, izlenmekte olan kontrol istatistiğinin bu kontrol limitleri içerisinde kalması ve sürecin stabil olması beklenir. Kontrol dışına çıkan bir süreç ise, izlenmekte olan kontrol istatistiğinin parametrelerinde değişimle modellenir ve kontrol limitlerinin dışına çıkan bir kontrol istatistiği değeri sürecin normalinden sapması olarak yorumlanır. Bu durumların doğru bir şekilde tespiti ve yorumlanması ise derin bir bilgi birikimi gerektirmektedir.

Gerçek hayatta süreçler dinamiktir ve sürecin normalinde meydana gelen sapmalar dolayısıyla etkin bir süreç izleme için kontrol grafiklerinin limitlerinin de güncellenmesi gereklidir. Kontrol grafiklerinin limitlerinin güncellenmesi gerektiği birçok araştırmacı tarafından dile getirilse de bu güncellenmenin tam olarak hangi sıklıkta veya şartlar altında olması gerektiği konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bir kontrol grafiğinin limitlerini gereksiz yere güncellemek fazladan zaman ve emek kaybına yol açabileceği gibi, gerektiği zaman güncellemek de kontrol dışı durum sinyallerini olumsuz etkileyebilecek, dolayısıyla yine emek ve zaman kaybına yol açabilecektir.

## **1.1. Motivasyon**

Başarılı bir kalite iyileştirme çalışmasının ana aşamaları; sürecin etkin şekilde izlenmesi, sonuçların doğru şekilde yorumlanması ve en kısa sürede uygunsuzlukların tespit edilip bunların ortadan kaldırılması için uygun düzeltici faaliyetlerin uygulanmasıdır.

Kontrol grafikleri süreçlerin izlenmesi ve değişimlerin tespit edilmesi için geliştirilmiştir. Genel olarak bir kontrol grafiği tasarlanırken geçmiş veri kullanılarak sürecin normal tanımlanır. Yaygın uygulamada, süreçte meydana gelen kalıcı bir değişiklik olmadıkça kontrol grafikleri güncellenmemektedir. Etkin bir gerçek zamanlı süreç izleme için kontrol grafiklerinin belirli periyot ya da şartlarda güncellenmesi (revision) önemlidir. Literatürde bu konuya odaklanmış çok sınırlı çalışma olduğu görülerek bu tez çalışmasında kontrol grafiklerinin revizyon kararının verilmesi için veriye dayalı bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntemle, Endüstri 4.0 kapsamında esnek üretim ile yaygınlaşan kitlesel kişiselleştirme ve bilgisayar destekli üretim alanlarında uzun vadede kontrol grafiklerinin tam otomasyonunun sağlanması hedeflenmektedir.

## **1.2. Tezin Organizasyonu**

Bu çalışma kapsamında, ilk olarak ikinci bölümde literatür taramasına yer verilmiş, süreç izlemede kontrol grafikleri, kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı, kontrol limitlerinin revizyonu ve ardından stokastik süreçler ve atlamalar açıklanmıştır. Üçüncü bölümde metodoloji ele alınmış, kontrol limitlerinin revizyon kararına yönelik önerilen yönteme ilişkin çalışma sistematigi, algoritma, simülasyon çalışması detaylı şekilde anlatılmıştır. Ardından dördüncü bölümde geliştirilen yöntemin performansı değerlendirilmiş, simülasyon çıktılarına yönelik çıkarımlar ve sonuçların doğrulanması ele alınmıştır. Beşinci ve son bölümde tez kapsamında yapılan çalışmalar sonuçlandırılmış ve gelecek çalışmalar tartışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

### 2.1. Süreç İzlemede Kontrol Grafikleri

İstatistiksel kalite kontrolün başlıca amacı, süreçlerdeki saptanabilir sebeplerin ya da süreç sapmalarının gerçekleşmesini olabildiğince kısa sürede tespit edebilmek, ardından süreçte gerekli düzeltici faaliyetleri uygulayarak uygunsuzlukların oluşmamasını sağlamaktır [1] [2]. Bu doğrultuda, farklı ihtiyaçlara yönelik çeşitli araçlar geliştirilmiş olup, istatistiksel kalite kontrol kendine birçok sektörde yer edinmiştir. Bir sürecin izlenmesi ve kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla değişkenliği istatistiksel olarak modelleyen kontrol grafikleri, süreçte meydana gelen değişimleri hızlı tespit etmeleri ve süreç yeterliliğinin tahmin edilmesine olanak vermeleri nedenleriyle istatistiksel kalite kontrolün oldukça yaygın kullanılan araçlarından biridir.

İlk kontrol grafiğini geliştiren Shewhart [3], kritik niceliklere yönelik veri toplandığında değerlerin değişkenlik gösterdiğini gözlemlemiş ve bir kontrol grafiği ile süreçteki bu değişkenliğin izlenmesini önermiştir. Buna göre, değişkenlik ikiye ayrılmıştır. Sürecin doğası gereği kaçınılmaz olan, gerçekte kayda değer bir sorun teşkil etmeyen değişkenlik “rastgele değişkenlik (common / special causes of variation)” olarak adlandırılmıştır. Süreçte zaman zaman meydana gelen, en kısa sürede tespit edilerek uygun düzeltici faaliyetlerin uygulanmasıyla ortadan kaldırılması hedeflenen değişkenlik de “saptanabilir değişkenlik (assignable causes of variation)” olarak adlandırılmıştır.

Bir kontrol grafiğinde gözlemlerden hesaplanan ve değişimi izlenen kontrol istatistiği zaman/örneklem sırasına göre grafikte gösterilir. Kontrol istatistiğinin beklenen değerinden geçen bir merkez çizgisi ve süreç kontrol altındayken (süreçte rastgele değişkenlik mevcutken) kontrol istatistiği değerlerinin belirlenen bir yüzdesini içerecek kontrol limitleri kontrol grafiğini oluşturur. Gözlemlerle ilgili olarak Nelson [4] tarafından özellikle dikkat çekilen husus, bu değerlerin bilinen belli bir dağılıma sahip olduğundan emin olunması gerekliliği ve değerlendirmeye alınan verilerin istatistiksel anlamda dikkatle seçilmesi gerektiğidir. Zira kontrol grafiğinde, söz konusu sürece ilişkin kalite karakteristikleri modellenirken, eğer süreç parametreleri bilinmiyorsa- ki pratikte



çoğunlukla bilinmemektedir- parametreler, gözlemlerin sahip olduğu olasılık dağılımı üzerinden hesaplama yapılarak tahmin edilmektedir.

Kalite karakteristiği, söz konusu bir süreç çıktısının işlevini yerine getirebilmesi için doğası gereği sahip olduğu bir özelliği olarak tanımlanabilir. Endüstrideki uygulamalarda, kontrol grafikleri genellikle kritik olduğu belirlenen ve kontrol altında tutulması gereken kalite karakteristikleri için kullanılmaktadır. Kalite karakteristikleri bakımından kontrol grafikleri iki şekilde sınıflandırılmaktadır [2][5]. Nicel olarak ifade edilen kalite karakteristikleri (variables quality characteristics), sayısal olarak ölçülebilen özelliğe sahip iken nitel kalite karakteristikleri (attribute quality characteristics) ölçülemezler ancak kendilerinden beklenen özelliğin, belirtilen koşullara uymama durumuna (nonconforming) göre sınıflandırılırlar. Diğer yandan, ölçümlerin elde edilmesinde zorluk yaşanması durumunda ya da kalite karakteristiğinin daha kolay şekilde izlenebileceği değerlendirildiğinde, nicel kalite karakteristikleri de nitel olarak ele alınabilmektedir. Bunların yanı sıra, kalite karakteristiği olarak sözel (linguistic) verilerin de kullanılabilmesi konusunda çalışmalar mevcuttur. Wang ve Raz [6], nicel kalite karakteristiklerinin uygulanabilir olmadığı durumda, ikili sınıflandırmanın kullanıldığı nitel kalite karakteristiklerine nazaran sözel verilerin çok daha fazla bilgi sağladığını ifade etmişlerdir. Çalışmalarında bulanık küme teorisinden (fuzzy set theory) yararlanarak sözel verilerin kullanıldığı durumda merkez çizginin ve kontrol limitlerinin nasıl hesaplandığına dair çeşitli yaklaşımlar geliştirmişlerdir.

Bir kontrol grafiği genel olarak üç ana bileşenden oluşmaktadır.

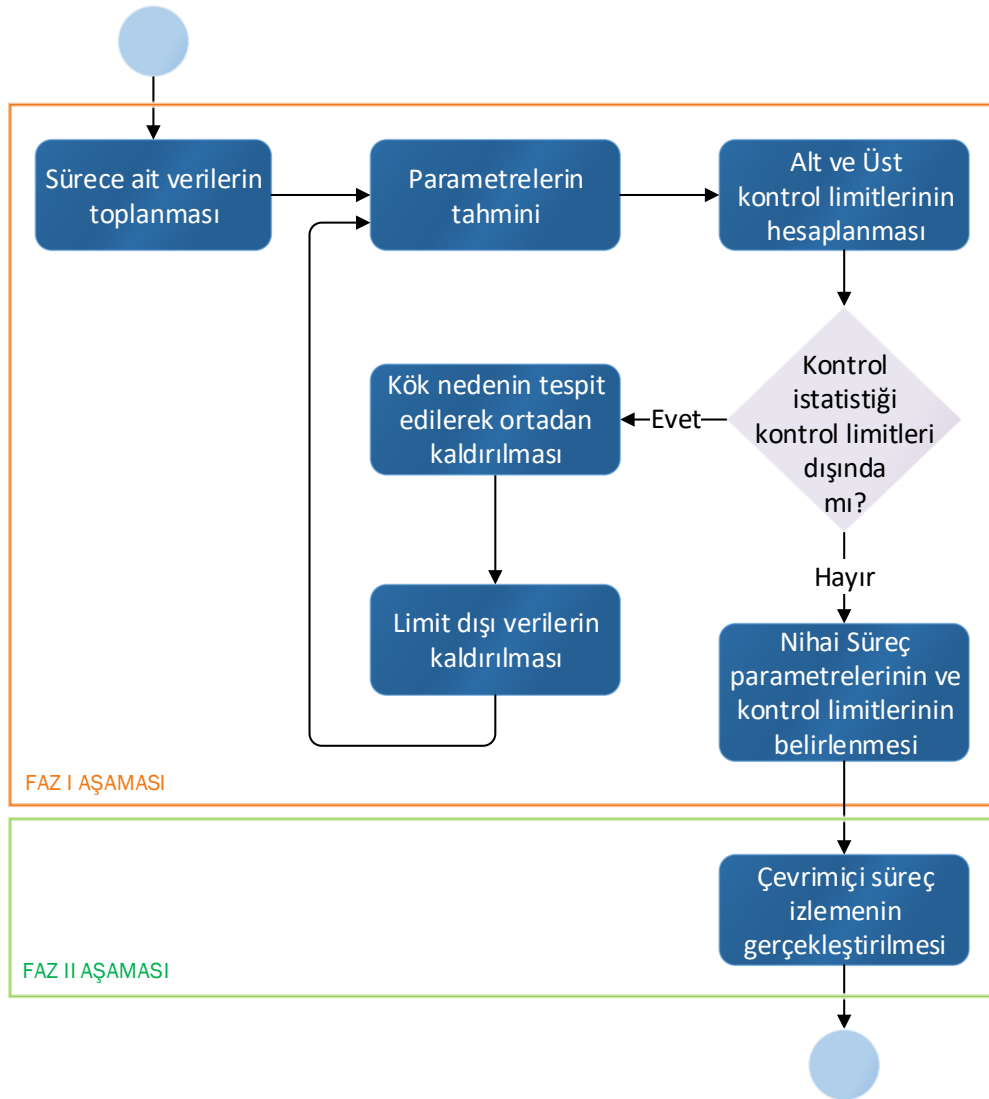
- Üst kontrol limiti (ÜKL): Kontrol istatistiği aştığı zaman kontrol dışı durum sinyali olarak değerlendirilen üst sınır
- Merkez çizgi: Kontrol istatistiği ortalaması
- Alt kontrol limiti (AKL): Kontrol istatistiği altına düştüğü zaman kontrol dışı durum sinyali olarak değerlendirilen alt sınır

Merkez çizgi ile kontrol limitleri arasındaki uzaklık, genellikle sürecin standart sapması  $\sigma$  cinsinden hesaplanmaktadır ve Shewhart kontrol grafiklerinde yaygın olarak  $3\sigma$

kontrol limitleri kullanılır. Ayrıca, sadece üst ya da sadece alt kontrol limitinin kullanıldığı tek-yönlü kontrol grafikleri de mevcuttur.

### 2.1.1. Kontrol Grafiklerinin Kullanımı

Kontrol grafikleri sıklıkla Şekil 2.1.'de sunulan akış şemasında belirtildiği şekilde iki aşamada kullanılmaktadır. "Faz 1" olarak isimlendirilen ilk aşamada, ilgili sürece ilişkin gözlemler toplanır. Belirlenen örneklem büyüklüğü doğrultusunda kontrol istatistiği hesaplanarak taslak kontrol limitleri çizilir.



Şekil 2.1. Kontrol Grafiklerinin Faz 1 ve Faz 2 Kullanımı için Akış Diyagramı

Hesaplanan kontrol istatistiği değerlerinin kontrol grafiğinde kontrol dışı değerler alması (kontrol limitlerinin dışına çıkması) durumunda, saptanabilir değişkenliğin mevcudiyeti ihtimali araştırılarak varsa bunların ortadan kaldırılması amacıyla süreçte düzeltici faaliyetler uygulanır. Ardından, söz konusu gözlem değerleri veri setinden çıkarılarak parametreler tekrar tahmin edilip yeniden hesaplanan kontrol limitleri ile yeni bir taslak kontrol grafiği oluşturulur. Bu döngü, kontrol grafiğinde bir kontrol dışı durum sinyaliyle karşılaşılmayana kadar (tüm kontrol istatistiği değerleri limitler içerisinde olana kadar) sürdürülür. Elde edilen bilgiler ışığında sürece ilişkin parametrelerin tahmini gerçekleştirilir. Faz 1 aşamasının tamamlanmasıyla birlikte belirlenen kontrol limitleri Faz 2 aşamasında sürecin gidişatını çevrimiçi izlemek için kullanılır. Faz 2 aşamasında bir kontrol dışı durum sinyalinin verilmesiyle kök neden tespit edilerek düzeltici faaliyetler yerine getirilir. Sürecin normal durumuna getirildiği değerlendirildikten sonra bu kontrol grafiğiyle süreç izlemeye devam edilir.

### **2.1.2. Kontrol Grafiklerinin Performansının Değerlendirilmesi**

Kontrol grafiklerinin performansının belirlenmesinde temel olarak aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmaktadır:

- Sistemik problemin tespit süresinin kısalığı: Süreçte olağan dışı bir durum oluşuktan sonra kontrol dışı durum sinyalinin hızla verilmesi, uygunsuzluğu ortadan kaldırmaya yönelik olarak düzeltici faaliyetlerin başlatılmasına ve böylece süreçte iyileşme sağlanmasına ve olası uygunsuzlukların önlenmesine yol açacaktır.
- Yanlış sinyaller arasındaki sürenin uzunluğu: İzlenen süreç kontrol altında iken de kontrol grafiğinin yanlış bir alarm vermesi ihtimal her zaman vardır. Yanlış sinyal olasılığının azaltılması, gerçekte var olmayan bir uygunsuzluğun araştırılması dolayısıyla ortaya çıkacak zaman kaybindan ve işçilik maliyetinden tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Kontrol grafiklerinin sinyallerinin bir sınıflandırması Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.

Süreçte Sistematik Problem	VAR	YOK
Kontrol Dışı Durum Sinyali	VAR	YANLIŞ Sinyal
VAR	Doğru Sinyal	Yanlış Sinyal
YOK	Süreç Kontrol Dışında	Süreç Kontrol Altında

Şekil 2.2. Kontrol Grafiği Sinyallerinin Sınıflandırma Matrisi

Bir kontrol grafiğinin verdiği sinyaller arasında alınan ortalama örneklem sayısı ortalama tespit uzunluğu (average run length - ARL) olarak adlandırılır ve performans değerlendirmede kullanılan önemli bir metriktir. ARL metriği için iki durum söz konusudur. Bir süreçte sistematik bir problem bulunmamasına rağmen kontrol grafiğinin yanlış sinyal vermesi durumu Tip 1 hata (Type I error) olarak ifade edilmektedir. Kontrol grafiğinin verdiği yanlış sinyaller arasında alınan ortalama örneklem sayısı  $ARL_0$  ile gösterilir. Tip 1 hata olasılığı  $\alpha$  ise, gözlemlerin bağımsız olduğu bir Shewhart tipi kontrol grafiği için ortalama tespit uzunluğu aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$ARL_0 = 1/\alpha$$

Diğer yandan bir süreçte saptanabilir değişkenlik meydana geldiği durumda, kontrol grafiğinin sinyal vermemesi Tip 2 hata (Type II error) olarak adlandırılır. Süreçte saptanabilir sebepten kaynaklanan bir değişikliğin meydana gelmesinden, bunun kontrol grafiği tarafından tespit edilmesine kadar geçen sürede alınan ortalama örneklem sayısı  $ARL_1$  ile gösterilir. Tip 2 hata olasılığı  $\beta$  ile gösterilecek olursa, kontrol grafiğinin süreçteki saptanabilir sebebi tespit etme gücü  $1 - \beta$ 'dir. Süreç kontrol dışındayken ortalama tespit uzunluğu, gözlemlerin bağımsız olduğu Shewhart tipi kontrol grafikleri için aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$ARL_1 = 1/1 - \beta$$

Genel olarak kontrol grafiklerinin performansını ölçmek amacıyla ARL değerleri kullanılmaktadır. Bir kontrol grafiğinin performansının iyi olduğuna dair bir gösterge olarak, süreçteki yanlış sinyal sayısının düşük olması anlamına gelen, yüksek  $ARL_0$  değerleri istenen bir durumdur. Süreçte meydana gelen bir kontrol dışı durumun tespit hızının ölçütü olan  $ARL_1$  değerinin ise küçük olması tercih edilmektedir. Bazı araştırmacılar kontrol grafiklerinin performansını farklı durumlarda değerlendirmek amacıyla çalışmalar yapmıştır [7]. Kontrol grafiklerinin tasarımında parametrelerin belirlenmesinde sıklıkla ARL performans metriği için tasarım değerleri kullanılır. ARL değerlerinin tasarlanandan farklı değerler alması süreçte ilave maliyetler oluşmasına neden olabilecektir. Bu konu, kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı başlığında detaylı şekilde ele alınmıştır.

Tip 1 ( $\alpha$ ) ve Tip 2 ( $\beta$ ) hata olasılıkları, kontrol limitlerinin merkez çizgiden uzaklığı ( $L$ ) ile doğrudan ilişkilidir. Limitler çok genişse kontrol grafiğinin sinyal verme ihtimali, dolayısıyla yanlış sinyal verme olasılığı düşer. Ancak, bu durumda kontrol grafiğinin kontrol dışı durumu tespit etme olasılığı da düşmektedir. Dolayısıyla,  $ARL_0$  değeriyle birlikte  $ARL_1$  değeri de artmakta olup, bunlardan herhangi birini iyileştirme durumu bir ödünleşme anlamına gelmektedir. Bu doğrultuda, ARL değerlerinin sürece olan etkilerinin iyi analiz edilerek örneklem sıklığı ve örneklem büyüklüğü gibi parametrelerin doğru seçimi, optimal bir kontrol grafiği tasarlanabilmesi bakımından büyük önem arz etmektedir.

Bir kontrol grafiğinin, süreçteki kontrol dışı bir durumu doğru ve hızlı bir şekilde yakalayabilmesi, Faz 1 aşamasında gerçekleştirilen parametre tahminlerinin doğru bir şekilde yapılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Chen v.d. [8], Faz 1 aşamasında çeşitli parametre tahmin yöntemlerini (küme tabanlı, küme tabanlı olmayan ve regresyon) kullanarak kontrol grafiğinin Faz 2 aşamasındaki performansını değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, Faz 1 aşamasındaki parametre tahmini gerçekteki değerden ne kadar uzaksa, yanlış sinyal sayısı daha fazla olmaktadır. Bunun yanında, süreçteki kontrol dışı durumu tespit etmekte kontrol grafiği o kadar gecikmektedir. Monte Carlo çalışmasından elde ettikleri sonuçları da değerlendirerek, Faz 1 aşamasındaki parametre tahmininin başarılı şekilde gerçekleştirilmesinin, Faz 2 aşamasındaki süreç izlemenin

performansını o denli olumlu yönde etkileyeceğini belirtmişlerdir. Bunun için de kümeleme yöntemlerinin parametre tahmininde daha iyi sonuçlar sağladığını ifade etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında Shewhart, Hareketli Ortalama ve Normallerin Ortalaması kontrol grafikleri takip eden başlıklarda detaylı olarak incelenmiştir.

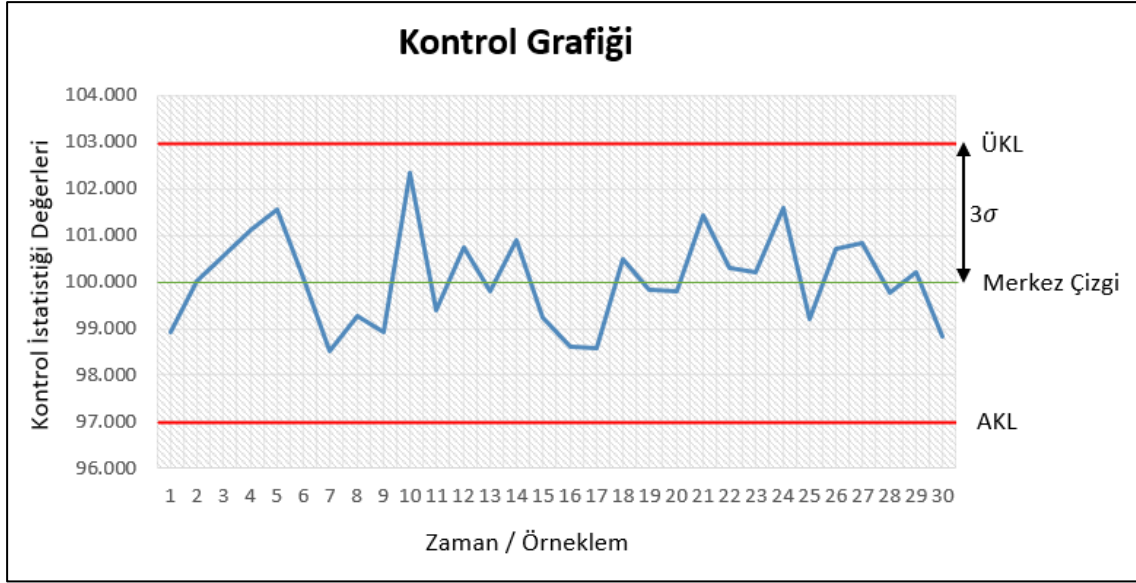
### **2.1.3. Shewhart Kontrol Grafiği**

En yaygın kullanılan kontrol grafiklerinden olan Shewhart kontrol grafiği, adını 1924 yılında bu kontrol grafiklerini geliştiren Walter A. Shewhart'tan almaktadır. Bir Shewhart kontrol grafiğinde merkez çizgi süreç ortalamasına ( $\mu$ ) eşit olup, ÜKL ve AKL aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{ÜKL} = \mu + L\sigma$$

$$\text{AKL} = \mu - L\sigma$$

Burada,  $\sigma$  sürecin standart sapmasını,  $L$  ise merkez çizginin kontrol limitlerine olan uzaklığını standart sapma cinsinden ifade etmektedir. Şekil 2.3.'te, süreç ortalaması 100, standart sapması 1 ve limitlere 3 standart sapma uzaklıkta olan bir Shewhart kontrol grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.12.3. Shewhart Kontrol Grafiği Örneği

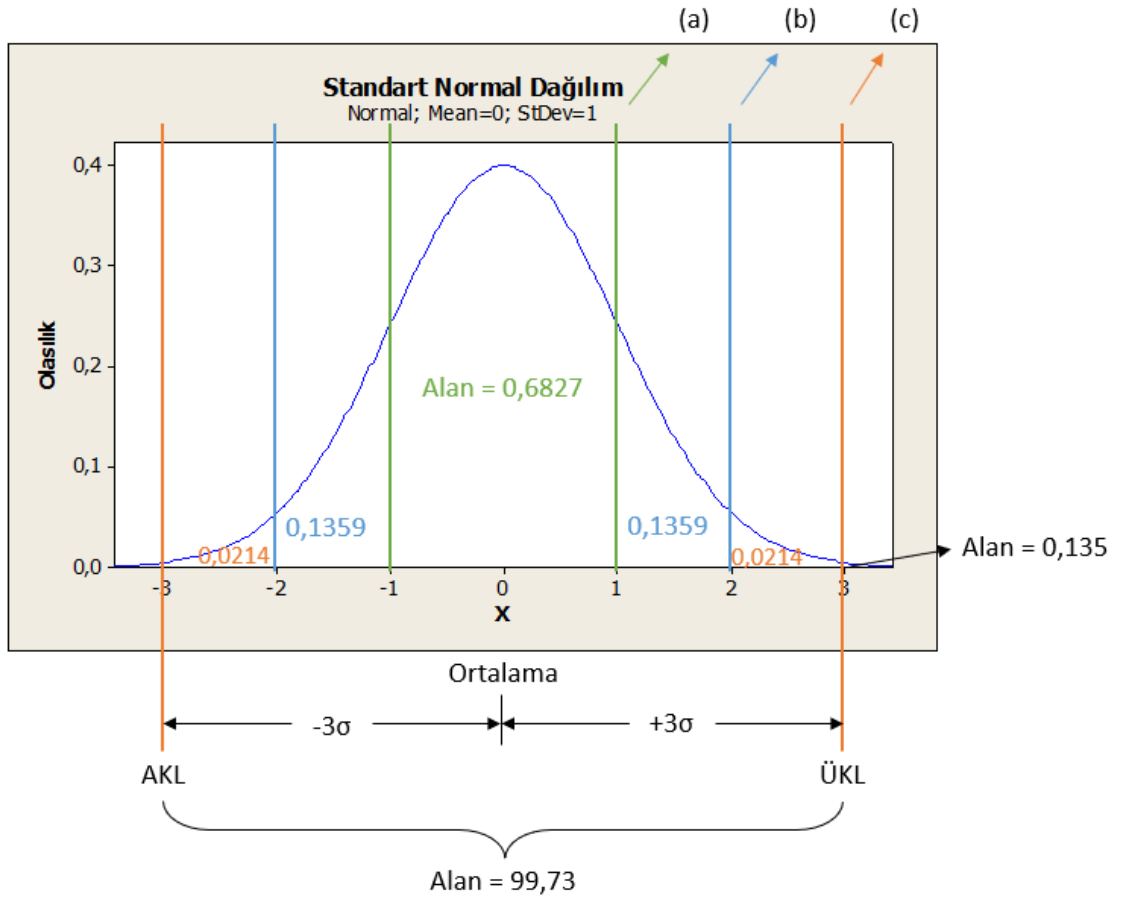
Süreç ortalaması bilinmediği takdirde çeşitli yöntemler kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Montgomery [2]'e göre, Normal dağılan gözlemler için süreç ortalamasına ilişkin en iyi tahmin değeri olarak örneklemelerin ortalamasının ortalaması kullanılmaktadır. Gözlemleri  $X_{ij}$  ile, örneklem sayısını  $m$  ile ve örneklem büyüklüğünü  $n$  ile gösterelim. Burada,  $i$  örneklem sayısı için indeks,  $i = 1, \dots, m$  ve  $j$  örneklem büyüklüğü için indeks,  $j = 1, \dots, n$  olsun. Süreç ortalamasının tahmini için ortalamaların ortalaması (grand average) aşağıda gösterilmiştir:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}$$

Genel olarak,  $n$  değeri için 4 - 6 gözlem,  $m$  değeri için de 20 - 30 örneklem önerilir. Süreç parametrelerinin tahmin edilmesinin, tasarlanan performansın gerçekleşen performanstan farklı olmasına etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu hususta, Quesenberry [9] bir  $\bar{X}$  kontrol grafiğinde  $n = 5$  ve  $m = 100$  olarak belirlendiği durumdaki parametre tahminleriyle elde edilen performans sonuçlarının, süreç parametrelerinin bilindiği durumla oldukça benzer olduğunu ifade etmiştir. Buna göre, farklı  $n$  değerleri için önerdiği örneklem sayısı değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$m = \frac{400}{(n - 1)}$$

Genel olarak uygulamalarda  $L = 3$  seçilir. Bunun altında yatan temel sebep, Shewhart'ın 1924 yılındaki çalışmasına dayanmaktadır. Şekil 2.4.'te gösterilen standart normal dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonunu ele alalım. Fonksiyon, ortalamadan 1, 2 ve 3 standart sapma uzaklığındaki sınırlarla bölündüğünde, eğrinin altında kalan alanlar (olasılıklar) sırasıyla 0,6827, 0,9545, ve 0,9973 olmaktadır.



Şekil 2.4. Normal Dağılım Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun Altında Kalan Alan Değerleri

Buna göre, kontrol altında olan bir süreçte gözlemlerin  $3\sigma$  ile sınırlandırılan alanın dışında olma olasılığı ( $\alpha = 0,0027$ ) oldukça düşüktür ve  $L = 3$  kontrol altındaki bir sürecin çıktısını tanımlamak için makul bir değer olarak kullanılmıştır.



Nicel kalite karakteristikleri ele alındığında hem süreç ortalamasındaki hem de süreç değişkenliğindeki sapmalar izlenir. Bu amaçlarla geliştirilmiş olan Shewhart tipi kontrol grafikleri Tablo 2.1.'de sunulmuştur. Burada,  $\bar{X}$  örneklem ortalamasını,  $\bar{R}$  örneklem ortalamasının ortalamasını,  $s$  örneklem standart sapmasını,  $\overline{MR}$  hareketli değişim aralıklarının ortalamasını,  $d_2$  bağıl değişim aralığının dağılımının ortalamasını,  $d_3$  bağıl değişim aralığının dağılımının standart sapmasını ve  $c_4$  standart sapmanın tahmini için örneklem büyüklüğüne bağlı faktör değerini ifade etmektedir.

Tablo 2.1. Nicel Kontrol Grafikleri

Tanım	Kontrol Limitleri	Örneklem Büyüklüğü
$\bar{X}$ Kontrol grafiği	$\bar{x} \pm L \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$n > 1$
R Kontrol grafiği	$\bar{R} \pm L d_3 \sigma$	$n > 1$
S Kontrol grafiği	$\bar{s} (1 \pm \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2})$	$n > 1$
I Kontrol grafiği	$\bar{x} \pm L \frac{\overline{MR}}{d_2}$	$n = 1$
MR Kontrol grafiği	$\bar{x} \pm L \frac{\overline{MR}}{d_2}$	$n = 1$

Bu tez kapsamında, önerilen yöntemde I (Individuals) kontrol grafiği kullanılacaktır. I kontrol grafiği,  $\bar{X}$  kontrol grafiğinin  $n = 1$  olduğu versiyonudur ve genellikle gözlemlerin elde edilmesi arasında geçen sürenin fazla olduğu, diğer bir deyişle gözlem sayısını artırmanın pek mümkün olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Süreç parametreleri biliniyorsa I grafiği kontrol limitleri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\mu \pm L\sigma$$

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$  ile tek gözlemden oluşan  $m$  tane örneklemimizi gösterelim. Bilinmeyen  $\sigma$ 'nın tahmini için ortalama değişim aralığı  $\overline{MR}$  kullanılabilir. Ortalama değişim aralığı

$$\overline{MR} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=2}^m |x_i - x_{i-1}|$$

$\sigma$ 'nın yanlı bir tahmini olduğundan, yansızlaştırma için bir katsayı olarak  $d_2$  kullanılarak standart sapma tahmini

$$\hat{\sigma} = \overline{MR}/d_2$$

elde edilir. Quesenberry [9], burada parametre tahminlerinin gerçek değere yakınsaması için  $m$ 'nin en az 300 olmasını önermiştir.

Shewhart tipi kontrol grafikleri nicel kalite karakteristiklerinin yanı sıra nitel kalite karakteristiklerinin izlenmesi için de kullanılabilir. Nitel kalite karakteristikleri için Shewhart tipi kontrol grafikleri Tablo 2.2.'de sunulmuştur.

Tablo 2.2. Kalite Karakteristiğine Göre Kontrol Grafikleri

Tanım	Bahse Konu Gözlemlerin Özelliği	Kontrol Limitleri	Temeldeki Dağılım
P Kontrol grafığı	Uygunsuzların Oranı	$\bar{p} \pm L \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	Binom Dağılımı
Np Kontrol grafığı	Uygunsuzların Sayısı	$n\bar{p} \pm L\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	Binom Dağılımı
C Kontrol grafığı	Uygunsuzların Sayısı	$\bar{c} \pm L\sqrt{\bar{c}}$	Poisson Dağılımı
U Kontrol grafığı	Uygunsuzların Sayısı	$\bar{u} \pm L \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$	Poisson Dağılımı

#### 2.1.4. Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği

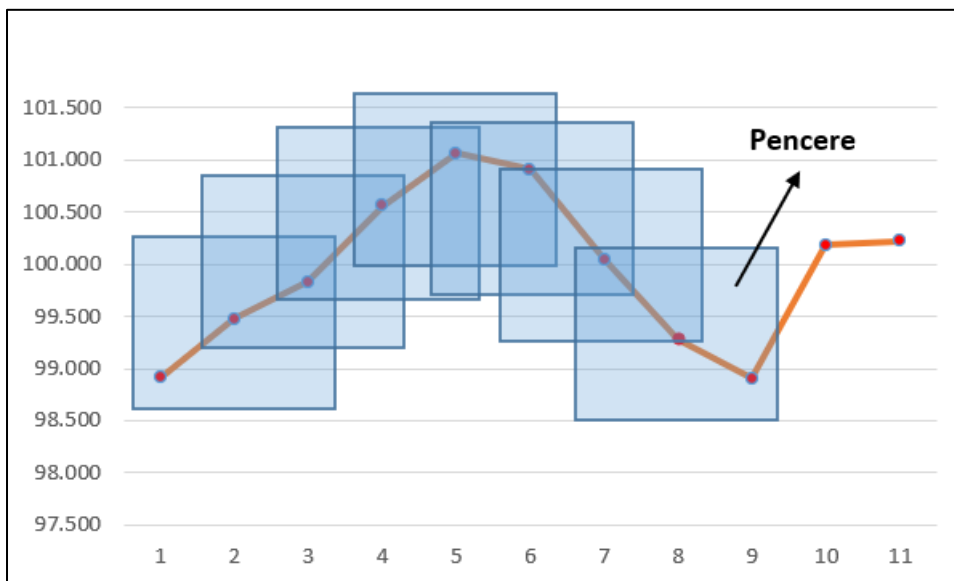
Hareketli ortalama (Moving Average - MA) genellikle bir trend takip yöntemi olarak bilinmektedir. Mühendislik alanında olduğu kadar finans alanında da sıkça tercih edilmektedir. Genel olarak bu yöntem, bir veri serisinin zamana göre ortalamasındaki değişimi izlemek için kullanılmaktadır.

Hareketli ortalama hesaplanırken veri setinde ilk gözlemden itibaren hareketli bir pencere zaman çizgisinde ilerlemektedir. Belirli bir pencere boyutu ( $w$ ) kullanılarak, her yeni gözlem pencereye dahil edilmekte, pencere kapsamındaki en eski gözlem de bu pencereden çıkarılmaktadır. Şekil 2.5.'te  $w = 3$  olan hareketli pencereler gösterilmiştir. Böylece hesaplamaya en fazla pencere boyutu kadar gözlem dahil olmaktadır. Pencere içindeki gözlemlerin ortalaması kontrol istatistiği olarak zamana veya örneklem sırasına göre kontrol grafiğinde çizilerek, kontrol limitleri

$$\text{ÜKL} = \bar{x} + L \frac{\sigma}{\sqrt{w}}$$

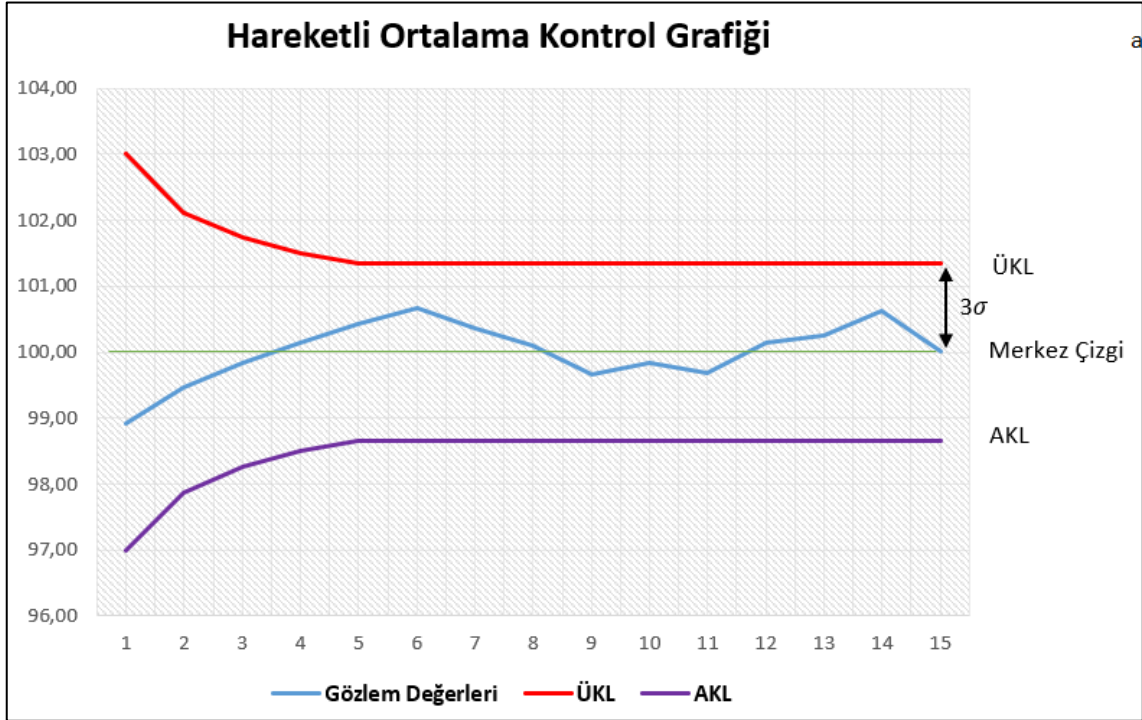
$$\text{AKL} = \bar{x} - L \frac{\sigma}{\sqrt{w}}$$

ile karşılaştırılır.



Şekil 2.5. Hareketli Ortalama Hesabında Kullanılan Hareketli Pencere

Başlangıçta,  $w$  adet gözlem elde edilene kadar, kontrol istatistiği değerleri ve kontrol limitleri mevcut gözlemlerle hesaplanır. Bu nedenle, Şekil 2.6.'da verilen hareketli ortalama kontrol grafiği örneğinde görüldüğü gibi, elde edilen gözlem sayısı pencere boyutuna ulaşana kadar kontrol limitleri arasındaki mesafe, elde edilen gözlem sayısının en az pencere boyutu kadar olduğu durumdaki mesafeye göre daha fazladır.



Şekil 2.6. Hareketli Ortalama Kontrol Grafiği Örneği

Literatürde, Hareketli Ortalama kontrol grafiğinin tasarımına yönelik farklı bir yöntem sunulduğu görülmüştür. Wong v.d. [10], önerdikleri yöntemin aynı  $ARL_1$  değerine sahip diğer tüm hareketli ortalama kontrol grafiği tasarımı yöntemlerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Geliştirilen yönteme ilişkin tasarım adımları aşağıda sunulmuştur.

1.  $ARL_0$  değerinin belirlenmesi
2. Olabildiğince kısa sürede tespit edilmesi arzu edilen süreç ortalamasındaki en küçük sapma miktarına karar verilmesi

3. Belirtilen sapma miktarı doğrultusunda, en düşük  $ARL_1$  değerini veren pencere boyutunun belirlenmesi
4. Merkez çizginin kontrol limitlerine olan uzaklığının ( $L$ ) belirlenmesi

Diğer yandan, Khoo [11] nitel kalite karakteristiklerinin izlenmesi amacıyla Hareketli Ortalama kontrol grafiğinin, P kontrol grafiğine bir alternatif olarak kullanabileceğini savunmuştur. Bu savını, hareketli ortalama kontrol grafiğinin P kontrol grafiğine göre sapmaları tespit etmede daha hassas ve kullanımının daha basit olmasına dayandırmıştır. Bu doğrultuda, araştırmacıların buna daha fazla yönelmeleri için dikkatlerini çekmiştir.

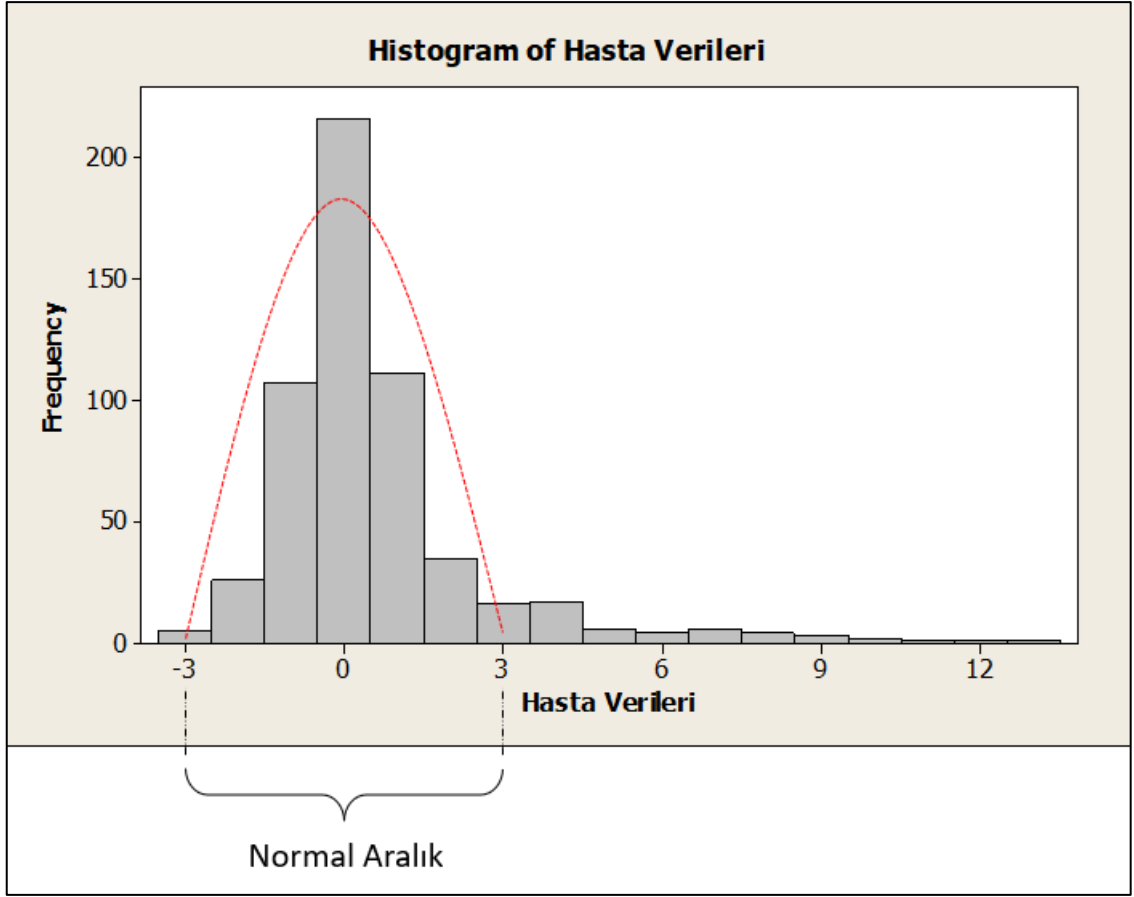
Roberts [12], Hareketli Ortalamalar kontrol grafiği ile Kümülatif Toplam dahil olmak üzere birçok kontrol grafiğini süreçteki sapmaları tespit etmedeki performansları bakımından karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda, Hareketli Ortalamalar ve Kümülatif Toplam kontrol grafiklerinin performanslarının oldukça benzer olduklarını göstermiştir.

Hareketli Ortalamalar yönteminin kullanıldığı ve bu tez kapsamında kullanılan Normallerin Ortalaması kontrol grafiğinin anlatımına aşağıdaki başlıkta yer verilmiştir.

### **2.1.5. Normallerin Ortalaması Kontrol Grafiği**

Normallerin Ortalaması (Average of Normals - AON) kontrol grafiği, klinik laboratuvarlarda hasta verilerinden yola çıkılarak “normal” olduğu değerlendirilen sonuçların ortalamasının alınması suretiyle oluşturulmaktadır.

Şekil 2.7.’de örnek olarak verilen ve hastalara ait ölçümler için oluşturulan grafikte normal aralık olduğu kabul edilen bölge işaretlenmiştir.



Şekil 2.7. Hasta Verilerinde Normal Aralık

İlk olarak Hoffman ve Waid [13] tarafından geliştirilen yöntemde, hasta verileri günlük toplanarak o gün için normal aralıklar belirlenip aşağıda sunulan prosedüre göre hesaplanan kontrol limitleri doğrultusunda izlenmektedir.

1. Normallerin standart sapmasının tahmin edilmesi
2. Normallerin ortalamasının standart sapmasının tahmin edilmesi
3. 2. adımda elde edilen standart sapma değerinin 1,96 ile çarpılması
4. 3. adımda elde edilen değer normal aralığın merkez değerine eklenmesi ile üst kontrol limitinin, merkez değerden çıkarılması ile alt kontrol limitinin elde edilmesi (%95'lik bir güven aralığı seçilmiştir)

Normallerin ortalaması kontrol grafiği oluşturulurken 600 hastaya ait 10 adet test sonucu analiz edilmiştir. Ayrıca, hasta verileri günlük olarak toplandığından ve bazı laboratuvarların kapasiteleri farklılık gösterebileceğinden, test sayılarında farklılıklar olabileceği, dolayısıyla kontrol limitlerinin genişliğinde değişiklik yapmak gerekeceği dile getirilmiştir. Bu durumda, güven aralığının değişken şekilde belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Normallerin ortalaması yönteminde kontrol limitlerinin dışında bir nokta tespit edildiğinde hastaya ait test sonucunun raporlanmadan önce limit aşımının araştırılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, iki gözlemin art arda aynı limitlerin dışına çıkmasının, mutlaka bir sorun olduğunun göstergesi olarak nitelendirilebileceği belirtilmiştir.

Ancak, normallerin ortalaması yöntemine ilişkin sunulan prosedür araştırmacılar tarafından yetersiz görülmüş olup yöntemin mevcut haliyle sistematik hatalara duyarsız olduğu belirtilmiştir [14][15][16].

Reed [17], normallerin ortalaması yöntemi üzerinde matematiksel incelemeler yaparak mevcut prosedür üzerinde iki değişiklik önermiştir. İlk olarak ortalamaların hesabında aynı sayıda testlerin kullanılmasını tavsiye etmiş, farklı günlerde değişken sayıdaki testlerden elde edilen ortalamaların kontrol grafiğinde değişkenliğe sebep olacağını belirtmiştir. Diğer önerisinde ise normal aralık belirlenirken ilgili laboratuvarın normal aralığının da hesaba katılması gerektiğini ifade etmiştir. Nihai olarak, normallerin ortalaması yönteminin klinik laboratuvarlarda kullanımının cazip hale gelmesi için üzerinde daha çok geliştirme yapılması gerektiğine dikkat çekmiştir.

Cembrowski v.d. [18], normallerin ortalaması yöntemini hataların tespiti bakımından değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde yöntemin performansını etkileyen kriterleri aşığıdaki şekilde belirlemişlerdir.

- Popülasyon sayısının analitik değişkenliğe oranı
- Kontrol limitleri
- Ortalaması alınan gözlem sayısı
- Kesme limitleri (truncation limits)

- Kesme sınırına komşu popülasyon sayısı

Bu kriterlerin dikkatli ve doğru seçilmesi durumunda normallerin ortalaması yönteminden etkin sonuçların elde edilebileceği ve yöntemin klinik laboratuvarlarda kullanımının öneminin artacağı ifade edilmiştir.

Liu v.d. [19], Normallerin Ortalaması kontrol grafiğinin laboratuvar uygulamalarında yardımcı bir araç olarak kullanılmasına rağmen kontrol dışı durum sinyali vermesi durumunda uygulanacak adımların literatürde yeterli seviyede tanımlanmadığını ifade etmişlerdir. Buna yönelik olarak, gerçekte kontrol dışı bir durumun tam olarak ne zaman meydana geldiğinin tespit edilebilmesi amacıyla aşağıda belirtilen iki konuya yoğunlaşmışlardır.

- Analitik bir sapmanın meydana gelmesinin ardından sürecin durağan hale geldiği zamandaki konumunun tespit edilmesi
- Daha önceden tutulmuş olan, durağan haldeki sürece ilişkin hasta verileri kullanılarak, süreçteki sapmanın gerçekte analitik bir sapmaya ait olup olmadığının tespit edilmesi

Analitik sapmanın tespit edilmesi her ne kadar görsel olarak mümkün olsa da belirgin olmayan ve kronik sapmaların tespitinin zor olabileceğini belirtmişlerdir. Süreçteki sapmanın meydana geldiği zamanın her zaman bilinmeyeceğine dikkat çekerek ihtiyaten en uzun sapma süresinin dikkate alınmasını önermişlerdir.

Badrick ve Graham [20], İç ve Dış Kalite Kontrol değerlendirmelerinin Normallerin Ortalaması yöntemi ile birlikte kullanılabileceğini belirtmişlerdir. İç Kalite Kontrol değerlendirmelerinde her ne kadar talimatnameler mevcut olsa da uygulamanın yine de etkin olmadığı, Dış Kalite Kontrol değerlendirmelerindeyse gözlem sayısının daha fazla olduğunu ve daha gelişmiş raporlama yapıldığını ifade etmişlerdir. Diğer yandan, Normallerin Ortalaması yönteminin, analitik eğilimi anlamada hemen hemen gerçek



zamanlı bir izleme sağladığını, çoğunlukla stabil gözlem değerleri için en uygun yöntem olduğunu ve değişkenliklere karşı hassas olduğunu belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, geleneksel İç Kalite Kontrol değerlendirmeleri yerine Normallerin Ortalaması yönteminin kullanılabilirliğini; bunu gerçekleştirebilmek içinse Dış Kalite Kontrol değerlendirmelerinin gerçek zamanlı hale getirilmesi ve mevcut durumdakine göre daha fazla gözlem değeri elde edilmesi gerektiğini dile getirmişlerdir.

Bir Normallerin Ortalaması kontrol grafiğinin limitleri aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\bar{x}_{AON} \pm L_{AON} \frac{\sigma_{AON}}{\sqrt{w}}$$

Burada,  $\bar{x}_{AON}$  normal olarak belirlenen gözlem değerlerinin ortalamasını,  $\sigma_{AON}$  bu değerlerin standart sapmasını,  $L_{AON}$  Normallerin Ortalaması kontrol grafiğinde merkeze olan uzaklığın  $\sigma_{AON}$  cinsinden değerini,  $w$  Normallerin Ortalaması kontrol grafiğinde kullanılan hareketli pencerenin boyutunu ifade etmektedir.

### 2.1.6. Çok Değişkenli Shewhart Kontrol Grafikleri

Bir sürecin çıktısı birden fazla kalite karakteristiğiyle açıklanabiliyorsa, diğer bir ifadeyle bir süreç çıktısının eş zamanlı olarak birden fazla özelliğinin izlenmesi gerekiyorsa bu tür kontrol grafikleri çok değişkenli (multivariate) olarak ifade edilmektedir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinden en yaygın olanı Hotelling [21] tarafından geliştirilen Hotelling's  $T^2$  kontrol grafiği olup Shewhart kontrol grafiğinin çok değişkenli varyantı olarak nitelendirilmektedir [2]. Shewhart kontrol grafiğinde olduğu gibi, Hotelling's  $T^2$  kontrol grafiğinde de son gözlemlere ilişkin bilgi kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, çok değişkenli izleme için geçmiş verilerin hesaba katıldığı, 1954 yılında Page [22] tarafından geliştirilen Kümülatif Toplam (CUSUM) ve 1959 yılında Roberts [23] tarafından geliştirilen Üssel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) kontrol grafiklerinin çok değişkenli varyantları tercih edilebilmektedir [24].

## 2.2. Kontrol Grafiklerinin Ekonomik Tasarımı

Kontrol grafiklerinin kullanım amacı genel olarak, değişkenliklerin azaltılarak kalitenin artırılması, süreçte iyileşme sağlanması ve maliyetin olabildiğince azaltılmasıdır. Ancak, kontrol grafiklerinin kullanılmasının da bir maliyeti vardır. Buna karşın, kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı konusunda literatürde, hem matematiksel modellemenin karmaşık olması dolayısıyla pratikte kullanımının zorluğu, hem de matematiksel modelde kullanılacak maliyetlerin tahmininin zorluğu nedeniyle yapılan çalışmaların az olduğu ve dolayısıyla endüstride pek yaygın kullanılmadığı görülmektedir [25]. Çoğu çalışmada kontrol grafikleri tasarlanırken ekonomik tasarımlar yerine istatistiksel tasarımlarla karşılaşılmaktadır.

Duncan [26], literatürde kontrol grafiklerinin ekonomik anlamda ele alındığı esas makalelerden biri olan ve daha sonra üzerinde birçok araştırmacı tarafından optimizasyon modelleri bildirilen çalışmasında,  $\bar{X}$  kontrol grafiğini kullanarak, kontrol limitleri  $\bar{X} \pm L(\sigma/\sqrt{n})$  olan bir sürece yönelik olarak uzun vadede en yüksek ortalama net gelir (average net income) değerini belirleyebilmek için algoritma geliştirmiştir.

Algoritmayı oluştururken, süreçte meydana gelen herhangi bir değişikliğin bilinen oranlarda olması gerektiğini düşünerek, saptanabilir sebepten kaynaklanan değişkenliğin meydana gelmesi için gerekli ortalama sürenin  $1/\lambda$  (sürecin kontrol altında olduğu ortalama süre) olduğunu ve süreçte  $\delta\sigma$  kadarlık sapma gerçekleştiğini varsaymıştır. Ayrıca sürecin başlangıçta kontrol altında olduğunu, gözlemlerin kontrol limitlerinin dışına çıktığı durumda aksiyon alınacağını ve aksiyon alınırken sürecin durdurulmadığını varsaymıştır.

Duncan [26] çalışmasında, süreçte tek bir saptanabilir sebebin ve birden fazla saptanabilir değişkenliğin meydana geldiği iki ayrı duruma yer vermiştir. Birden fazla saptanabilir sebebin meydana geldiği durum için önerdiği algoritmada;

- Saptanabilir sebepten kaynaklı bir değişkenlik ortaya çıktığında buna ilişkin sebebin tespit edilebilme olasılığı,  $P$

- Saptanabilir sebepten kaynaklı değişkenliğin ortaya çıktığı örneklem arasındaki aralık,  $h$
- Örneklem sayısı,  $n$
- Örneklem sayısı  $n$ 'nin artmasıyla birlikte artış gösteren, verinin toplanmasıyla kontrol grafiğinde gösterilmesi arasındaki süreye ilişkin oran,  $e$
- Kontrol limitleri dışına çıkan bir veri olması durumunda ilgili saptanabilir sebebin tespit edilme süresi,  $D$

olmak üzere, meydana gelen  $j$  saptanabilir değişkenlikten sonra, ilgili sebebin tespit edilebilmesine kadar geçen süre aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir:

$$\left(1/P_j - 1/2 + \frac{\lambda_j h}{12}\right)h + en + D_j$$

Minimum maliyet değerinin hesaplanmasında kullanılan değişkenler:

- Normal çalışma süresinin kontrol dışında olan kısmı,  $\gamma$
- Süreç kontrol altındayken elde edilen gelirin saat başına oranının kontrol dışındaykenki oranına olan farkı,  $M$
- Normal çalışma süresinin kontrol altında olan kısmı,  $\beta$
- Süreç kontrol dışına çıkmadan önce, beklenen yanlış alarm sayısının beklenen örneklem sayısına oranı,  $\alpha$
- Sürecin yanlış sinyal vermesi durumunda saptanabilir değişkenliğe ilişkin kök nedenin araştırılması maliyeti,  $T$
- Sürecin bir saatte kontrol dışına çıktığı ortalama değer,  $\epsilon$
- Zaman indeksi,  $i$
- Saptanabilir değişkenliğin nedeninin araştırılmasına ilişkin maliyet,  $W$
- Örneklem sayısından bağımsız olarak örneklem alınmasına ilişkin maliyet,  $b$
- Örneklem almanın örneklem sayısı bazında birim başı maliyeti,  $c$

ile gösterilmiştir.

Yukarıda tanımlanan parametreler doğrultusunda, saptanabilir sebepten kaynaklı değişkenliğin tespit edilme süresi (kontrol dışı durumdayken sürecin devam ettiği her birim sürenin cezalandırılması), örneklem alma maliyeti, kontrol grafiğinin yanlış alarm vermesi durumunda kök nedenin araştırılması gibi maliyet kalemleri hesaba katılmıştır. Buna göre, minimum maliyet değeri,  $L'$

$$L' = \sum \gamma_j M_j + \beta \frac{\alpha T}{h} + \sum \epsilon_i W_i + \frac{b}{h} + \frac{cn}{h}$$

ile hesaplanabilmektedir. Duncan [26]'ın geliştirdiği bu model, kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı konusunda yapılan sonraki çalışmalar için öncü bir rol üstlenmiş olup bunun üzerinde birçok araştırmacı tarafından farklı varsayımlarla farklı şartlara hizmet edecek şekilde çeşitli değişiklikler yapılmıştır [27].

Silver ve Rohleder [28], iki farklı prensip üzerinde çalışarak kıyaslamalarını sayısal değerlerle analiz etmişlerdir. “Durgun politika” olarak isimlendirdikleri birinci politikada, Chung [1]'in çalışmasından yola çıkarak kontrol grafiğine ilişkin  $n$ ,  $k$  ve  $h$  parametrelerini, sürecin kontrol dışına çıkma sıklığında zaman içerisinde hiçbir değişim olmadan; diğer bir deyişle süreçte iyileşme olmadığı durum için belirlemişlerdir. İkinci politikada, süreçte meydana gelen her bir kontrol dışı duruma ilişkin olarak gerçekleştirilen düzeltici faaliyetler sonrasında, ilgili süreçte iyileşme meydana geldiği varsayımıyla süreçte birim zamanda meydana gelen sapma oranı  $\lambda$  değerinin zamanla azaldığı şekilde değerlendirme yapmışlardır. Bu iki politikanın sonuçları kıyaslandığında genel olarak ikinci politikanın  $\lambda = 0.01$  'den daha küçük bir değer aldığında ortalama net gelirin optimale yakın olmasına karşın, en küçük  $\lambda$  değeri için bile “Durgun politika”da yüksek maliyetlerle karşılaşmıştır.

Ekonomik tasarımla ilgili algoritmalar tasarlanırken sürecin kontrol altında olduğu ve kontrol dışına çıktığı durumlar arasındaki geçişler ifade edilirken araştırmacılar genel

olarak bazı varsayımlarda bulunmaktadır. Woodall [29] ve Montgomery [2]'e göre bu varsayımlarda bulunulması, ekonomik tasarım algoritmalarının geliştirilebilmesi için gerekli olup, saptanabilir değişkenliğin meydana gelerek sürecin kontrol dışı duruma geçtiği zamanın, genellikle Poisson dağılımlı rastgele aralıklar olduğu varsayılmaktadır.

Aroian ve Levene [30], bir süreç kontrol altındayken, uzun dönemde bakıldığında kontrol grafiği her  $\alpha$  sürede bir yanlış sinyal vereceğinden sürecin gereksiz yere durdurulmuş olacağını belirterek bu durumun maliyet değerlendirmesinde hesaba katılması gerekliliğini ifade etmişlerdir.

İlerleyen zamanlarda farklı kontrol grafikleri için çeşitli ekonomik tasarım algoritmaları üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Arnold and Collani [31], Shewhart kontrol grafiklerinin ekonomik iyileşme anlamında diğer kontrol grafiklerine göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Literatürdeki çalışmalardan yola çıkarak, önerilen yöntemin ekonomik değerlendirmesi dördüncü başlıkta ele alınmıştır.

### **2.3. Kontrol Limitlerinin Revizyonu**

Bir kontrol grafiği oluşturulurken, Faz 1 aşamasında geçmiş veriler kullanılarak parametreler tahmin edilir ve bu parametreler kullanılarak ÜKL ve AKL belirlenir. Süreci temsil edeceği düşünülen parametreler ile tasarlanan kontrol grafiği, Faz 2 aşamasında çevrim içi süreç izlemede kullanılır. Faz 2 için belirlenen kontrol limitleri zaman içerisinde süreçte meydana gelebilecek değişimler dolayısıyla zaman zaman güncellenmelidir. Ancak bu konuda çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Mitra [5], kalite kontrolün ve iyileştirmenin sonu gelmeyen bir süreç olduğunu, etkin bir süreç iyileştirme için kontrol grafiğinin idamesinin oldukça önemli bir husus olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, istatistiksel kalite kontrolde kontrol grafiğinin oluşturulması kadar güncel olmasının da bir o kadar önemli olduğunu ifade etmiştir. Montgomery [2], kontrol grafiğinin etkin şekilde kullanımının kontrol grafiği bileşenlerinin düzenli olarak güncellenmesiyle mümkün olduğunu belirtmiştir. Bu doğrultuda, kontrol limitlerinin

düzenli olarak her 25, 50 ya da 100 gözlemden bir revize edildiği uygulamaların da olduğundan bahsetmiştir. Ayrıca,  $\bar{X}$  kontrol grafiğinin limitlerinin revizyonu için R kontrol grafiğinin kontrol dışı sinyali vermesi durumunu bir örnek olarak sunmuştur.

Fairfield [32], kontrol limitlerinin revize edileceği zamanın nasıl belirleneceği konusunda kontrol grafiği kullanıcılarının bir arayış içerisinde olduklarını belirtmiştir. Bu hususta öncelikle ilgili süreç hakkında derin bir bilgi ve tecrübeye sahip olunması ve süreç ortalamasının revize edilmesinin icap ettiğine dair bir olasılık tahmini için yöntem geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu doğrultuda, kontrol limitlerinin güncellenmesi gerekliliğine yönelik bir olasılık hesabı yöntemi geliştirmiştir. Önerilen yöntemde, elde edilen her yeni gözlemin merkez çizginin üst kısmında yer alma olasılığı  $p = 0.5$  olan binom dağılımı ile modellenmiş, revizyon kararı için aşağıdaki olasılık hesabı dikkate alınmıştır:

$$\binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

Burada,  $n$  elde edilen gözlem sayısını,  $k$  da merkez çizginin alt kısmında bulunan gözlem sayısı ile merkez çizginin üst kısmında bulunan gözlem sayısının farkını göstermektedir.

Buna göre, elde edilen değer doğrultusunda aşağıdaki aksiyonlar alınmaktadır.

- 0,1’den büyük bir değer elde edilmesi durumunda herhangi bir aksiyon alınmasına gerek bulunmamaktadır. Fakat süreç yakından takip edilmelidir.
- 0,05 - 0,1 aralığında bir değer elde edilmesi durumunda kontrol limitlerinin revize edilmesine şüphe ile yaklaşılmalıdır.
- 0,02 - 0,05 aralığında bir değer elde edilmesi durumunda sistematik bir hata olduğu varsayılarak gerekli aksiyonlar alınmalıdır.
- 0,02’den küçük bir değer elde edilmesi durumunda süreçte sistematik bir hatanın olduğuna kesin gözüyle bakılarak en kısa sürede düzeltici aksiyon alınmalıdır.

Flaig [33], kontrol limitlerinin revize edilmesinin oldukça önemli olduğunu fakat buna rağmen araştırmacıların bu konuya eğilmediklerini ya da bu konuda belirgin bir yöntem olmadığını dile getirmiştir. Bu hususta, süreçte herhangi bir istikrarsızlık fark edildiğinde revizyon kararının Tablo 2.3.'e göre gözden geçirilmesini önermiştir.

Tablo 2.3. Revizyon Kararının Gözden Geçirilmesi

<b>Sistematik Hatanın Sebebinin Araştırılması Durumu</b>	<b>Düzeltilici Faaliyet Uygulanması</b>	<b>Kontrol Limitlerinin Revize Edilmesi</b>
Sebebin bulunamaması	-	Revize edilmez
Sebebin bulunması (sürecin iyileştiği durum)	Düzeltilici faaliyetin uygulanması	Revize edilir
	Düzeltilici faaliyetin uygulanamaması	Revize edilmez
Sebebin bulunması (sürecin kötüleştiği durum)	Uygunsuzluğun ortadan kalkması	Revize edilmez
	Uygunsuzluğun devam etmesi	Revize edilir

Buna göre;

- Sistematik hataya dair bir sebebin bulunamaması, düzeltilici faaliyet uygulanmaması ve sistematik hatanın ortadan kaldırılarak sürecin eski haline getirilmesi durularında kontrol limitleri revize edilmemektedir.
- Sistematik hataya dair bir sebep bulunarak düzeltilici faaliyet uygulandığında süreçte iyileşme görülmesi ve süreçte sistematik bir hata olup ortadan kaldırılamaması durumlarında kontrol limitlerinin revize edilmesi gerekmektedir.

Vining [34], Faz 1 aşamasında süreç parametrelerinin tahmin edildiğini, Faz 2 aşamasında ise süreç parametrelerinin bilindiğinin varsayıldığını belirterek Faz 1 aşamasındaki parametre tahmini ne kadar iyi olursa Faz 2 aşamasında o kadar iyi sonuçlar alınacağını vurgulamıştır. Ayrıca, genel uygulamada Faz 1 aşamasında sürecin stabil hale gelmesinin hemen ardından Faz 2 aşamasına geçildiğini, sonrasında sürecin kontrol dışı

durum sinyali verebileceğini ifade ederek Faz 1 aşaması ne kadar uzun sürerse Faz 2 aşamasına geçmek için o kadar çok beklenmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda, parametre tahminlerinin periyodik olarak güncellenmesini önermiştir. Bunun için, süreç parametrelerinin makul bir seviyeye ulaşıncaya kadar - makul seviyeye ulaşmak için önerilen örneklem sayısı, sürecin kontrol altında olduğunun varsayıldığı durumda 80-100 civarındadır - sürecin kontrol dışına çıktığı durumlarda kontrol limitlerinin güncellenmesini tavsiye etmiştir.

Huberts v.d. [35], süreç izlemede kontrol limitlerinin güncellenmesinin etkisine dair literatürde pek bir araştırma olmadığını belirtmişlerdir. Buna yönelik yaptıkları çalışmada, kontrol limitlerinin belirli aralıklarda güncellendiği durum için Shewhart, EWMA ve CUSUM kontrol grafiklerinin performanslarını incelemişlerdir. Bu doğrultuda, sürecin kontrol altında olduğu ve olmadığı durumlar, kontrol dışı durumda kök nedenin tespit edilebildiği ve edilemediği durumlar, süreçteki sapma büyüklüğü ve kontrol limitleri içinde yer alan gözlem sayısı için ikişer farklı durum olmak üzere on altı ayrı senaryo ele alınmıştır. Performans değerlendirmesinde doğru ve yanlış sinyallerin sayısı ve ARL değerleri hesaba katılmıştır. Elde ettikleri sonuca göre, beklendiği gibi Shewhart kontrol grafiğinin büyük sapmaları, EWMA ve CUSUM kontrol grafiklerininse küçük sapmaları tespit etmede daha iyi olduğu görülmüştür. Başlangıçtaki veri sayısı çok az olsa bile kontrol limitlerinin güncellenmesi durumunda her üç kontrol grafiği de oldukça yüksek performans göstermiştir. Ayrıca, kontrol dışı durumda soruna yönelik bir kök nedene ulaşılabilirse kontrol limitlerinin güncellenmesi önemle tavsiye edilmiştir.

Capizzi ve Masarotto [36], parametre tahmininin kontrol grafiklerinin performansına olan etkisinin oldukça fazla olduğuna dikkat çekmiş olup parametre tahmininin Faz 2 aşamasında da güncellenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Buna yönelik olarak süreç parametrelerinin gecikmeli şekilde güncellenmesine dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Gecikmeli güncelleme, Faz 1 aşamasındaki parametre tahmininin güncellenmesinin Faz 2 aşamasına bırakılmasından ileri gelmektedir. Buna göre, normal dağılan tekil gözlem değerleri Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri kullanılarak izlenmiştir. Faz 2 aşamasında, ilk gözlem değeri için  $i = 1$  anında gecikme katsayısı  $d = 1$ , Faz 1 aşamasında tahmin edilen süreç parametreleri  $\bar{x}_0$  ve  $s_0$  olarak belirlenmiştir. Bu



doğrultuda, her yeni gözlem değeri için aşağıdaki formül kullanılarak gecikme katsayısının yeni değeri hesaplanmaktadır.

$$d_{i+1} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{r=i-d_i+1}^i \left( \frac{x_r - \bar{x}_{i-d_i}}{s_{i-d_i}} \right)^2 < Ad_i - B \\ d_i + 1, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Burada,  $A$  ve  $B$  pozitif sabitler olup  $A = 1,5$  ve  $B = 50$  olarak seçilmesi önerilmiştir. Hesaplanan yeni  $d$  değerinin artması durumunda süreç parametreleri yeniden tahmin edilerek kontrol grafiği güncellenmektedir. Çalışma sonucunda, fazla sayıda meydana gelen ve tahmin hatalarından kaynaklanan yanlış sinyallerin sayısının azaldığı ifade edilmiştir.

Huberts v.d. [37], Capizzi ve Masarotto [36]'nın çalışmasının gelecekteki potansiyelini vurgulamışlar ve bu çalışmanın kapsamını genişleterek değerlendirme yapmışlardır. Çeşitli parametre değerlerini kullanarak yaptıkları çalışmada  $A$  pozitif sabitinin 1 ile 2 arasında,  $B$  pozitif sabitininse 50 ile 200 arasında değer aldığı bir Monte Carlo simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda,  $A$  ve  $B$  pozitif sabitleri için Capizzi ve Masarotto [36] tarafından sırasıyla 1,5 ve 50 olarak önerilen değerlerin optimal bir performans sağlamadığını gözlemlenmiştir.  $A = 2$  ve  $B = 50$  olarak seçilmesi durumunda, en küçük sapma ( $\delta = 0,25$ ) miktarı için Shewhart kontrol grafiğinin, büyük sapma miktarları ( $\delta = 1,5, 2$ ) içinse her üç kontrol grafiğinin de en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Kontrol limitlerinin revizyonu her ne kadar tavsiye edilen bir husus ve kontrol grafiklerinin etkinliğini artıran bir etmen olarak görülse de literatürde bu konuya yönelik çok sınırlı çalışma mevcuttur. Bu doğrultuda, metodoloji başlığında kontrol limitlerinin revizyonuna karar verilmesine yönelik geliştirilen yöntem anlatılmıştır.

## 2.4. Stokastik Süreçler ve Atlamalar

İstatistiksel kalite kontrol uygulamalarında kontrol grafiklerinin standart kullanımında bir süreç kontrol dışına çıkmış ise (saptanabilir değişkenlik mevcut ise) ve kontrol grafiği sinyal veriyorsa bu sinyal doğru sinyal olarak adlandırılır ve bu durumda süreç iyileştirilmelidir. Bir süreçte herhangi bir saptanabilir sebep mevcut değilse (rastgele değişkenlik mevcut ise) kontrol grafiğinin vereceği bir sinyal yanlış sinyal olarak adlandırılır. Ancak, bir süreçte herhangi bir saptanabilir değişiklik meydana gelmemiş olsa bile süreçlerin dinamik doğası gereği zaman zaman süreç parametrelerinde küçük sapmalar meydana gelebilmektedir. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak, sürecin kontrol altında olduğu durumda parametrelerinin bir sabit değer olarak değil de stokastik bir süreç olarak modellenebileceği varsayılmıştır. Barnard [38], gerçek yaşamdaki süreçlerin doğal değişkenliğinin bir stokastik süreç olarak ifade edilebileceğini, böylelikle süreçte meydana gelen kontrol dışı bir durumda kontrol grafiğinden sinyal almanın yanında, bu sapmanın büyüklüğünü, dolayısıyla da ne büyüklükte bir düzeltme ihtiyacı olacağını da tahmin edilebileceğini ifade etmiştir. Bu kapsamda, normal dağılım ile modellenen, varyansı sabit ve ortalaması  $\mu_t$  olan stokastik bir süreçteki rastgele değişkenlikleri, “atlamalar” olarak isimlendirmiştir. Bu atlamaların özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Birim zamanda  $\lambda$  oranla gerçekleşir, Poisson dağılır.
- Sıfır ortalama ve  $\sigma$  standart sapma değerine sahip  $\delta$  büyüklüğünde meydana gelir, Normal dağılır.

Bir süreç kontrol altındayken de süreçte atlamalar meydana gelebilmekte olup bunlar süreç ortalamasında kısa vadeli değişikliğe sebep olabilmektedir. Fakat  $\delta$  rastgele değişkeninin ortalama değeri sıfır olduğundan, uzun vadede süreç ortalamasında herhangi bir eğilime neden olmayacağı için, rastgele değişkenliklerin davranışı kısa vadede incelenebilmektedir. Buradan yola çıkarak bu tez çalışmasında, süreçteki rastgele değişkenlikler (küçük sapmalar) atlamalarla modellenmiştir. Süreçteki küçük sapmaların incelenerek kontrol limitlerinin revizyonu için karar verilmesine yönelik yöntem geliştirilmiştir. Büyük sapmaların meydana gelmesi durumu sürecin kontrol dışına çıkması olarak ele alınacaktır.

### 3. METODOLOJİ

Literatür taramasında da ifade edildiği üzere, kontrol grafiklerinin belirli zaman veya koşullarda güncellenmesi gerekmektedir. Ancak literatürde bu konu üzerine kapsamlı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar sonucunda, kontrol grafiklerinin revizyonu ile ilgili olarak geliştirilen yöntem bu bölümde sunulmaktadır. Bu çalışmada Faz 1 aşaması kapsam dışında tutulmuştur.

#### 3.1. Bütünleşik Revizyon Kontrol Grafiği Modeli

Shewhart kontrol grafikleri süreçteki son örneklemeden elde edilen bilgiyi hesaba katmakta olup, büyük sapmaları yakalamada tercih edilen yöntemdir. Ancak, CUSUM, EWMA ve MA gibi zaman ağırlıklı kontrol grafikleri, süreçteki küçük sapmaları yakalamada daha iyi performans sergileyebilmektedir. Montgomery [2] MA kontrol grafiğinin, Shewhart kontrol grafiğine göre küçük sapmaları daha iyi yakalayabildiğine değinmiş, CUSUM kontrol grafiğine nazaran uygulamasının daha kolay olduğunu belirtmiştir.

Kontrol dışı durumların tespiti için süreç izleme amacıyla hem büyük hem de küçük süreç sapmalarının etkin tespitine yönelik bütünleşik kontrol grafikleri literatürde önerilmiştir. Lucas ve Saccucci [39], EWMA ve CUSUM kontrol grafiklerinin zaman ekseninde gözlem ortalamalarını izlediklerini, bunların uç değerleri ve küçük sapmaları yakalamada Shewhart kontrol grafiklerine göre daha çevik olduklarını ifade etmişlerdir. Süreçteki büyük sapmaları yakalamada daha iyi performans sergileyen Shewhart kontrol grafiği ile EWMA kontrol grafiğini birlikte ele alarak “Birleşik Shewhart-EWMA” kontrol grafiğinin büyük ve küçük sapmaları yakalamada daha gelişmiş özellikler gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Diğer yandan, geniş kapsamlı bir simülasyon çalışmasından elde ettikleri sonuçları değerlendirerek, EWMA ve CUSUM kontrol grafiklerinin birbirlerine oldukça benzediklerini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Westgard v.d. [40], Shewhart ve CUSUM kontrol grafiklerinin birlikte kullanıldığı Birleşik Shewhart-CUSUM kontrol grafiğine ilişkin analizlerinde sistematik hataların yakalanmasında daha iyi sonuç aldıklarını bildirmişlerdir. Talordphop v.d. [41], Hareketli Ortalama kontrol grafiği ile, Patel ve Divecha [42] tarafından geliştirilen ve klasik EWMA kontrol grafiğine göre daha

iyi performans sergilediği ifade edilen modifiye EWMA kontrol grafiğinin birlikte kullanıldığı bir yöntem geliştirmişlerdir. Shewhart, Hareketli Ortalama kontrol grafiklerinin de değerlendirmeye alındığı Monte Carlo simülasyonunda ARL değerlerinin kıyaslanması sonucunda, geliştirilen yöntemin süreçteki küçük ve büyük sapmaları yakalamada oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Alevizakos v.d. [43], dört katlı EWMA kontrol grafiğini geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem klasik EWMA, iki katlı EWMA ve üç katlı EWMA kontrol grafikleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, küçük sapmaları yakalamada dört katlı EWMA kontrol grafiğinin diğer kontrol grafiklerine göre daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca, gelecek çalışmalara yönelik önerilerinde dört katlı EWMA kontrol grafiğinin Shewhart kontrol grafiğiyle birlikte kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir.

Wong v.d. [10], MA kontrol grafiğinin küçük ve orta büyüklükteki sapmaları tespit etmede iyi olduğunu belirtmelerinin yanı sıra büyük sapmaları yakalamadaki performansının artırılabilmesi için Shewhart kontrol grafiğiyle birlikte kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca bütünlük MA-Shewhart kontrol grafiğinin tasarımında uygulanacak adımlara yönelik yöntem geliştirmişlerdir.

Bunların yanı sıra, Hoffman ve Waid [13] tarafından ortaya atılan Normallerin Ortalaması, daha çok sağlık sektöründe hasta verilerine yönelik olarak geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Buna göre, AON kontrol grafikleri ile izleme yapılırken alınan gözlemler kesme limitleri ile karşılaştırılır, limitleri aşan gözlemler hesaplamalar dışında tutulur. Böylece süreç çıktılarının bulunması gereken normal aralık belirlenmiş olur. Westgard v.d. [44], AON yönteminin bir sistemdeki durağan gidişatın ardından ortaya çıkan bir istikrarsızlığın yakalanabilmesi konusunda istatistiksel anlamda bir dayanak sunması dolayısıyla süreçlerin durağanlığını izlemek için kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında, AON kontrol grafikleri Shewhart kontrol grafikleri ile bütünlük olarak kullanılacaktır. Ancak, bu bütünlük sistem süreç izleme ile birlikte kontrol limitlerinin revizyon kararının verilmesi için olup, literatürdeki farklı büyüklüklerdeki süreç sapmalarının etkin izlenmesi için olan bütünlük sistemlerden farklıdır. Önerilen yöntem, Shewhart kontrol grafiği ile süreçteki kontrol dışı durumların izlenmesi, AON

kontrol grafiği ile de Shewhart kontrol grafiğinin kontrol limitlerinin revize edilmesi kararının verilmesidir. Süreç ortalamasının bir rastgele değişken olduğu, bu rastgeleliğin bir sebebinin süreçte meydana gelebilen, sebebi bilinmeyen ancak olağan kabul edilen küçük değişiklikler, diğer bir sebebinin de kaynağı belirlenebilir kontrol dışı durumlar olduğu kabul edilmektedir. Olağan kabul edilen küçük değişikliklerin tespit edilmesi süreç parametrelerinin revize edilmesi için bir karar olarak ele alınacak, bu amaçla da AON kontrol grafiği kullanılacaktır. Revizyon kararı ile Shewhart kontrol grafiklerinin kontrol limitleri revize edilerek süreç izlemeye devam edilecek, kontrol dışı süreç durumlarının daha etkin tespit edilmesi sağlanacaktır. Shewhart kontrol grafiği sinyalleri ile saptanabilir sebepler araştırılıp ortadan kaldırılarak süreç kontrol altına alınacaktır.

Çalışmanın devamında, Shewhart kontrol grafiği Süreç İzleme kontrol grafiği olarak, AON kontrol grafiği ise Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği olarak adlandırılacaktır. Süreç İzleme kontrol grafiğinde kontrol limitlerinin aşılması durumunda kontrol dışı duruma yönelik düzeltici faaliyet gerçekleştirilir. Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinde revizyon limitlerinin aşılması durumunda ise aşağıdaki iki senaryo doğrultusunda aksiyon alınmaktadır:

- 1. Senaryo:** Süreç İzleme kontrol grafiği limitleri revize edilir, sürecin kontrol altında olup olmadığı değerlendirilmez.
- 2. Senaryo:** Süreç İzleme kontrol grafiği revize edilir ve kontrol dışındaysa süreç kontrol altına alınır.

Bu tez çalışmasında, bu iki senaryo için de değerlendirmeler yapılacak olup, elde edilen performans metrikleri ve ekonomik anlamdaki kıyaslamalar Sonuçlar başlığı altında irdelenecektir.

### **3.1.1. Revizyon İzleme için Önerilen Yöntem**

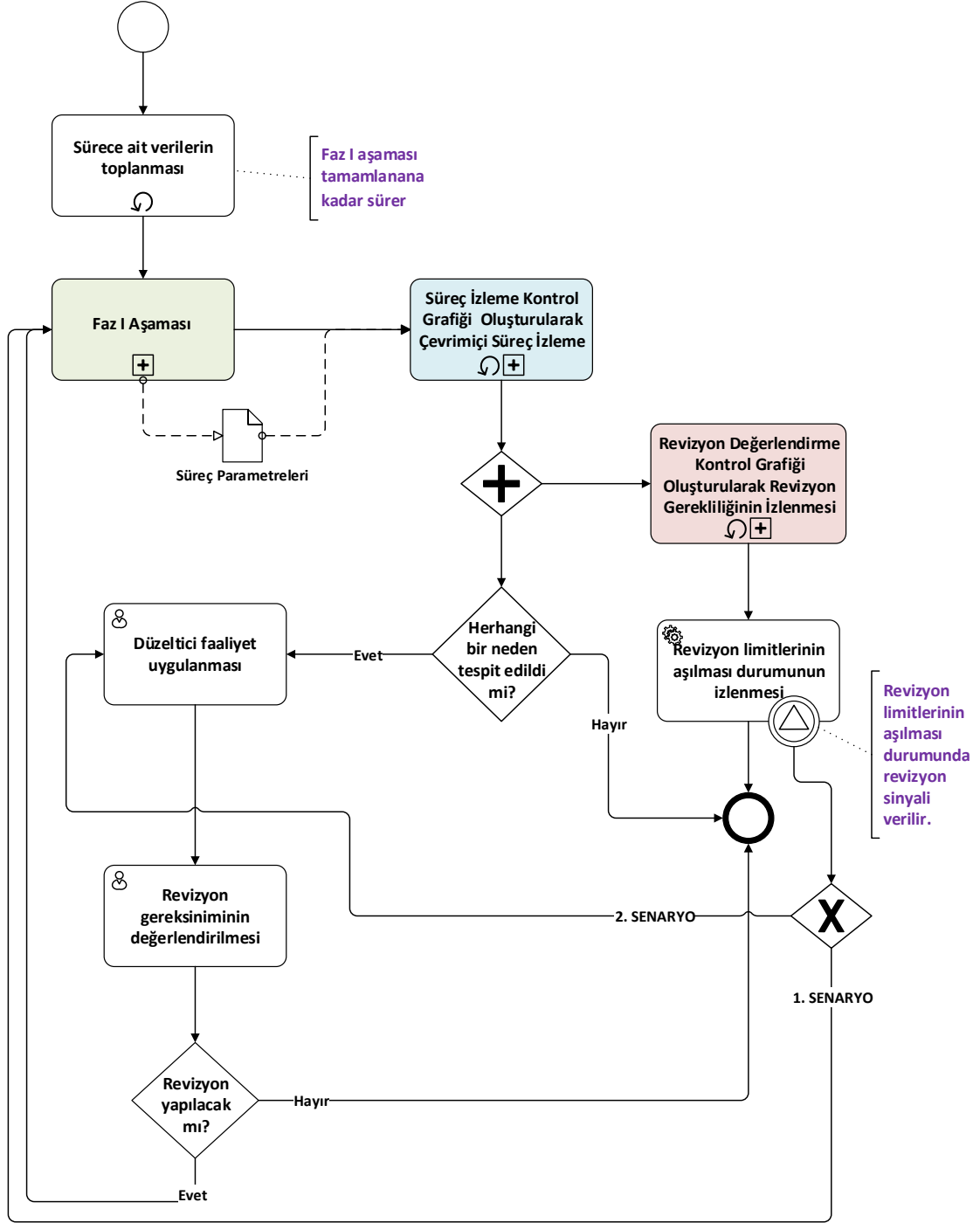
Önerilen yöntemin pratikte kullanımına yönelik akış şeması şekil 3.1.'de BPMN 2.0 notasyonu kullanılarak genel hatlarıyla özetlenmektedir. BPMN 2.0 Notasyonuna ilişkin simgeler sözlüğü EK-1'de sunulmuştur. Buna göre, Faz 1 aşamasında ilgili sürece ilişkin yeterli sayıda veri toplanarak süreç parametreleri tahmin edilir ve kontrol grafiği

tasarlanır. Faz 1 aşaması tamamlandıktan sonra Faz 2 aşamasına geçilerek çevrimiçi toplanan gözlemler için Süreç İzleme kontrol grafiğiyle süreç izleme gerçekleştirilir. Diğer yandan, eş zamanlı olarak aynı gözlemler kullanılarak Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği oluşturulur ve süreç, revizyon gerekliliğinin belirlenmesi amacıyla da izlenir.

Shewhart kontrol grafiğinde kontrol limitlerinin aşılması durumunda, sinyale ilişkin kök neden araştırması gerçekleştirilir. Eğer herhangi bir kontrol dışı durum tespit edilirse düzeltici faaliyet uygulanması değerlendirilir. Burada akış, düzeltici faaliyetin uygulanmayabileceği de değerlendirilerek opsiyonel şekilde gösterilmiştir. Düzeltici faaliyet uygulanarak kontrol dışı durumun ortadan kaldırılmasının ardından limit aşımına sebep olan veri dışarıda tutularak Süreç İzleme kontrol grafiğiyle süreç izlenmeye devam edilir. Bu noktada, süreçte belirgin bir değişiklik olup olmadığına göre Süreç İzleme kontrol grafiğinin revize edilmesi kararı uzman tarafından verilmektedir. Diğer yandan, rastgele değişkenliklerin neden olduğu süreç ortalamasındaki küçük değişikliklerin izlenmesi amacıyla Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği kullanılmaktadır. Bu grafiğin revizyon sinyali vermesi durumunda, belirtildiği gibi iki senaryo doğrultusunda aksiyon alınmaktadır. 1. Senaryo’da, Süreç İzleme kontrol grafiğinin kontrol limitleri güncellenmektedir. Bu amaçla Faz 1 aşaması tekrar gerçekleştirilerek yeni süreç parametreleri tahmin edilir ve süreç izlemeye kontrol limitleri güncellenen Süreç İzleme kontrol grafiğiyle devam edilir. 2. Senaryo’da ise kontrol limitleri güncellenmeden önce süreçte sistematik bir hata olup olmadığı araştırılmaktadır. Bunun için sürecin durdurulduğu ve uygulanan düzeltici faaliyetin - eğer süreçte sistematik bir hata varsa – kontrol dışı durumu ortadan kaldırmada ilk seferde başarılı olduğu varsayılmaktadır. Ardından Süreç İzleme kontrol grafiğinin kontrol limitleri revize edilmektedir. Süreçten elde edilen yeni veriler doğrultusunda Faz 1 aşaması tekrar gerçekleştirilerek yeni süreç parametreleri tahmin edilir ve süreç izlemeye, güncellenen Süreç İzleme kontrol grafiğiyle devam edilir. Bu tez kapsamında Faz 1 aşamasında yer alan adımlar çalışmaya dahil edilmemiştir.

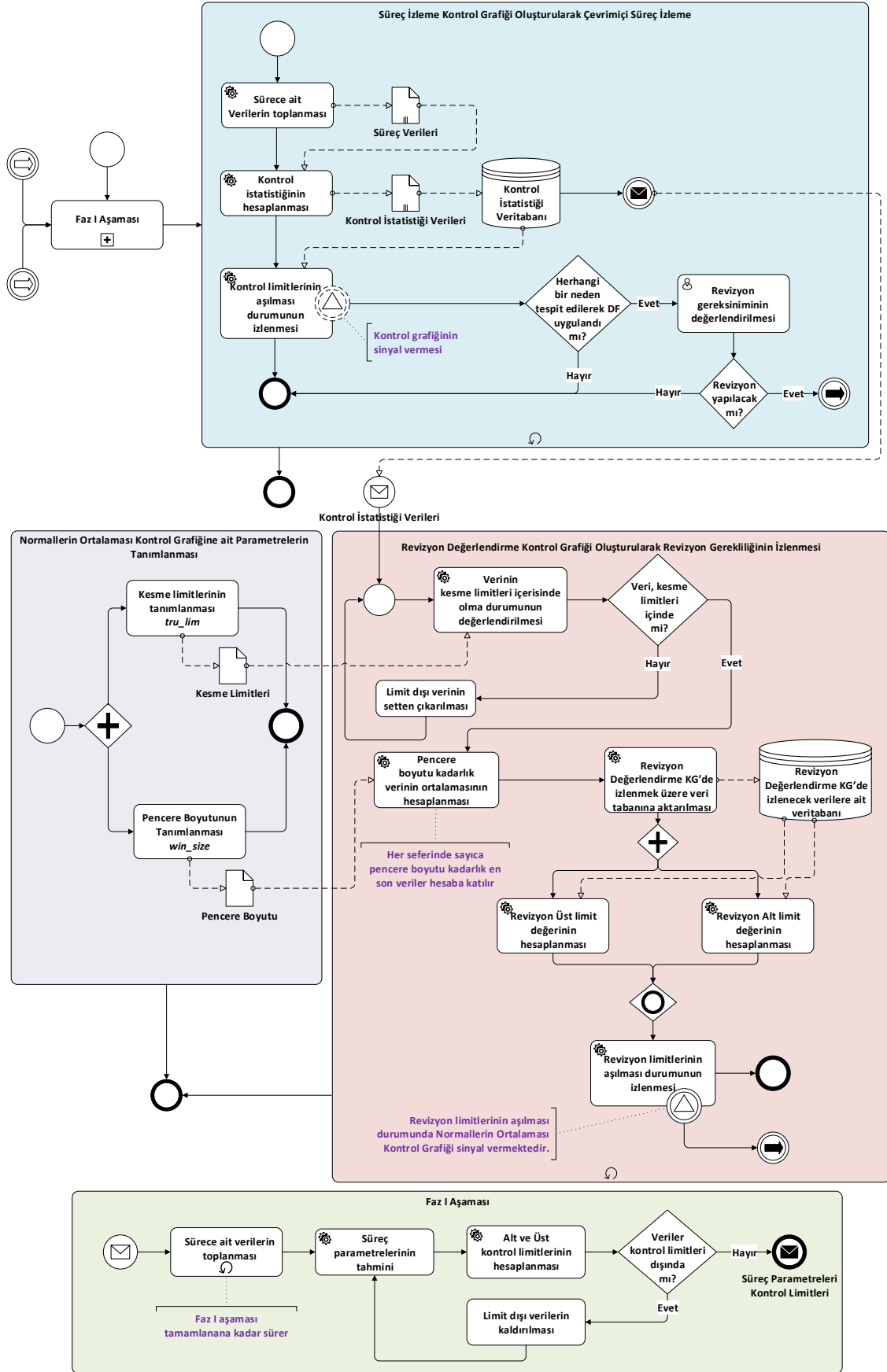
Önerilen yönteme ilişkin genel seviye akış şeması Şekil 3.1.’de ve detaylı akış şeması Şekil 3.2.’de BPMN 2.0 notasyonu ile sunulmuştur. BPMN 2.0, İş Süreçleri

Modellemesinde (Business Process Modelling - BPM) kullanılan en yaygın notasyondur. BPM, temel olarak süreçteki her bir adımın birbirleriyle olan etkileşimlerinin görselleştirilmesine dayanmaktadır. Bu şekilde, her bir süreç adımının analiz edilmesi, iyileştirilmesi ve otomasyonunun sağlanması mümkün olmaktadır. İş süreçleri modellemesi eğitim, sağlık ve üretim gibi birçok alanda kullanılmakta olup iş süreçleri modellemesinin özellikle geleneksel üretim sistemlerinin esnek üretim sistemlerine dönüştürülmesinde kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur [45]. Reijers [46]'e göre, BPM kullanımında yeni trend Robotik Süreç Otomasyonudur. Bu yöntemde, "bot" adı verilen yazılım araçları, normalde manuel olarak gerçekleştirilen iş adımlarını bilgisayar uygulamaları aracılığıyla yerine getirmektedir.



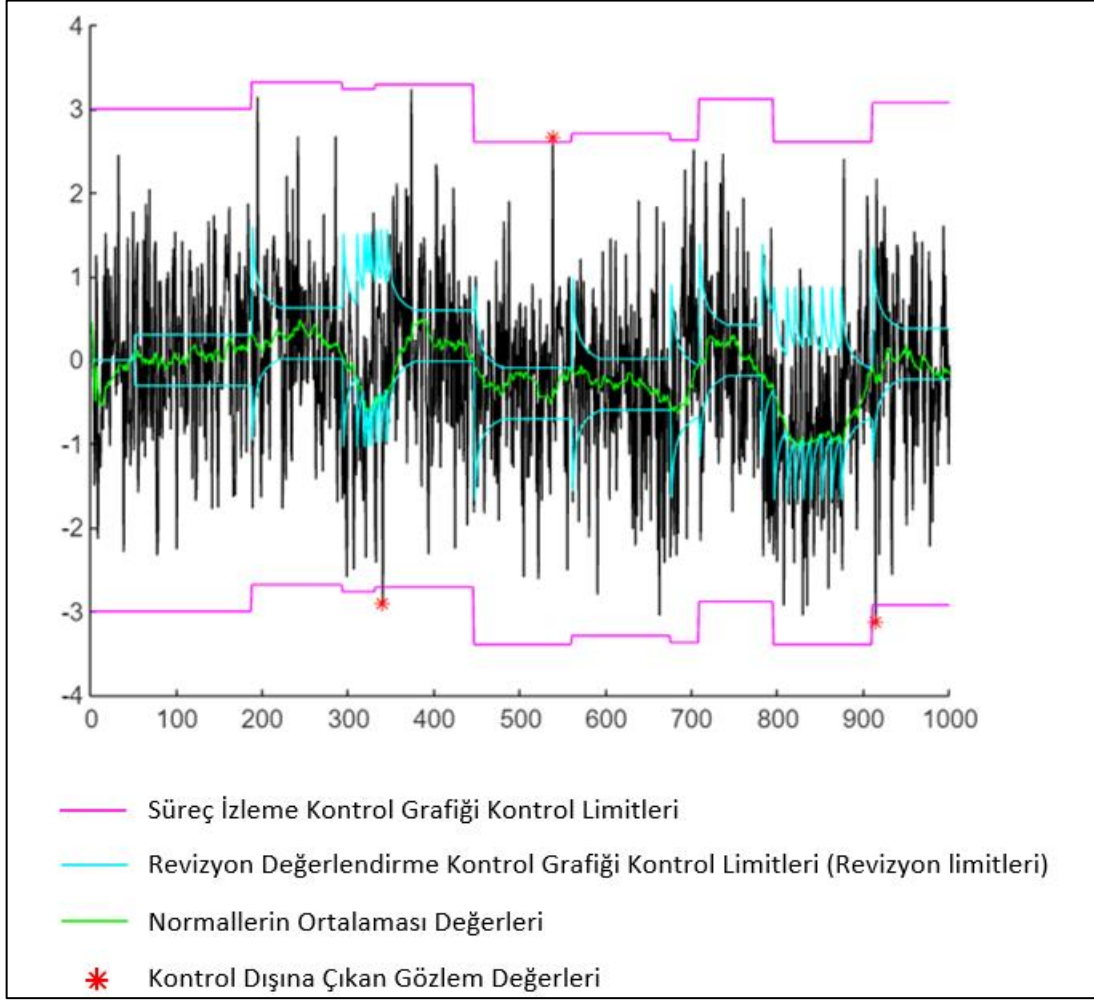
Şekil 3.1. Bütünleşik Sistemin Genel Seviye BPMN 2.0 Şeması





Şekil 3.2. Bütünleşik Sistemin Detay Seviye BPMN 2.0 Şeması

Önerilen yönteme ilişkin olarak Şekil 3.3.'te örnek bir bütünlük revizyon ve izleme kontrol grafiği verilmiştir.



Şekil 3.3. Bütünlük Revizyon ve İzleme Kontrol Grafiği Örneği

### 3.1.2. Önerilen Yönteme İlişkin Algoritma ve Formülasyon

Tez kapsamında, izlenen kalite karakteristiğine ilişkin gözlemler  $y_t$  birbirinden bağımsız kabul edilmiştir. Burada  $t$  ile gözlem zamanı gösterilmektedir. Gözlemlerin normal dağılımla modellenebildiği, ortalamasının  $\mu$  ve standart sapmasının  $\sigma$  olduğu varsayılmıştır. Genelleştirmeyi kaybetmeden basitleştirme için, süreç kontrol altında iken modellemede başlangıç ortalamasının 0 ve standart sapmasının 1 olduğu Standart Normal dağılım kullanılmıştır. Modellemede sürecin kontrol altındaki ve kontrol dışındaki durumları üst üste koyma (süperpozisyon) şeklinde ele alınmış, bunlar birbirinden bağımsız modeller olarak kabul edilerek toplamsal bir model kullanılmıştır. Kontrol

altındaki süreç için kullanılan modelde zaman zaman ortalamasının saptığı ve büyük sapmaların kontrol dışı sürece işaret ettiği varsayılmaktadır. Bunun yanı sıra, sürecin kontrol altında olduğu durumda da süreçlerin dinamik doğası gereği rastgele zamanlarda, kalıcı olmayan ve kontrol dışı bir durum ifade etmeyen bazı değişikliklerden kaynaklı küçük sapmaların da meydana geldiği varsayılmıştır. Süreç İzleme kontrol grafiğiyle büyük sapmalar izlenerek süreçteki kontrol dışı durumlar tespit edilmeye çalışılmaktadır. Küçük sapmalar ise Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği kullanılarak izlenmektedir. Süreç İzleme kontrol grafiğinin kontrol limitlerinin revize edilmesinde, kontrol altındaki sürecin o zamanki ortalaması kullanılacaktır.

$i$  ve  $j$  indeksleri ile bir sıralamayı gösterelim.  $t$  zamanında gözlemin kontrol altındaki süreç ortalamasından sapması  $\varepsilon_t$  olsun. Süreç ortalamasındaki (gerçekte bilinmeyen) değişim noktaları  $\tau$  ile gösterilsin ve sürecin kontrol altında olduğu modeldeki  $i$ . değişim noktası  $\tau_{0,i}$  ve bunun zamanı  $t_{\tau_{0,i}}$ ,  $i = 0, 1, \dots$  olsun. Kontrol altındaki bir süreç (ortalamada stokastik küçük sapmalar var olduğu kabul edilmektedir) için kullanılacak diğer notasyon aşağıda listelenmiştir:

$\mu_{0,i}$  :  $t_{\tau_{0,i}}$  zamanından  $t_{\tau_{0,i+1}}$  zamanına kadar, kontrol altındaki sürecin modeli için ortalama değeri,

$\delta_{0,i}$  : Kontrol altında olduğu kabul edilen sürecin  $i$ . değişim noktasındaki yeni ortalamasının  $\sigma$  cinsinden değişim miktarı

$\sigma_{\delta_0}$  : Kontrol altındaki sürecin ortalamasındaki değişim miktarına ilişkin standart sapma değeri

Benzer şekilde, kontrol dışında olan bir süreci ifade etmek için kullanılan notasyon aşağıda listelenmiştir:

$\tau_{1,j}$  : Kontrol dışı sürecin  $j$ . değişim noktası,  $j = 1, 2, \dots$

$t_{\tau_{1,j}}$  : Kontrol dışı sürecin  $j$ . değişim noktasının zamanı

$\delta_{1,j}$  : Kontrol dışına çıkmış sürecin  $j$ . değişim noktasındaki yeni ortalamasının  $\sigma$  cinsinden değişim miktarı

$\sigma_{\delta_1}$  : Kontrol dışındaki sürecin ortalamasındaki değişim miktarına ilişkin standart sapma değeri

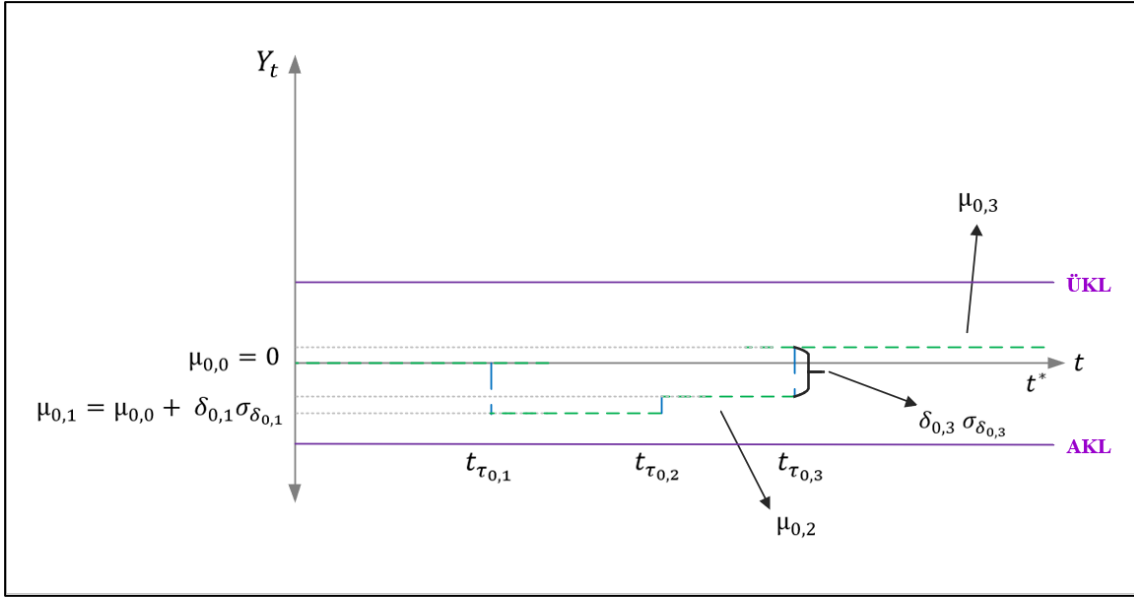
Buna göre, kullanılacak süreç ortalama modeli aşağıda sunulmuştur:

$$\mu_t = \mu_{0,i} + \delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} + \delta_{1,j}\sigma_{\delta_1},$$

$$y_t = \mu_t + \varepsilon_t,$$

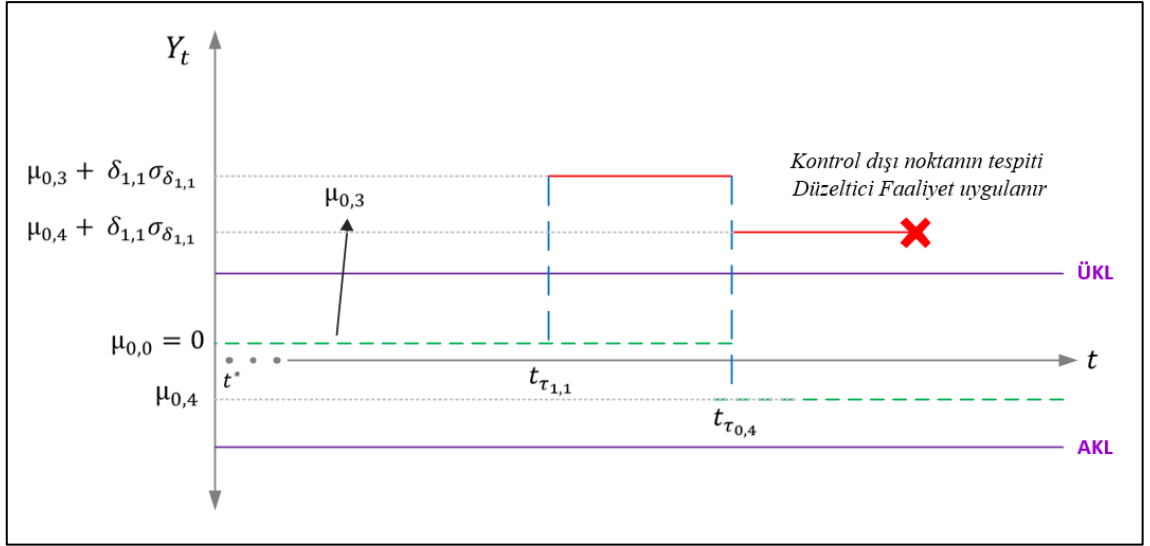
$$t_{\tau_{0,i}} \leq t < t_{\tau_{0,i+1}} \text{ ve } t_{\tau_{1,j}} \leq t < t_{\tau_{1,j+1}} \text{ için}$$

Şekil 3.4.'te kontrol altındaki bir sürecin ortalamasında meydana gelen değişiklikler sembolik olarak  $t^*$  zamanına kadar gösterilmiştir. Burada,  $t_{\tau_{0,1}}$  zamanına kadar süreçte herhangi bir sapma yoktur ve ortalama  $\mu_{0,0}$ 'dır.  $t_{\tau_{0,1}}$  zamanında meydana gelen  $\delta_{0,1}\sigma_{\delta_0}$  kadarlık sapma ile süreç ortalaması  $\mu_{0,1} = \mu_{0,0} + \delta_{0,1}\sigma_{\delta_0}$  olmuştur. İkinci rastgele değişkenlik  $t_{\tau_{0,2}}$  anında pozitif yönde meydana gelmiş olup, ortalamada  $\delta_{0,2}\sigma_{\delta_0}$  kadarlık bir değişikliğe sebep olarak süreç ortalamasını  $\mu_{0,2} = \mu_{0,1} + \delta_{0,2}\sigma_{\delta_0}$  yapmıştır. Süreçte meydana gelen  $\delta_{0,3}\sigma_{\delta_0}$  kadarlık diğer bir sapma ile  $t_{\tau_{0,3}}$  zamanı itibariyle yeni süreç ortalaması  $\mu_{0,3}$  olmuştur.



Şekil 3.4. Kontrol Altında Olduğu Kabul Edilen Bir Sürecin Ortalamasındaki Değişimler

Şekil 3.4.'ün devamı olarak, çeşitli kontrol dışı durumların ortaya çıkması ile birlikte süreç ortalamasından sapmalar Şekil 3.5.'te  $t^*$  zamanından sonrası için sunulmuştur. Burada,  $t_{\tau_{1,1}}$  itibariyle süreç ortalamasının kontrol limitlerinin dışına çıktığı görülmektedir. Sürecin bileşik ortalama değeri  $\mu_t$ , bu zamana ilişkin saptanabilir değişkenliğin sebep olduğu ilave sapmanın büyüklüğü  $\delta_{1,1} \sigma_{\delta_{1,1}}$  ile süreç ortalaması  $\mu_{0,3}$ 'ün toplanmasıyla bulunmaktadır. Burada, kontrol dışı duruma ilişkin sapmaların kontrol altındaki sürece ilişkin sapmalardan bağımsız olarak meydana gelmekte olduğu varsayılmakta, bir zamandaki bileşik süreç ortalaması değeri iki sapmanın toplamı kadar değişikliğe uğramaktadır. Benzer şekilde,  $t_{\tau_{0,4}}$  zamanında meydana gelen kontrol altındaki süreç ortalamasından sapmanın negatif olmasından ötürü bileşik ortalama  $\delta_{0,4} \sigma_{\delta_{0,4}}$  kadar düşmüştür. Sürecin anlık ortalama değeri hesaplanırken küçük ve büyük sapmalar birlikte hesaba katılmaktadır.



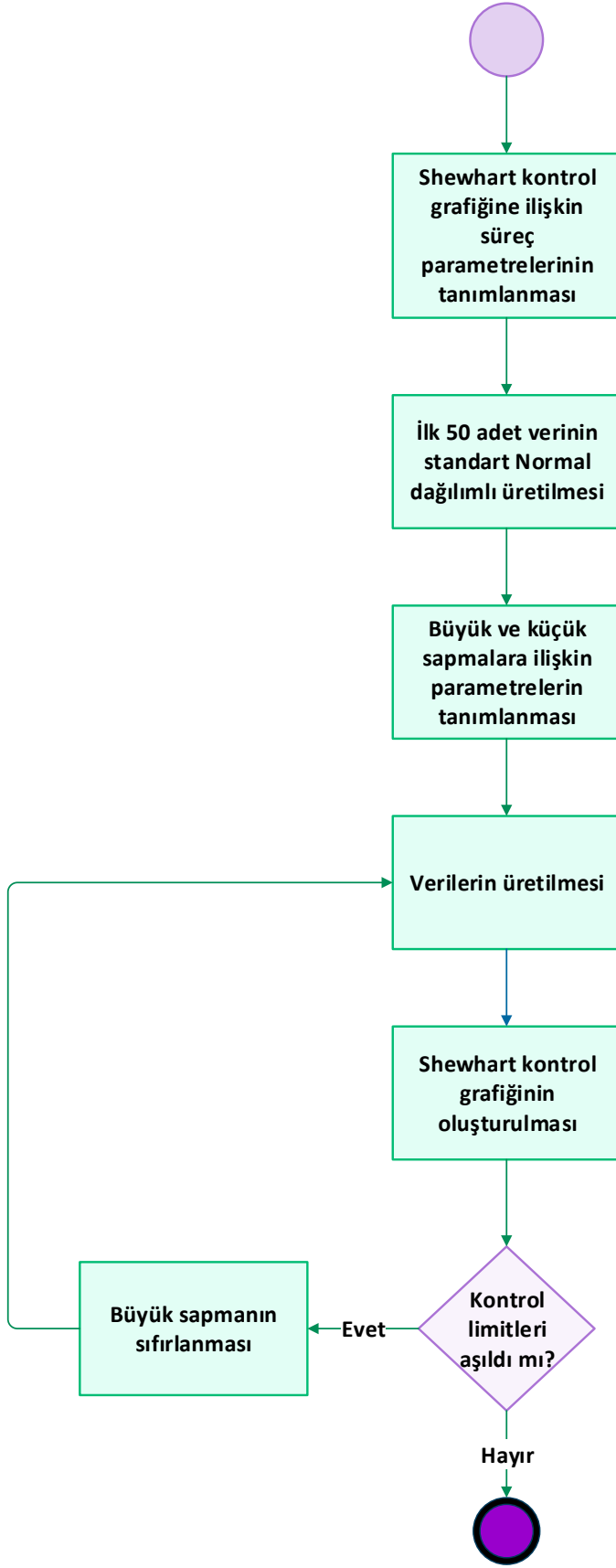
Şekil 3.5. Süreç Ortalamasında Kontrol Dışı Sapma

Kontrol grafiği kontrol dışı durum sinyali verdiği zaman süreç durdurularak en kısa sürede uygunsuzluk araştırmasının gerçekleştirilerek uygun düzeltici faaliyetin uygulandığı varsayılmaktadır. Diğer bir deyişle, kontrol dışı durum sinyalinin hemen ardından varsa süreçteki sistematik hatanın ortadan kaldırıldığı varsayılmaktadır.

### 3.2. Simülasyonlar

Varsayılan süreç modeli doğrultusunda, veriye dayalı olarak kontrol limitlerinin revizyonuna karar verilebilmesi amacıyla geliştirilen yöntemin davranışının ve performansının tahmin edilebilmesi için Matlab yazılım ortamında bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda, Faz 1 aşaması parametre tahminleri yapılmamış olup gerçek parametre değerleri kullanılarak Süreç İzleme kontrol grafiğinde tekil gözlemler izlenmiştir.

Farklı yaklaşımların birbirleriyle kıyaslanması amacıyla bir **Baz Model** olarak; kontrol limiti revizyonlarının yapılmadığı, standart Shewhart (I-) kontrol grafiği ile sürecin izlendiği, kontrol dışıysa sürecin kontrol altına alındığı senaryoyla yukarıda bahsedilen 1. Senaryo ve 2. Senaryo karşılaştırılacaktır. Sadece Shewhart kontrol grafiğinin kullanıldığı Baz Modelin simülasyonuna ilişkin çalışma sistematığı Şekil 3.6.'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. Baz Model Simülasyonunun Çalışma Sistematiği

Simülasyonlar için süreç parametreleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- Üretilen gözlem sayısı ( $N$ ) = 1.000.000
- Shewhart kontrol grafiği limitlerinin merkez çizgiden standart sapma cinsinden uzaklığı ( $L$ ) = 3,0

Bir süreçte meydana gelen birim zamandaki sapma oranı  $\lambda$ 'nın Poisson dağılımlı rastgele bir değişken olarak modellenmesi bu çalışma kapsamında uygun bulunmuştur. Barnard [38]'in çalışması doğrultusunda rastgele değişkenlik büyüklüğünün modellenmesinde ise Normal dağılım kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Simülasyonda kullanılan  $\lambda$  değerleri, literatürde kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan parametreler dikkate alınarak belirlenmiştir. Duncan [26], süreçteki büyük sapmaların tespit edilmesi için gerçekleştirilen modellemelerde  $\lambda = 0.01, 0.02, 0.03$  değerlerini kullanmıştır. Silver [28], farklı sapma değerleri için gerçekleştirdiği simülasyon çalışmasında  $0.001 < \lambda < 0.2$  arasında değerler seçmiştir. Simülasyon çalışmasında, ortalamada meydana gelen küçük sapmalar için Poisson ( $\lambda_0 = 0,01$ ), büyük sapmalar için de Poisson ( $\lambda_1 = 0,004$ ) kullanılarak değişim zamanları belirlenmiştir.

Simülasyonlarda başlangıçta ısınma periyodu olarak değerlendirilebilecek ilk 50 adet veri standart Normal dağılıma göre üretilmektedir. Ortalamalar, gözlemler ve sapmalar üretilirken kullanılan model aşağıda sunulmuştur:

$$\mu_t = \mu_{0,i} + \delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} + \delta_{1,j}\sigma_{\delta_1}, t_{\tau_{0,i}} \leq t < t_{\tau_{0,i+1}} \text{ ve } t_{\tau_{1,j}} \leq t < t_{\tau_{1,j+1}} \text{ için}$$

$$\delta_{0,i} \sim N(0, \delta_0)$$

$$\delta_{1,j} \sim N(0, \delta_1)$$

$$\mu_{0,0} = 0, \sigma_{\delta_0} = 1, \sigma_{\delta_1} = 1$$

$$\varepsilon_t \sim N(0, 1)$$

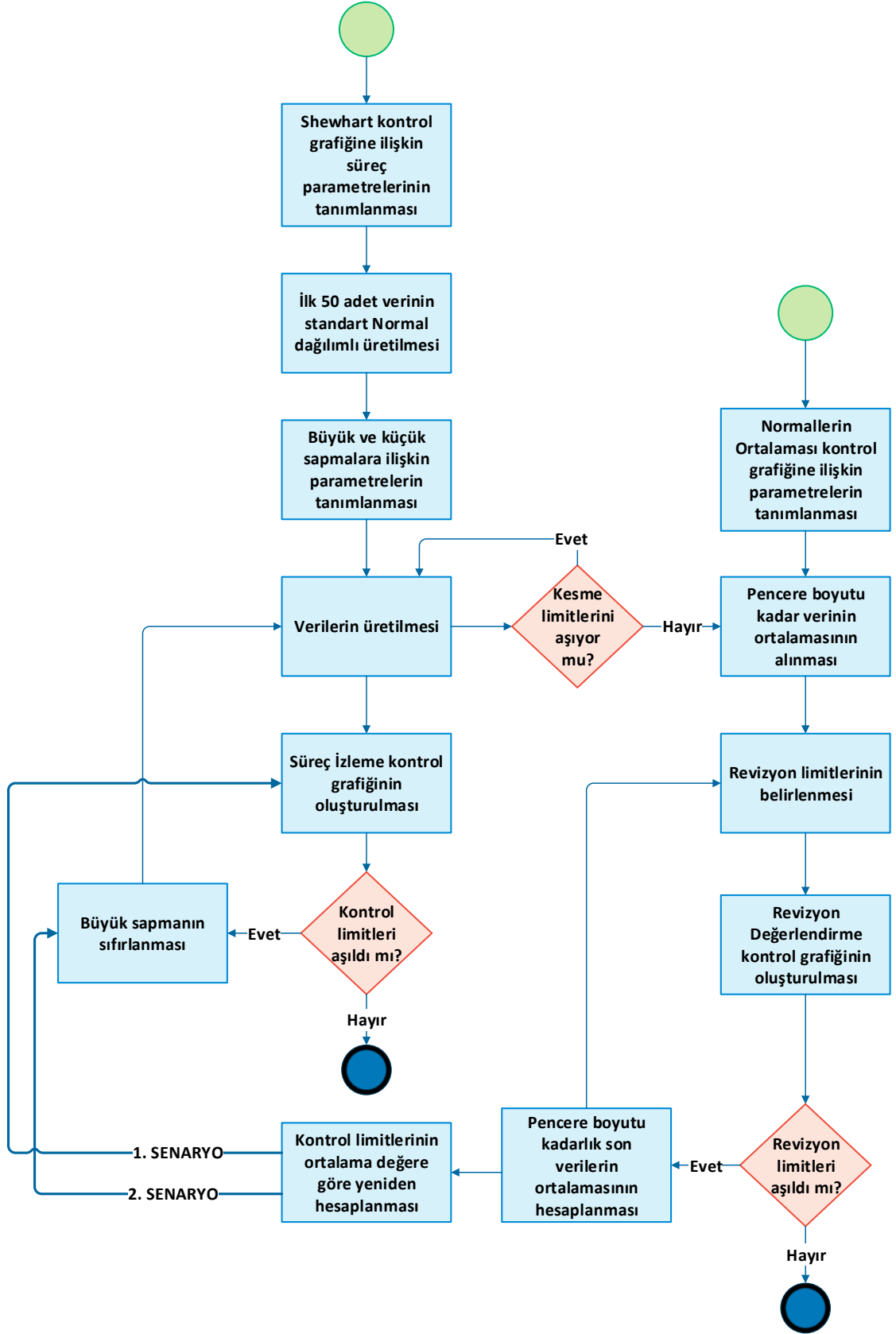


$$y_t \sim N(\mu_t + \varepsilon_t, 1),$$

Simülasyon boyunca toplamda  $N$  adet gözlem değeri üretilirken  $N_{\delta_0}$  adet küçük sapma,  $N_{\delta_1}$  adet büyük sapma meydana gelmektedir.

Belirlenen kontrol limitleri ve üretilen gözlem değerleri ile kontrol grafiği oluşturulur. Süreç İzleme kontrol limitlerinin aşılması durumunda - süreçteki sistematik hatanın ortadan kaldırılmış olduğu varsayımıyla - büyük sapma ( $\delta_{1,i}$ ) değeri, bir sonraki büyük sapma meydana gelene kadar sıfırlanır. Böylece süreç kontrol altına alınmıştır.

Şekil 3.7.'de Bütünleşik Revizyon ve İzleme yaklaşımı sunulmuştur.



Şekil 3.7. Bütünleşik Revizyon ve İzleme Yaklaşımının Simülasyonunun Çalışma Sistematiği

Normallerin Ortalaması kontrol grafiğinin oluşturulması amacıyla pencere boyutu ve kesme limitleri belirlenmektedir. Gözlemlerin Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinde kullanılmasına, bu değerlerin kesme limitlerinin içerisinde kalmaları durumuna göre karar verilmektedir. Kesme limitlerini aşan veriler, Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğine dahil edilmemektedir. Nitekim, kesme limitlerini aşmayan yeni bir gözlem elde edilene kadar bu döngü devam etmektedir. Kesme limitleri içerisinde kalan ve pencere boyutu kadar gözlemin ortalaması alınarak Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinde izlenecek kontrol istatistiği oluşturulmaktadır. Simülasyonlarda standart sapma değeri  $\sigma_{AON} = 1$  olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler olarak, standart sapma ( $\sigma_{AON}$ ) cinsinden kontrol limitlerine olan uzaklık  $L_{AON} = 1,80, 2,00, 3,00$ , pencere boyutu  $w = 25, 35, 50$  ve kesme limitleri  $2,00, 2,50, 2,80, 3,00, 3,20$  seçilmiştir.

Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinde revizyon limitlerinin aşılması durumunda, Süreç İzleme kontrol grafiğinin ve Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinin kontrol limitleri revize edilir. Yeni limit değerleri belirlenirken, öncelikle Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinde izlenen verilerin pencere boyutu kadarlık son kısmının ortalaması aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$\sum_{n-w+1}^n \bar{x}_{AON}/w$$

Bu ortalama değer, revizyon limitlerinin hesaplanmasında yeni  $\bar{x}_{AON}$  değeri olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, revize edilen Süreç İzleme kontrol grafiğinin yeni kontrol limitleri ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$\sum_{n-w+1}^n \bar{x}_{AON}/w \pm L\sigma$$

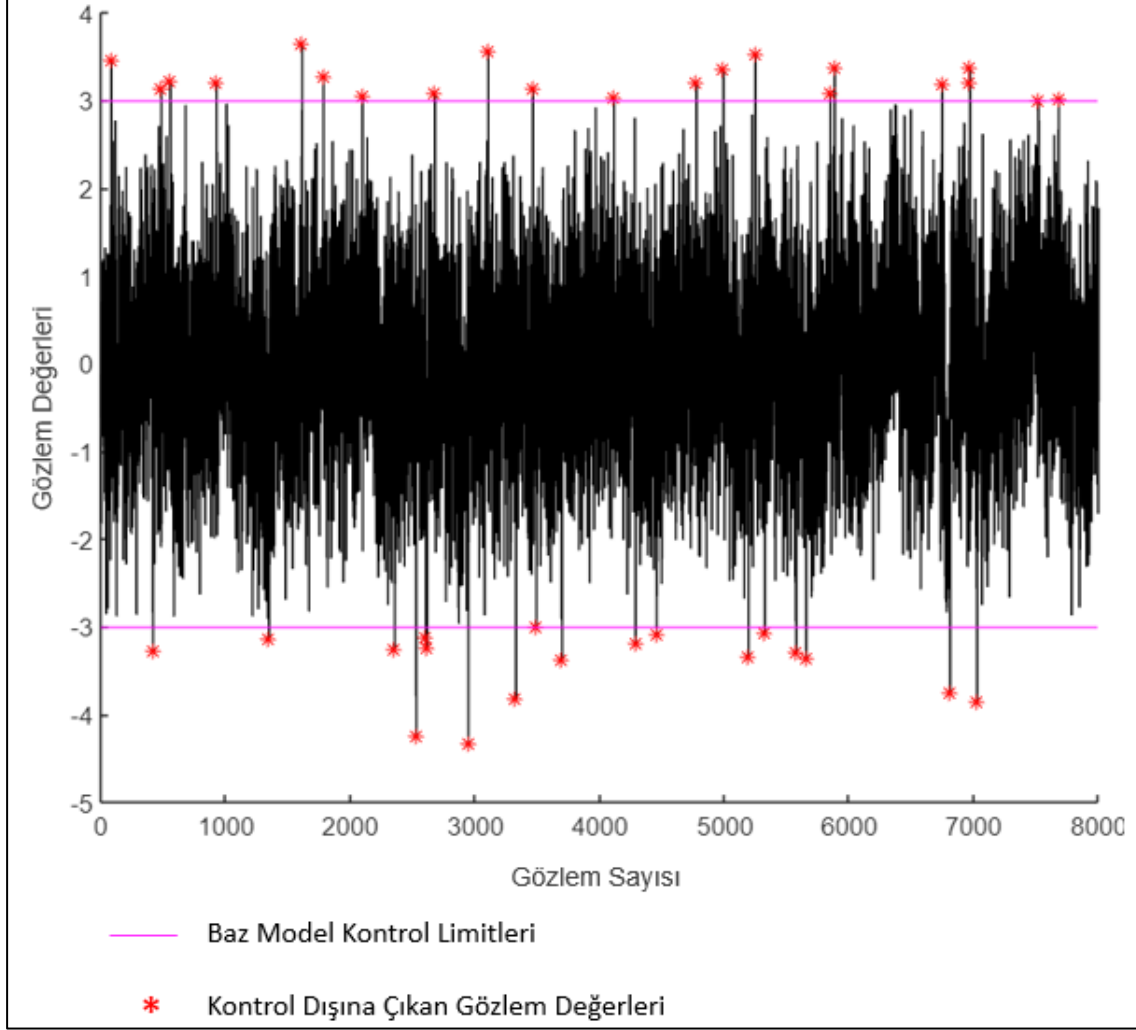
2. Senaryo simülasyonlarında, revizyon sinyali verildiği zaman varsa büyük sapma ( $\delta_{1,i}$ ) sıfırlanmaktadır. Burada, revizyon sinyali ile birlikte sürecin kontrol dışı olup olmadığının da değerlendirildiği, kontrol dışında ise düzeltici faaliyetlerin yerine getirildiği varsayılmaktadır. Gözlemler yine Süreç İzleme kontrol grafiğinin revize edilen yeni kontrol limitleri ile izlenmektedir.

Süreç İzleme kontrol grafiği ve Revizyon Değerlendirme kontrol grafiklerinin simülasyon çıktıları ve çıktıların değerlendirmesi bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

## 4. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.1. Simülasyon Çıktıları

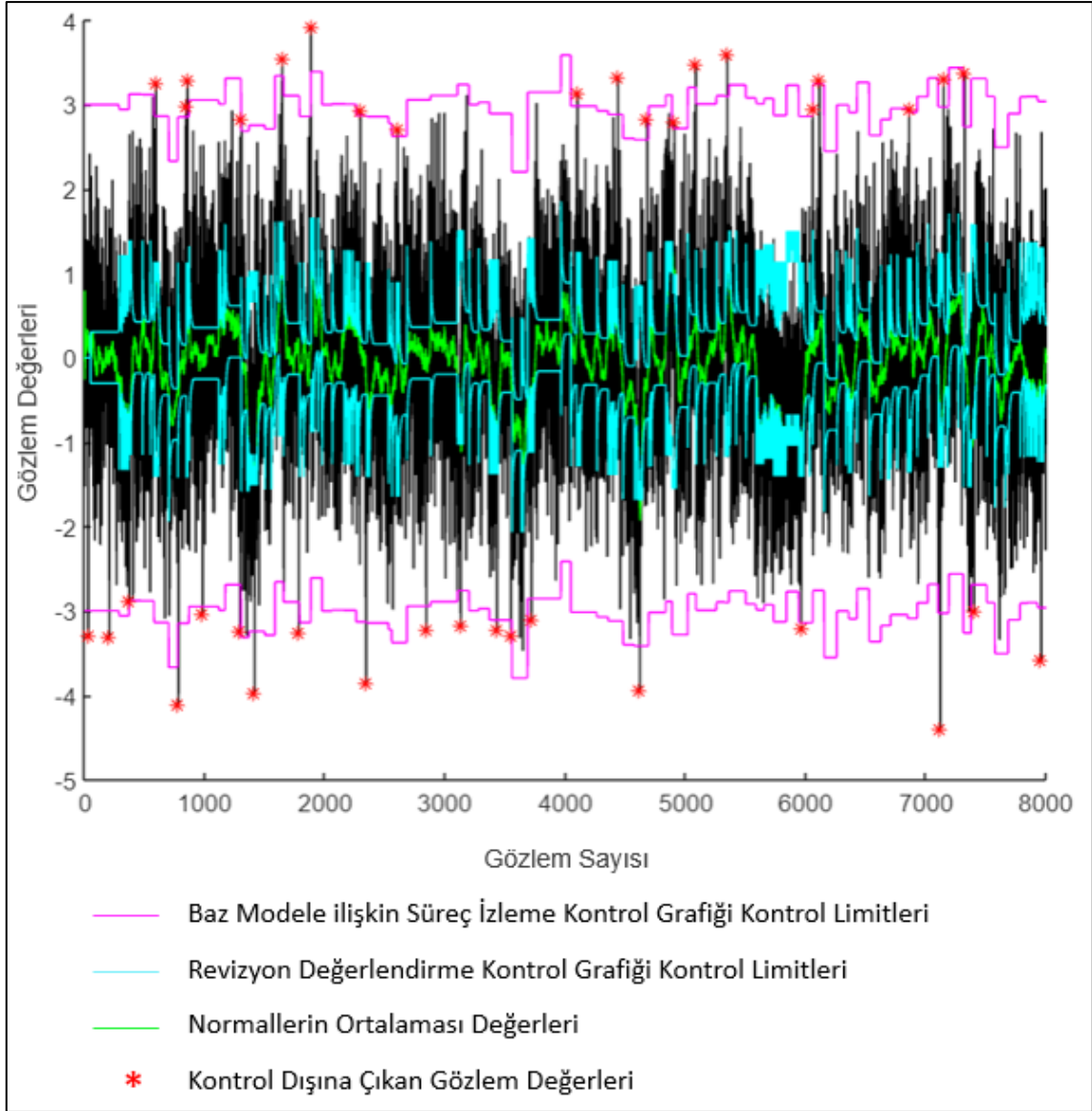
Üretilen 8000 gözlem için örnek bir çıktı Şekil 4.1.'de Baz Model için sunulmuştur.



Şekil 4.1. Örnek Baz Model Simülasyon Çıktısı

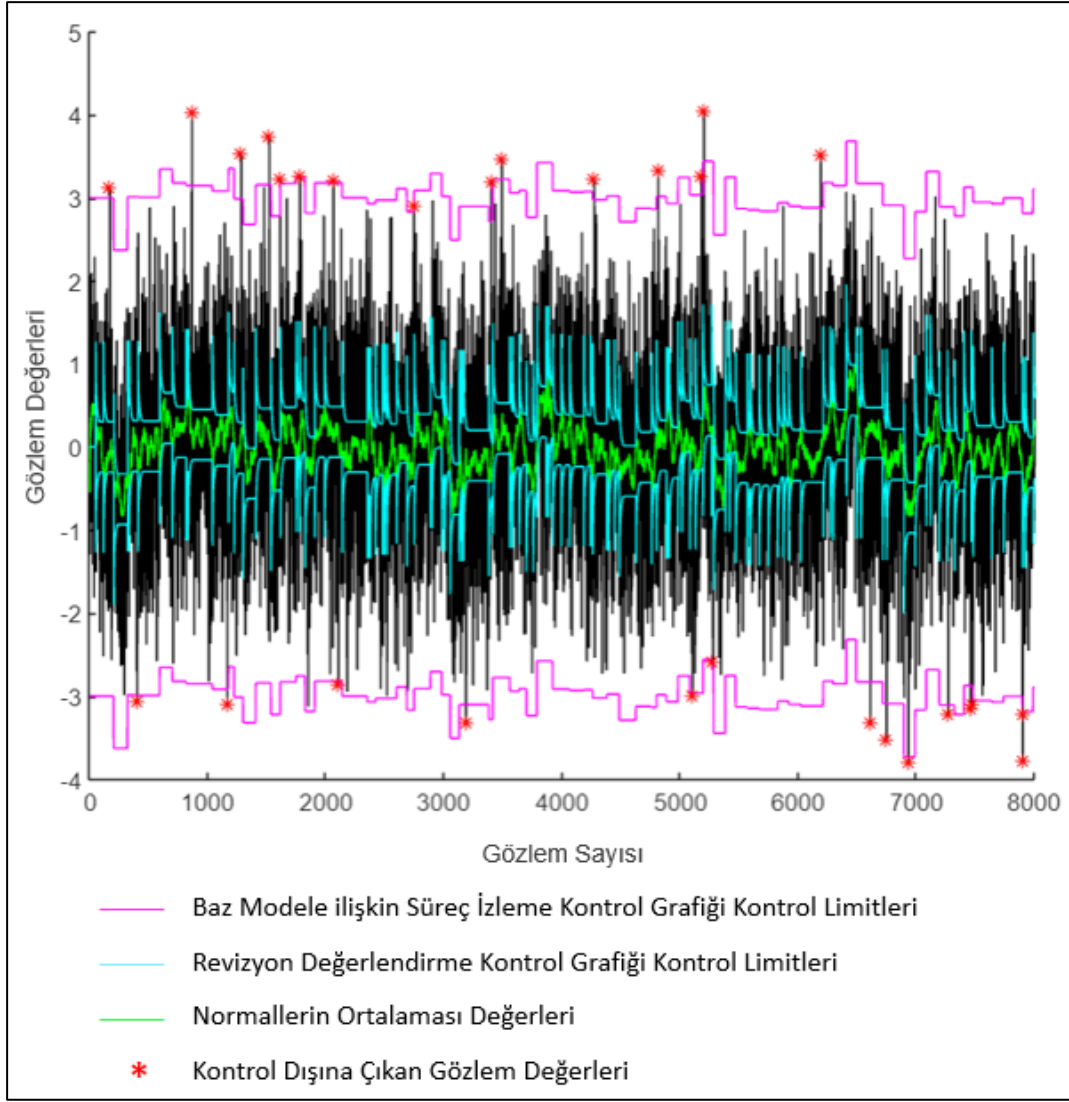
Buradaki 8000 gözlemin 39'u kontrol dışı durum sinyali vermektedir ancak bunların 15'i büyük sapmalar (kontrol dışı bir durum) mevcut değilken meydana gelmiş olup yanlış sinyal olarak değerlendirilmektedir.

Benzer şekilde, 1. Senaryo'ya ilişkin 8000 gözlem için yapılan bir örnek çalışma Şekil 4.2.'de gösterilmektedir. Burada,  $L_{AON} = 1,8$ ,  $w = 35$  ve kesme limitleri = 2,0 olarak alınmıştır.



Şekil 4.2. 1. Senaryo'ya İlişkin Örnek Simülasyon Çıktısı

Bu simülasyonda 38 gözlem kontrol limitleri dışına çıkmıştır. Yanlış sinyal 12 adettir. Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği tarafından verilen revizyon sinyali sayısı 406 olmuştur. Aynı parametreler ile 2. Senaryo için elde edilen örnek simülasyon çıktısı Şekil 4.3.'te sunulmuştur.



Şekil 4.3. 2. Senaryo'ya İlişkin Örnek Simülasyon Çıktısı

Bu simülasyon sonucunda da 29 adet kontrol dışı durum sinyali verilmiştir. Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği 142 kez revizyon sinyali vermiştir. Yanlış sinyal sayısı 22'dir.

Simülasyon çalışmasında elde edilen sonuçların doğrulanması amacıyla aşağıda belirtilen yöntemler kullanılmıştır:

- Üretilen sekiz bin veriye ilişkin olarak, Bütünleşik Revizyon ve İzlemede simülasyonla elde edilen her bir ARL değeri manuel olarak kontrol edilmiştir.
- Normallerin Ortalaması yöntemi kullanılmadan - devre dışı bırakılarak - ve herhangi bir sapma (küçük ve büyük) oluşturulmadan, Standart Normal dağılıma

göre üretilen 1.000.000 veri, kontrol limitlerinin genişliği 3 olarak belirlenen Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği ile izlenmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen ARL değerleri, literatürde kabul görmüş olan ARL değerleriyle kıyaslanmıştır ve Tablo 4.1.'de özetlenmiştir. Sonuçlar arasında önemli bir fark bulunmamıştır.

Tablo 4.1. Simülasyonda Elde Edilen Ortalama ARL Değerlerinin Doğrulaması

Süreçteki Sapma Miktarı ( $\sigma$ cinsinden)	Simülasyonda Elde Edilen Ortalama ARL Değerleri	Literatürdeki ARL Değerleri
<b>0</b>	369,47	370,4
<b>1</b>	42,86	43,89
<b>2</b>	6,46	6,30
<b>3</b>	2,01	2,00

Referans değerleri için bkz. [47]

Çalışmanın devamında; Baz Model, 1. Senaryo ve 2. Senaryo'nun performanslarının ölçülerek uzun vadede sonuçlarının değerlendirilebilmesi ve birbirleriyle kıyaslanması amacıyla bir replikasyonda  $N=1.000.000$  gözlem üretilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Matlab yazılımı ile yapılan simülasyonlarda kullanılan parametreler aşağıda listelenmiştir:

- $L = 3,00$
- Spesifikasyon limiti = 3,00
- $\lambda_0 = 0,01$
- $\lambda_1 = 0,004$
- $\delta_0 = 0,25, 0,50$
- $\delta_1 = 1,00, 1,50$
- $\mu_{0,0} = 0$
- $\sigma_{\delta_0} = 1$
- $\sigma_{\delta_1} = 1$



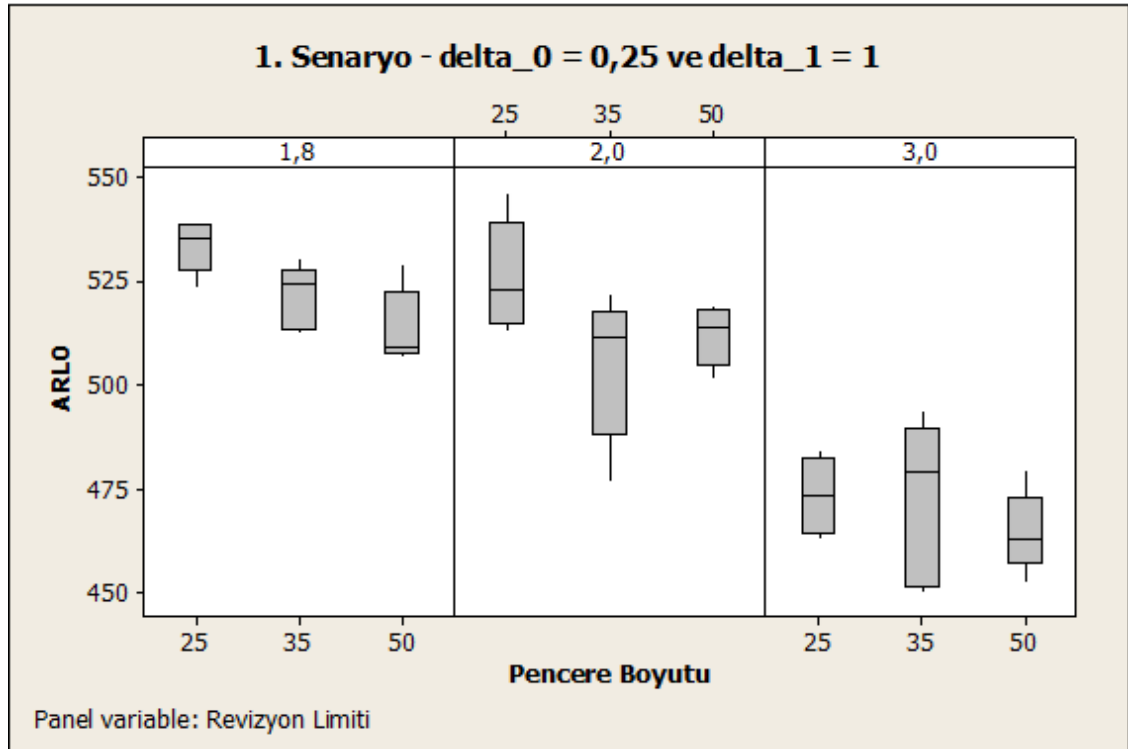
Baz Model için 30 replikasyon yapılan simülasyonun sonucu Tablo 4.2.'de sunulmuştur:

Tablo 4.2. Baz Model Simülasyon Sonuçları

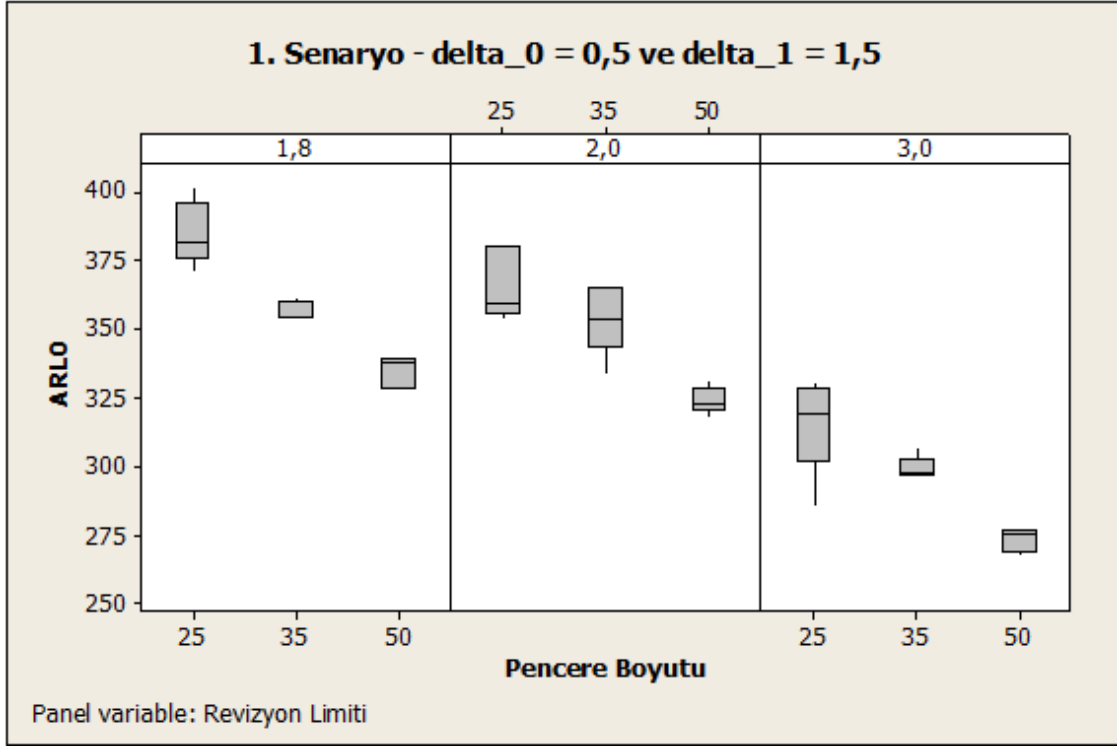
Replikasyon	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL <sub>1</sub> )	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL <sub>0</sub> )
1	5801	994199	99,69	2352	425,17
2	5810	994190	101,92	2404	415,97
3	5809	994191	97,53	2365	422,83
4	5858	994142	102,41	2433	411,02
5	5761	994239	100,79	2334	428,45
6	5756	994244	101,94	2336	428,08
7	5822	994178	103,89	2422	412,88
8	5790	994210	105,09	2360	423,73
9	5780	994220	100,36	2372	421,59
10	5759	994241	102,85	2327	429,74
11	5775	994225	104,26	2379	420,34
12	5808	994192	103,16	2366	422,65
13	5828	994172	99,87	2410	414,93
14	5727	994273	104,80	2353	424,98
15	5750	994250	104	2340	427,35
16	5729	994271	103,8	2352	425,17
17	5707	994293	102,69	2303	434,21
18	5935	994065	99,93	2510	398,40
19	5805	994195	103,94	2397	417,18
20	5700	994300	101,85	2317	431,59
21	5842	994158	102,33	2411	414,76
22	5829	994171	104,14	2425	412,37
23	5863	994137	97,11	2388	418,76
24	5734	994266	102,31	2315	431,96
25	5822	994178	103,89	2422	412,88
26	5854	994146	100,41	2417	413,73
27	5728	994272	104,6	2343	426,8
28	5828	994172	102,91	2421	413,05
29	5731	994269	106,09	2349	425,71
30	5793	994207	100,95	2368	422,29
<b>Ortalama</b>	<b>5791</b>	<b>994209</b>	<b>102,32</b>	<b>2376</b>	<b>420,95</b>
<b>Standart Sapma</b>	<b>53,71</b>	<b>53,71</b>	<b>2,16</b>	<b>45,08</b>	<b>7,88</b>

Burada, elde edilen sonuçlara ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Değerlerin, 30 replikasyonda elde edilen sonuçların tek replikasyonda elde edilen sonuçlardan çok farklı olmadığı değerlendirilerek, aynı zamanda simülasyonların uzun zaman alması nedeniyle ilerleyen bölümlerde simülasyonlar tek replikasyonla gerçekleştirilmiştir.

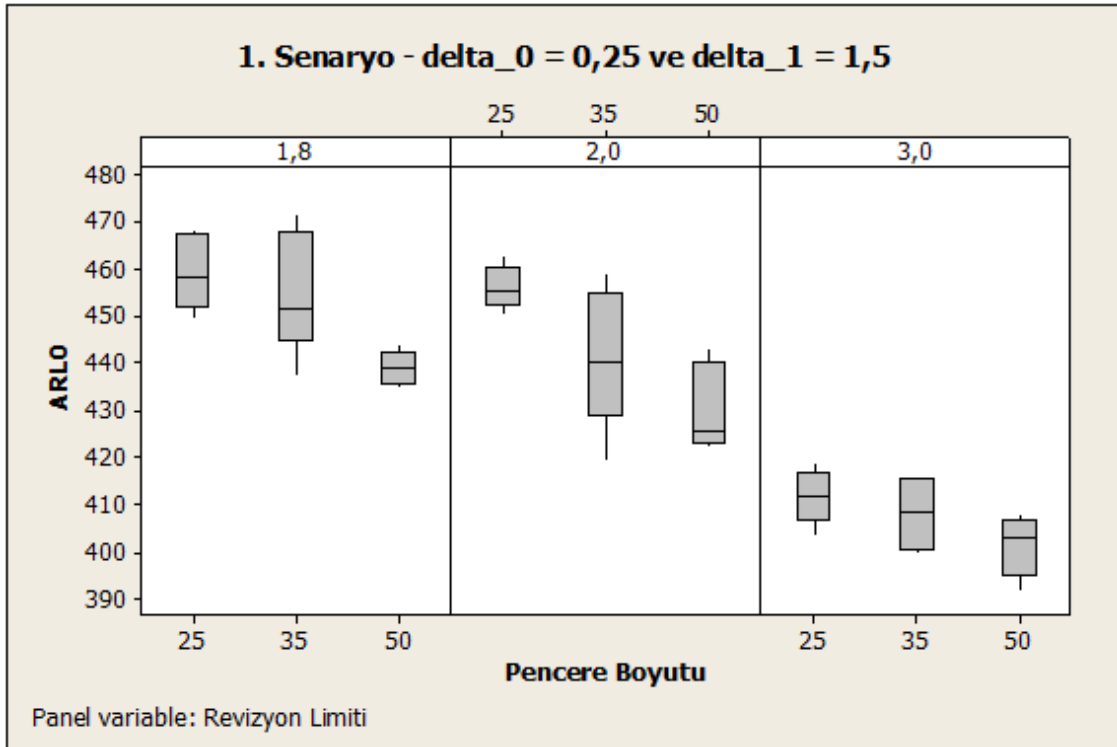
EK 2’de küçük sapmanın ( $\delta_0$ ) 0,25 ve büyük sapmanın ( $\delta_1$ ) 1 olduğu, EK 4’te küçük sapmanın ( $\delta_0$ ) 0,5 ve büyük sapmanın ( $\delta_1$ ) 1,5 olduğu ve EK 6’da küçük sapmanın ( $\delta_0$ ) 0,25 ve büyük sapmanın ( $\delta_1$ ) 1,5 olduğu durumlara ilişkin olarak 1. Senaryo’daki tüm simülasyon sonuçları tek replikasyon için verilmiştir. Kontrol dışı gözlem sayısının ortalama değerlerinin Baz Modele göre daha az sayıda olduğu görölmektedir. 1. Senaryo’da Revizyon Değerlendirme kontrol grafiği ile daha az sayıda yanlış sinyal üretilmiş olup  $ARL_0$  değerleri, Baz Modele göre tüm parametre değerleri için daha yüksektir. Ancak, Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.’ya bakıldığında, revizyon limitlerinin artan değerleri için  $ARL_0$  değerlerinin azaldığı görölmektedir.



Şekil 4.4. 1. Senaryo’da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_0$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25$ ,  $\delta_1 = 1$ )



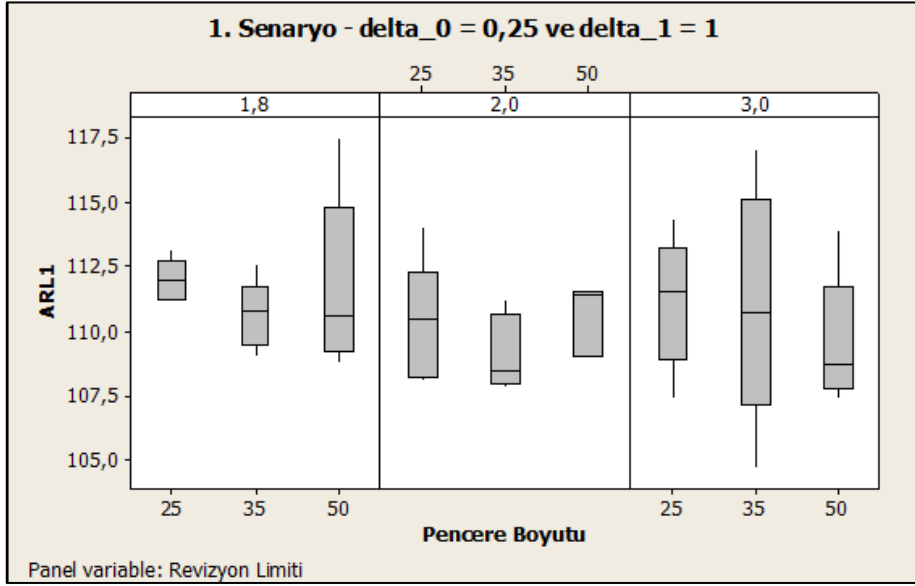
Şekil 4.5. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_0$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5, \delta_1 = 1,5$ )



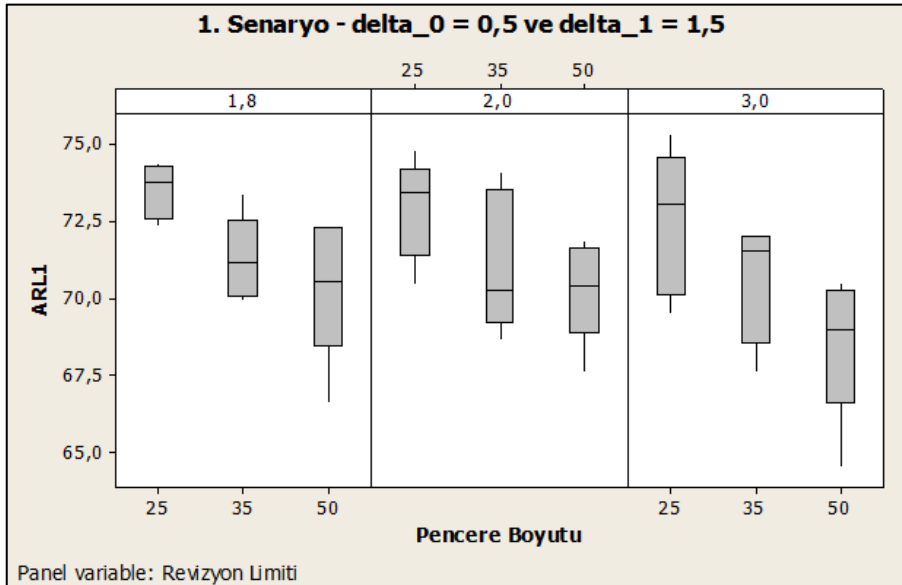
Şekil 4.6. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_0$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ )

Spesifikasyon limitleri içerisinde kalan gözlemlerin sayılarının küçük bir farkla da olsa Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinde daha düşük olduğu görülmektedir.

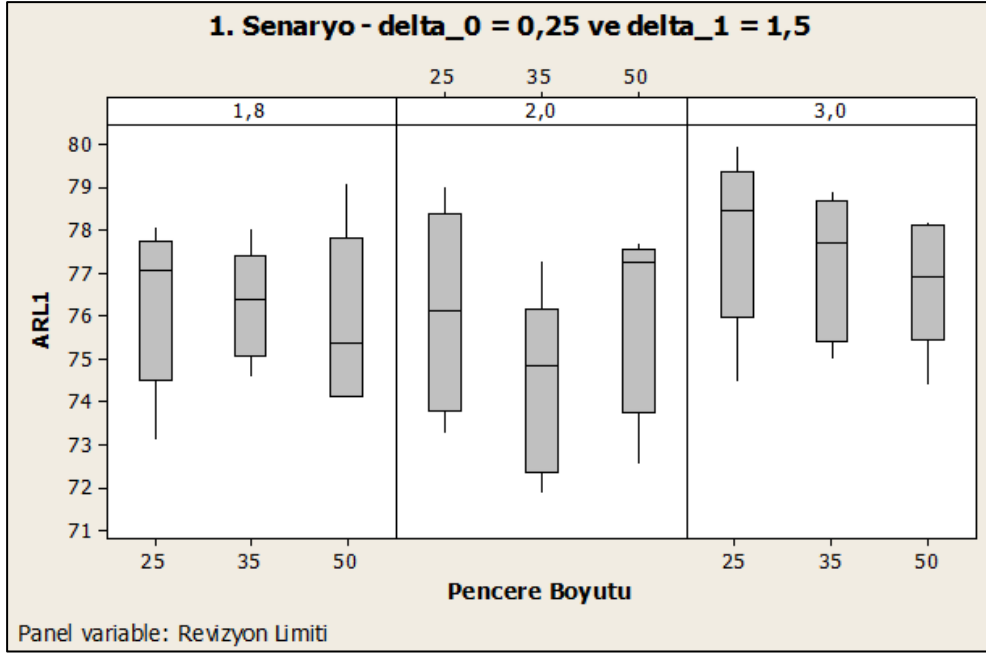
Şekil 4.7., Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'a bakıldığında, artan revizyon limiti değerlerine karşın  $ARL_1$  değerlerinde kayda değer bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 4.7. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_1$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25$ ,  $\delta_1 = 1$ )

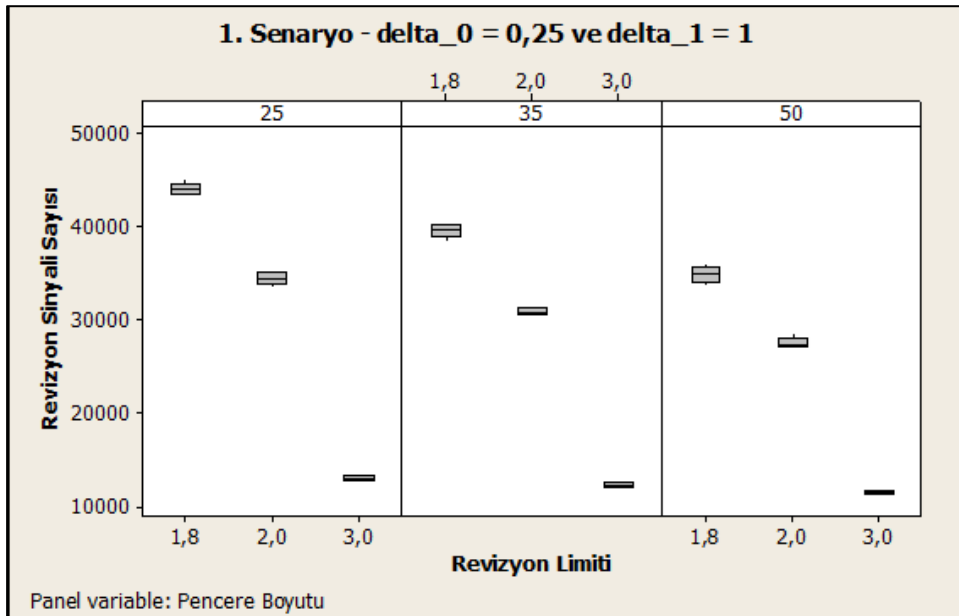


Şekil 4.8. 1. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_1$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5$ ,  $\delta_1 = 1,5$ )

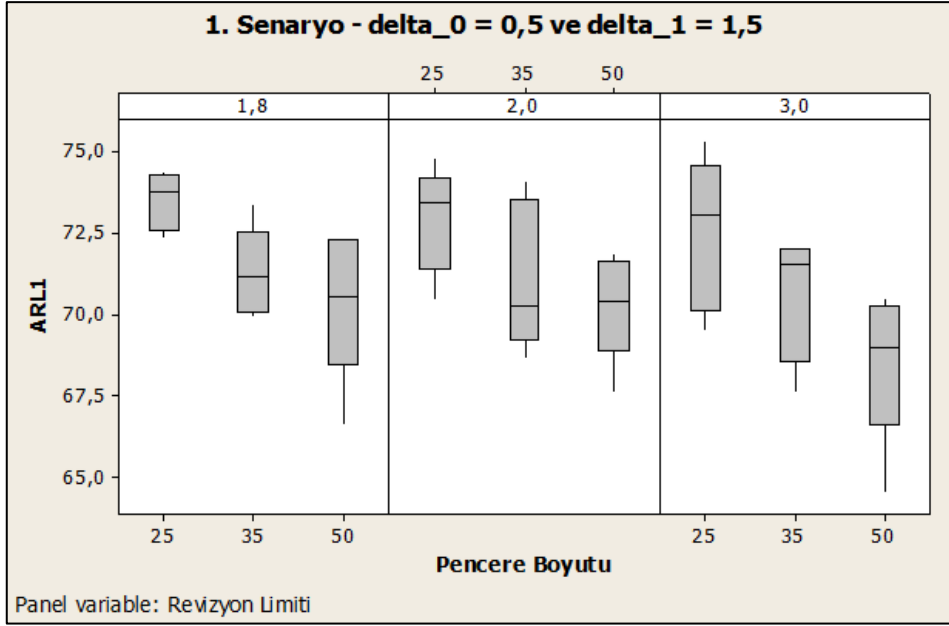


Şekil 4.9. 1. Senaryo’da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_1$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ )

Şekil 4.10.’da ve Şekil 4.11.’de verilen parametre değerleri baz alındığı durumda, dar bir pencere boyutu kullanıldığında revizyon sinyali sayısı artmaktadır.

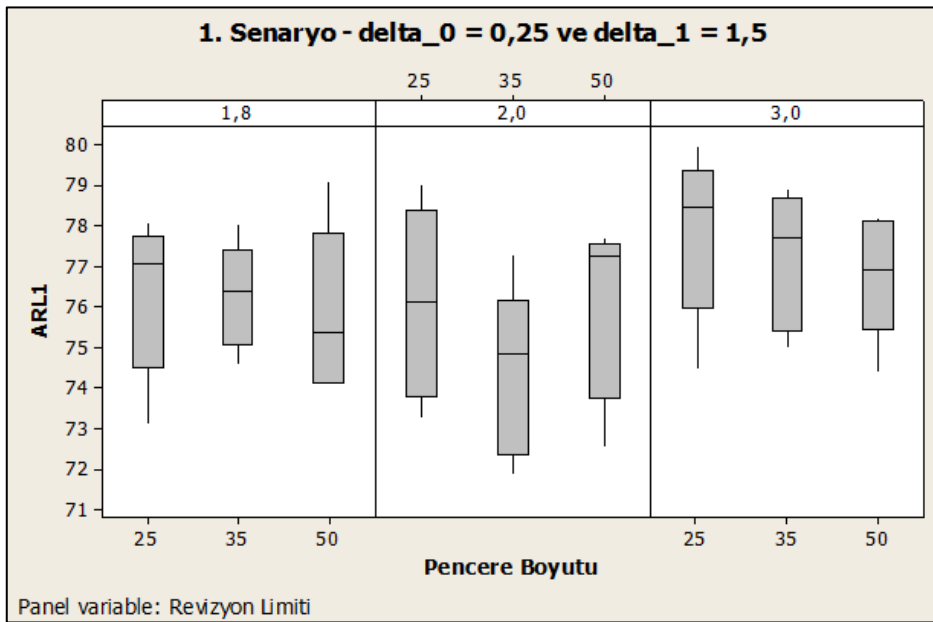


Şekil 4.10. 1. Senaryo’da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_1$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1$ )



Şekil 4.11. 1. Senaryo’da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_1$  ilişkisi ( $\delta_0 = 0,5, \delta_1 = 1,5$ )

Ancak, Şekil 4.12.’de belirtilen parametre değerleri için böyle bir çıkarım yapılamamaktadır. Bu doğrultuda, parametre etkisinin gelecek çalışmalara yönelik önerilerde de belirtildiği üzere, kapsamlı olarak araştırılması gerekmektedir.

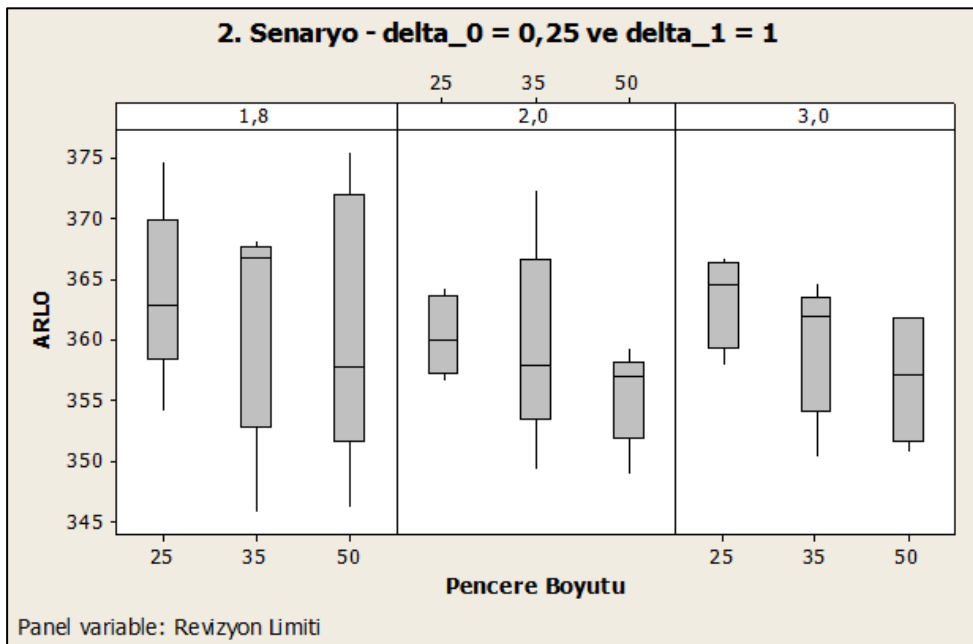


Şekil 4.12. 1. Senaryo’da Artan Revizyon Limiti ve Pencere Boyutu Değerleriyle  $ARL_1$  ilişkisi ( $\delta_0 = 0,25, \delta_1 = 1,5$ )

EK 3'te küçük sapmanın ( $\delta_0$ ) 0,25 ve büyük sapmanın ( $\delta_1$ ) 1 olduğu, EK 5'te küçük sapmanın ( $\delta_0$ ) 0,5 ve büyük sapmanın ( $\delta_1$ ) 1,5 olduğu ve EK 7'de küçük sapmanın ( $\delta_0$ ) 0,25 ve büyük sapmanın ( $\delta_1$ ) 1,5 olduğu durumlara ilişkin olarak 2. Senaryo'daki tüm simülasyon sonuçları tek replikasyon için verilmiştir. Burada hem Baz Modele hem de 1. Senaryo'ya göre kontrol dışı gözlem sayılarının oldukça düştüğü ve spesifikasyon limitleri içerisinde kalan gözlem sayısının arttığı görülmüştür.  $ARL_1$  değerlerinde oldukça yüksek oranda iyileşme sağlandığı görülmüştür.

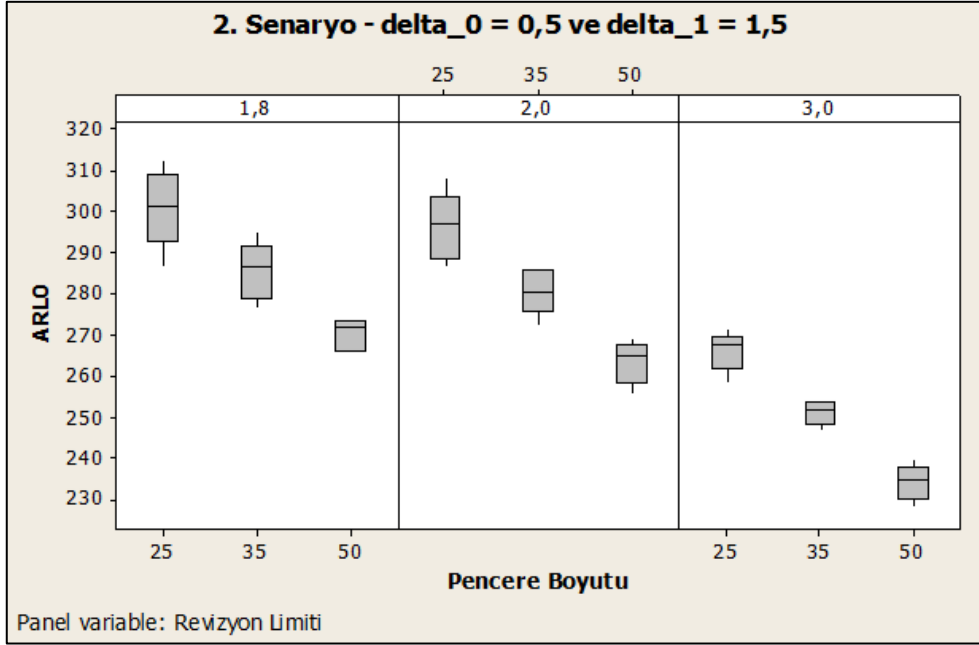
1. Senaryo'ya benzer şekilde, revizyon limitleri genişledikçe genellikle kontrol dışı gözlemlerin sayısında artış olmaktadır. Burada, revizyon limitleri genişledikçe revizyon sinyali sayısının azalması da beklenen bir durumdur. Revizyon limitleri genişledikçe, spesifikasyon limitleri içerisinde kalan gözlem sayısında büyük bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Pencere boyutu arttıkça da revizyon sinyali sayısı düşmektedir.

Şekil 4.13.'te verilen parametre değerleri doğrultusunda elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, artan revizyon limiti değerleri için  $ARL_0$  değerlerinde fark edilebilir bir eğilim olmamıştır.

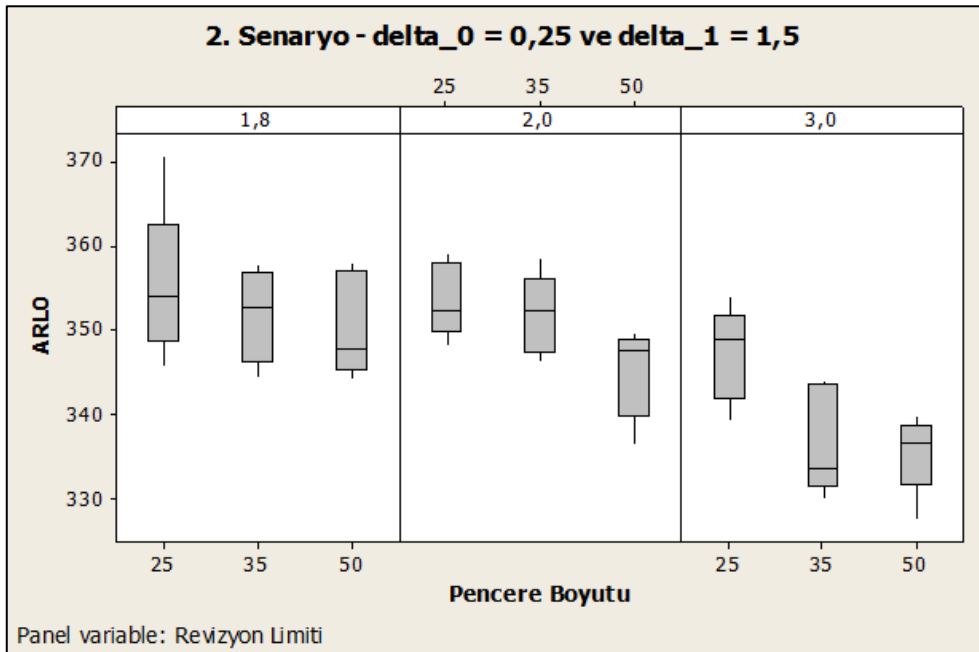


Şekil 4.13. 2. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti Değerleriyle  $ARL_0$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25$ ,  $\delta_1 = 1$ )

Ancak, Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te belirtilen parametre değerleri için revizyon limitleri genişledikçe  $ARL_0$  değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.14. 2. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti Değerleriyle  $ARL_0$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,5$ ,  $\delta_1 = 1,5$ )



Şekil 4.15. 2. Senaryo'da Artan Revizyon Limiti Değerleriyle  $ARL_0$  İlişkisi ( $\delta_0 = 0,25$ ,  $\delta_1 = 1,5$ )



2. Senaryo’da, daha düşük bir  $ARL_1$  değeri elde edebilmek amacıyla revizyon limiti ve pencere boyutu için daha düşük değerlerin tercih edilmesi gerektiği görülmektedir. Atlama parametreleri küçük ve büyük atlama için sırasıyla 0,5 ve 1,5 iken Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinin  $ARL_0$  ve  $ARL_1$  değerlerinin her ikisi için de iyileşme sağlandığı görülmüştür.

Önerilen yönteme ilişkin olarak, 1. ve 2. Senaryo’lar birbirleriyle karşılaştırıldığında, 1. Senaryo’da Revizyon Değerlendirme kontrol grafiğinin daha az yanlış sinyal verdiği ve daha yüksek  $ARL_0$  değerine sahip olduğu görülmektedir. 2. Senaryo’da ise  $ARL_0$  değerindeki iyileşme ya da kötüleşme, atlama parametre değerlerine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, kontrol dışı durumda süreç için  $ARL_1$  değerinde yüksek oranda iyileşme sağlandığı görülmektedir. Her iki senaryo için de revizyon sayılarının fazla olması 1. Senaryo’da  $ARL_0$  değerlerinde, 2. Senaryo’da ise  $ARL_1$  değerinde iyileşme sağlamaktadır. Diğer yandan, kontrol limitlerinin revize edilmesinin de iş gücü gerektirmesi dolayısıyla bir zaman maliyeti gereksinimi doğuracağı unutulmamalıdır.

#### **4.2. Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği Kullanımı için Maliyet Kıyaslaması**

Bütünleşik Revizyon ve İzleme ile kalite performansının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Süreç kalitesi öncelikli bir kaygı olsa da önerilen yöntemin maliyet etkin olması da önem arz etmektedir.

Genel olarak bir süreç izlenirken uzun vadede; sürece ilişkin veri toplanması, kontrol grafiğinin güncellenmesi, Faz 1 aşamasının tekrar edilmesi gibi kontrol grafiğinin idame edilmesine yönelik maliyetlerle karşılaşılırken diğer yandan; kök nedenin araştırılması, düzeltici faaliyet uygulanması, uygunsuz ürünün müşteriye teslim edilmesi gibi süreç kalitesine ilişkin maliyetlere maruz kalınmaktadır. Bu doğrultuda, Bütünleşik Revizyon ve İzleme yaklaşımının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar için maliyet değerlendirmesi önemlidir.

Simülasyon sonucunda elde edilen değerlere bakıldığında, 1. Senaryo’nun kullanılması durumunda Baz Modele göre  $ARL_1$  değerinde düşük miktarda artış olup sistematik

hataların tespiti daha geç olabilecektir. Diğer taraftan,  $ARL_0$  değerinde kayda değer bir artış görülmüş olup yanlışlıkla sürecin durdurularak, problemlerin araştırılması gibi maliyetlerden oldukça kazanç sağlanmış olacaktır.

2. Senaryo için ise,  $ARL_1$  değerinde kayda değer bir azalma sağlanmış olup, kontrol dışı sürecin tespitinin oldukça hızlanacağı, böylece müşteri memnuniyetinde artış sağlanabileceği söylenebilir. Buna karşın, bazı atlama değerleri için  $ARL_0$  değerinde görülen azalma ile birlikte kontrol grafiğinin daha sık yanlış sinyal vermesi neticesinde zaman ve maliyet kaybı olacaktır.

Tüm bu kriterlerin, sürece özgü maliyetler doğrultusunda hesaplanarak etkilerinin değerlendirilmesi ve buradan yola çıkarak optimal kararın verilmesi ilerideki çalışmalar açısından önemlidir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz dünyasında hızla değişen ve gelişen teknolojik gelişmelere ayak uydurulması ve küresel rekabet ortamında şirketlerin ayakta kalabilmesi, ancak başarılı bir kalite yönetimiyle mümkündür. Müşteri memnuniyetinin artırılması için yüksek kaliteye sahip ürün ve hizmetlerin düşük maliyetlerle sunulmasının, işletmeleri öne çıkaran önemli bir faktör olduğu açıktır. Bu doğrultuda, kalite yönetiminde sürekli iyileştirmenin benimsenmesi ve sistematik hale getirilmesi temel ilke olarak kabul edilmeli ve uygulamaya alınmalıdır.

Sürekli iyileştirmede önemli bir prensip, sürecin izlenerek kontrol dışı bir durum meydana geldiğinde problemin olabildiğince hızlı şekilde tespit edilmesi ve gerekli düzeltici faaliyetler uygulanarak bunun ortadan kaldırılmasıdır. Süreçlerdeki değişkenlik ile kalite birbirleriyle ters orantılı kavramlar olup kalitenin iyileştirilmesi için değişkenlik azaltılmalıdır. Bu kapsamda, değişkenliğin saptanabilir sebepleri ortadan kaldırılarak süreçler durağan hale getirilmeye çalışılır. Kontrol altındaki bir süreçte yalnızca rastgele değişiklik bulunmakta olup çıktılar tahmin edilebilir bir değer aralığında üretilir. Bu tez kapsamında, kontrol altında kabul edilebilecek bir sürece ilişkin kontrol istatistiğinin ortalamasının bir sabit değil de rastgele değişen olabileceği varsayılmıştır. Süreçlerin dinamik doğası gereği kontrol istatistiğinin ortalamasının zaman zaman küçük sapmalar göstermesi ve bunun saptanamayacak küçük sebeplerinin olabileceği, süreç izleme problemlerine daha gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Bir süreç kontrol altında iken kontrol istatistiğinin ortalamasındaki sebepleri saptanamayan ve normal kabul edilebilecek sapmaların zamanları Poisson dağılımı kullanılarak, bu sapmaların büyüklükleri de Normal dağılım kullanılarak stokastik bir süreç olarak modellenmiştir.

Kontrol grafikleri tasarlanırken genellikle sürece ilişkin görece kısa bir döneme ait geçmiş gözlemler kullanılmakta ve Faz 1 çalışması ile kontrol limitleri belirlenmektedir. Bu kontrol limitleri kontrol altındaki sürece ilişkin bir modelleme olup, süreçte meydana gelebilecek kontrol dışı durumlar bu modelden sapma ile tespit edilir. Ancak zaman içerisinde, kontrol altında olduğu kabul edilen süreçte ve buna ilişkin modelde de çeşitli doğal değişiklikler olabilir. Dolayısıyla, kontrol limitlerinin zaman zaman revize edilmesi önerilir ancak kontrol limitlerinin revize edilmesiyle ilgili sistematik yöntemler

literatürde oldukça sınırlıdır. Bu doğrultuda, tez kapsamında kontrol grafiğinin revizyon kararının verilmesi amacıyla Normallerin Ortalaması yönteminden istifade edilerek veriye dayalı bir bütünleşik süreç izleme ve kontrol grafiği revizyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin, faydalarının ve iyileştirmeye açık yönlerinin değerlendirilmesi için uzun vadedeki davranışının incelendiği bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda süreç izleme için Shewhart I- kontrol grafiği, revizyon kararı verilmesi için Normallerin Ortalaması grafiği ile birlikte kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem iki senaryo altında, revizyon yapılmayan uygulamalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Performans sonuçları önerilen yöntemin fayda sağlama potansiyeli olduğuna işaret etmektedir.

Çalışmada her ne kadar simülasyon çalışması yöntemin fayda sağlama potansiyeli olduğuna işaret etse de çalışmanın halen geliştirmeye açık yönleri bulunmaktadır. Aşağıda bu çalışmanın sınırlamalarına ve gelecek çalışmalara yönelik bazı öneriler getirilmiştir:

- Kapsamlı parametre kombinasyonları ile yapılacak simülasyon çalışmaları ile yöntemin etkinliğinin ve zayıflıklarının değerlendirilmesi, önerilecek parametre kombinasyonlarının belirlenmesi önem arz etmektedir.
- Normallerin ortalaması kontrol grafiği yerine revizyon kararlarının verilmesi için farklı kontrol grafikleri değerlendirilebilecektir.
- Geliştirilen yöntem değerlendirilirken Faz 1 aşaması simülasyonu yapılmamıştır ve parametre tahminlerinin yapılmasının performansına etkisi bilinmemektedir.
- Geliştirilen yöntemin çeşitli maliyet kalemleri de dikkate alınarak değerlendirilmesi karar vericilere fayda sağlayabilecektir.
- Geliştirilen yöntemin deney tasarımı yapılarak sonuçları değerlendirilebilecektir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] K.-J. Chung, “Determination of Optimal Design Parameters of an  $\bar{X}$  Control Chart,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 43, no. 12, pp. 1151–1157, Dec. 1992, doi: 10.1057/jors.1992.181.
- [2] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley, 2020. [Online]. Available: <https://books.google.com.tr/books?id=oh7zDwAAQBAJ>
- [3] W. A. Shewhart, “Some Applications of Statistical Methods to the Analysis of Physical and Engineering Data,” *Bell System Technical Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 43–87, Jan. 1924, doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1924.tb01347.x>.
- [4] L. S. Nelson, “Control Charts for Individual Measurements,” *Journal of Quality Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 172–173, Jul. 1982, doi: 10.1080/00224065.1982.11978811.
- [5] A. Mitra, “Introduction to Quality Control and the Total Quality System,” in *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, 2008, pp. 1–45. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118491645.ch1>.
- [6] J.-H. WANG and T. RAZ, “On the construction of control charts using linguistic variables,” *Int J Prod Res*, vol. 28, no. 3, pp. 477–487, Mar. 1990, doi: 10.1080/00207549008942731.
- [7] S. Knoth, “Steady-state average run length(s): Methodology, formulas, and numerics,” *Seq Anal*, vol. 40, no. 3, pp. 405–426, Jul. 2021, doi: 10.1080/07474946.2021.1940501.
- [8] Y. Chen, J. B. Birch, and W. H. Woodall, “Effect of Phase I Estimation on Phase II Control Chart Performance with Profile Data,” *Qual Reliab Eng Int*, vol. 32, no. 1, pp. 79–87, Feb. 2016, doi: <https://doi.org/10.1002/qre.1727>.
- [9] C. P. Quesenberry, “The Effect of Sample Size on Estimated Limits for  $\bar{X}$  and X Control Charts,” *Journal of Quality Technology*, vol. 25, no. 4, pp. 237–247, Oct. 1993, doi: 10.1080/00224065.1993.11979470.
- [10] H. B. Wong\*, F. F. Gan, and T. C. Chang‡, “Designs of moving average control chart,” *J Stat Comput Simul*, vol. 74, no. 1, pp. 47–62, Jan. 2004, doi: 10.1080/0094965031000105890.

- [11] M. B. C. Khoo, "A Moving Average Control Chart for Monitoring the Fraction Non-conforming," *Qual Reliab Eng Int*, vol. 20, no. 6, pp. 617–635, Oct. 2004, doi: <https://doi.org/10.1002/qre.576>.
- [12] S. W. Roberts, "A Comparison of Some Control Chart Procedures," *Technometrics*, vol. 8, no. 3, pp. 411–430, Aug. 1966, doi: [10.1080/00401706.1966.10490374](https://doi.org/10.1080/00401706.1966.10490374).
- [13] R. G. Hoffmann and M. E. Waid, "The 'Average of Normals' Method of Quality Control," *Am J Clin Pathol*, vol. 43, no. 2, pp. 134–141, Feb. 1965, doi: [10.1093/ajcp/43.2.134](https://doi.org/10.1093/ajcp/43.2.134).
- [14] E. Amador, B. P. Hsi, and M. F. Massod, "An Evaluation of the 'Average of Normals' and Related Methods of Quality Control," *Am J Clin Pathol*, vol. 50, no. 3, pp. 369–378, Sep. 1968, doi: [10.1093/ajcp/50.3.369](https://doi.org/10.1093/ajcp/50.3.369).
- [15] M. Kilgariff and J. A. Owen, "An assessment of the 'average of normals' quality control method," *Clinica Chimica Acta*, vol. 19, no. 2, pp. 175–179, 1968, doi: [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(68\)90324-0](https://doi.org/10.1016/0009-8981(68)90324-0).
- [16] J. A. Owen and D. G. Campbell, "Laboratory quality control using patients' results," *Clinica Chimica Acta*, vol. 20, no. 2, pp. 327–334, 1968, doi: [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(68\)90167-8](https://doi.org/10.1016/0009-8981(68)90167-8).
- [17] A. H. Reed, "Use of Patient Data for Quality Control of Clinical Laboratory Tests," *Clin Chem*, vol. 16, no. 2, pp. 129–134, Feb. 1970, doi: [10.1093/clinchem/16.2.129](https://doi.org/10.1093/clinchem/16.2.129).
- [18] G. Cembrowski, E. Chandler, and J. Westgard, "Assessment of 'Average of Normals' Quality Control Procedures and Guidelines for Implementation," *Am J Clin Pathol*, vol. 81, pp. 492–499, May 1984, doi: [10.1093/ajcp/81.4.492](https://doi.org/10.1093/ajcp/81.4.492).
- [19] J. Liu, C. H. Tan, T. P. Loh, and T. Badrick, "Verification of out-of-control situations detected by 'average of normal' approach," *Clin Biochem*, vol. 49, no. 16, pp. 1248–1253, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2016.07.012>.
- [20] T. Badrick and P. Graham, "Can a combination of average of normals and 'real time' External Quality Assurance replace Internal Quality Control?," vol. 56, no. 4, pp. 549–553, 2018, doi: [doi:10.1515/cclm-2017-0115](https://doi.org/10.1515/cclm-2017-0115).

- [21] H. Hotelling, "Multivariate quality control. Techniques of statistical analysis," *McGraw-Hill, New York*, 1947.
- [22] E. S. Page, "Continuous Inspection Schemes," *Biometrika*, vol. 41, no. 1/2, pp. 100–115, 1954, doi: 10.2307/2333009.
- [23] S. W. Roberts, "Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages," *Technometrics*, vol. 42, no. 1, pp. 97–101, Feb. 2000, doi: 10.1080/00401706.2000.10485986.
- [24] C. A. LOWRY and D. C. MONTGOMERY, "A review of multivariate control charts," *IIE Transactions*, vol. 27, no. 6, pp. 800–810, Dec. 1995, doi: 10.1080/07408179508936797.
- [25] D. C. Montgomery, "The Economic Design of Control Charts: A Review and Literature Survey," *Journal of Quality Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 75–87, Apr. 1980, doi: 10.1080/00224065.1980.11980940.
- [26] A. J. Duncan, "The Economic Design of X Charts Used to Maintain Current Control of a Process," *J Am Stat Assoc*, vol. 51, no. 274, pp. 228–242, Jun. 1956, doi: 10.1080/01621459.1956.10501322.
- [27] C. Ho and K. E. Case, "Economic Design of Control Charts: A Literature Review for 1981–1991," *Journal of Quality Technology*, vol. 26, no. 1, pp. 39–53, Jan. 1994, doi: 10.1080/00224065.1994.11979497.
- [28] E. A. Silver, "The economic design of an X control chart recognizing process improvement," *Int J Prod Res*, vol. 37, no. 2, pp. 393–412, Feb. 1999, doi: 10.1080/002075499191832.
- [29] W. H. Woodall, "The Design of CUSUM Quality Control Charts," *Journal of Quality Technology*, vol. 18, no. 2, pp. 99–102, Apr. 1986, doi: 10.1080/00224065.1986.11978994.
- [30] L. A. Aroian and H. Levene, "The Effectiveness of Quality Control Charts," *J Am Stat Assoc*, vol. 45, no. 252, pp. 520–529, 1950, doi: 10.2307/2280720.
- [31] B. F. Arnold and E. von C. Iani, "Economic Process Control," *Stat Neerl*, vol. 41, no. 2, pp. 89–97, Jun. 1987, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9574.1987.tb01175.x>.

- [32] H. H. FAIRFIELD, “AN AID TO REVISION OF QUALITY CONTROL CHART LIMITS\*,” *Qual Eng*, vol. 2, no. 1, pp. 45–48, Jan. 1989, doi: 10.1080/08982118908962695.
- [33] John J. Flaig, “When to Recalculate Control Limits.” <https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/when-recalculate-control-limits/> (accessed Dec. 19, 2022).
- [34] G. Vining, “Technical Advice: Phase I and Phase II Control Charts,” *Qual Eng*, vol. 21, no. 4, pp. 478–479, Sep. 2009, doi: 10.1080/08982110903185736.
- [35] L. C. E. Huberts, M. Schoonhoven, and R. J. M. M. Does, “The effect of continuously updating control chart limits on control chart performance,” *Qual Reliab Eng Int*, vol. 35, no. 4, pp. 1117–1128, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.1002/qre.2448>.
- [36] G. Capizzi and G. Masarotto, “Guaranteed in-control control chart performance with cautious parameter learning,” *Journal of Quality Technology*, vol. 52, no. 4, pp. 385–403, Oct. 2020, doi: 10.1080/00224065.2019.1640096.
- [37] L. C. E. Huberts, R. Goedhart, and R. J. M. M. Does, “Improved control chart performance using cautious parameter learning,” *Comput Ind Eng*, vol. 169, p. 108185, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108185>.
- [38] G. A. Barnard, “Control Charts and Stochastic Processes,” *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, vol. 21, no. 2, pp. 239–257, Jul. 1959, doi: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1959.tb00336.x>.
- [39] J. M. Lucas and M. S. Saccucci, “Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements,” *Technometrics*, vol. 32, no. 1, pp. 1–12, Feb. 1990, doi: 10.1080/00401706.1990.10484583.
- [40] J. O. Westgard, T. Groth, T. Aronsson, and C. H. de Verdier, “Combined Shewhart-cusum control chart for improved quality control in clinical chemistry.,” *Clin Chem*, vol. 23, no. 10, pp. 1881–1887, Oct. 1977, doi: 10.1093/clinchem/23.10.1881.
- [41] K. Talordphop, S. Sukparungsee, and Y. Areepong, “New modified exponentially weighted moving average-moving average control chart for process monitoring,”



- Conn Sci*, vol. 34, no. 1, pp. 1981–1998, Dec. 2022, doi: 10.1080/09540091.2022.2090513.
- [42] A. K. Patel and J. Divecha, “Modified exponentially weighted moving average (EWMA) control chart for an analytical process data,” *Journal of Chemical Engineering*, vol. 2, pp. 12–20, 2011.
- [43] V. Alevizakos, K. Chatterjee, and C. Koukouvinos, “The quadruple exponentially weighted moving average control chart,” *Qual Technol Quant Manag*, vol. 19, no. 1, pp. 50–73, Jan. 2022, doi: 10.1080/16843703.2021.1989141.
- [44] J. O. Westgard, F. A. Smith, P. J. Mountain, and S. Boss, “Design and assessment of average of normals (AON) patient data algorithms to maximize run lengths for automatic process control.,” *Clin Chem*, vol. 42 10, pp. 1683–8, 1996.
- [45] T. Entringer *et al.*, “Comparative Analysis main Methods Business Process Modeling: Literature Review, Applications and Examples,” *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 6, pp. 100–116, Jan. 2019, doi: 10.22161/ijaers.6.5.15.
- [46] H. A. Reijers, “Business Process Management: The evolution of a discipline,” *Comput Ind*, vol. 126, p. 103404, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103404>.
- [47] M. Klein, “Two Alternatives to the Shewhart  $\bar{X}$  Control Chart,” *Journal of Quality Technology*, vol. 32, no. 4, pp. 427–431, Oct. 2000, doi: 10.1080/00224065.2000.11980028.
- [48] “BPMN 2.0 Symbols - A complete guide with examples.,” Oct. 22, 2022. <https://camunda.com/bpmn/reference/> (accessed Oct. 22, 2022).

## EKLER

### EK 1 - BPMN 2.0 Notasyonu - Simgeler Sözlüğü

BPMN 2.0	Anlamı
	Başlangıç
	Ara olay
	Sinyal (Başka bir olayı tetikler.)
	Bağlantı (Atan)
	Bağlantı (Alan)
	Bitiş
	Olay akışı
	Mesaj akışı
	Olay
	Döngü (Tekrar eden olay)
	Olay (Hizmet)
	Olay (Kullanıcı)
	Alt süreç
	Geçit (Karar)
	Dışlayıcı (Koşulları sağlayan olay ya da olayları aktive eder.)
	Paralel (Olayları eş zamanlı olarak aktive eder.)
	Kapsayıcı (Öncesindeki olayların gerçekleşmiş olması gerekir.)
	Olayı başlatan ara olay (Mesaj tetikler) (Öncülündeki olayı keser.)
	Olayın başlangıcı (Mesaj tetikler) (Öncülündeki olayı kesmez.)
	Mesaj ara olayı (Atan)
	Bitiş (Mesaj üretilir.)
	Veri tabanı
	Veri nesnesi
	Veri seti
	Olay metni

Yararlanılan kaynak için bkz. [48]

## EK 2 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 1. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon

Sonuçları ( $\delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} \sim N(0, 0, 25)$ ,  $\delta_{1,j}\sigma_{\delta_1} \sim N(0, 1)$ )

	Revizyon Limiti	Pencere Boyutu	Kesme Limiti	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Revizyon Sinyali Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL1)	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL0)
Süreç İzleme Kontrol Grafiği				5791	994210	-	102	2370	422
Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği	1,80	25	2,00	5189	993787	43171	111,96	1868	535,33
			2,50	5257	993856	44020	111,15	1911	523,28
			2,80	5175	993787	43635	112,26	1859	537,92
			3,00	5174	993874	44960	113,17	1856	538,79
			3,20	5225	993853	44021	111,36	1879	532,19
		35	2,00	5270	993776	39697	108,98	1946	513,87
			2,50	5268	993829	40319	110,91	1906	524,65
			2,80	5189	993818	39553	112,59	1885	530,5
			3,00	5267	993834	38380	110,81	1907	524,38
			3,20	5266	993742	40259	110,01	1952	512,29
		50	2,00	5288	993905	34942	109,61	1968	508,13
			2,50	5269	993895	33579	108,78	1938	515,99
			2,80	5319	993745	35860	112,14	1965	508,9
			3,00	5317	993804	35256	110,61	1973	506,84
			3,20	5166	993942	34256	117,55	1890	529,1
	2,00	25	2,00	5276	993803	34332	110,51	1950	512,82
			2,50	5210	993830	35219	110,48	1912	523,01
			2,80	5211	993811	34868	108,04	1881	531,63
			3,00	5096	993983	33364	114,05	1830	546,44
			3,20	5272	993694	34068	108,35	1935	516,79
		35	2,00	5428	993681	31494	108,04	2097	476,87
			2,50	5293	993761	30658	107,84	1948	513,34
			2,80	5271	993930	30634	110,11	1956	511,24
			3,00	5315	993801	31232	111,2	2002	499,5
			3,20	5237	993838	30531	108,43	1916	521,92
		50	2,00	5246	993929	27427	111,52	1934	517,06
			2,50	5321	993853	28578	108,98	1994	501,5
			2,80	5268	993888	27056	108,99	1947	513,61
			3,00	5250	993860	27308	111,42	1925	519,48
			3,20	5291	993815	27499	111,53	1967	508,38
	3,00	25	2,00	5451	993898	12530	114,39	2148	465,54
			2,50	5489	993766	13272	107,36	2158	463,38
			2,80	5384	993798	12707	111,99	2082	480,3
			3,00	5418	993787	12937	110,33	2065	484,26
			3,20	5436	993795	13031	111,54	2113	473,26
		35	2,00	5584	993786	12057	104,69	2211	452,28
			2,50	5415	993844	12718	113,19	2088	478,92
			2,80	5518	993874	11915	109,6	2221	450,24
			3,00	5277	993814	12364	117,08	2025	493,82
			3,20	5382	993808	12218	110,72	2060	485,43
		50	2,00	5553	993814	11469	108,08	2211	452,28
			2,50	5457	993917	11514	107,39	2086	479,38
			2,80	5495	993989	11135	108,7	2162	462,53
			3,00	5465	993812	11625	109,48	2144	466,41
			3,20	5479	993884	11669	113,96	2160	462,96

### EK 3 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 2. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon

Sonuçları ( $\delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} \sim N(0, 0, 25)$ ,  $\delta_{1,j}\sigma_{\delta_1} \sim N(0, 1)$ )

	Revizyon Limiti	Pencere Boyutu	Kesme Limiti	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Revizyon Sinyali Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL1)	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL0)
Süreç İzleme Kontrol Grafiği				5791	994211	-	102	2370	422
Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği	1,80	25	2,00	3625	995599	18398	17,36	2755	362,97
			2,50	3644	995706	18327	18,56	2740	364,96
			2,80	3549	995788	18784	18,3	2668	374,81
			3,00	3635	995582	18302	17,98	2756	362,84
			3,20	3722	995585	18467	18,17	2824	354,1
		35	2,00	3795	995491	15504	21,03	2780	359,71
			2,50	3897	995507	15637	20,98	2892	345,78
			2,80	3709	995677	15561	20,54	2715	368,32
			3,00	3777	995558	15660	20,45	2726	366,83
			3,20	3750	995504	15812	21,18	2724	367,1
		50	2,00	4012	995420	13584	24,45	2887	346,18
			2,50	3918	995419	13470	24,14	2795	357,74
			2,80	3875	995542	13472	24,56	2798	357,13
			3,00	3889	995534	13296	24,94	2713	368,58
			3,20	3814	995512	13528	24,8	2662	375,49
	2,00	25	2,00	3821	995531	14870	21,15	2777	360,01
			2,50	3776	995539	14954	21,83	2804	356,53
			2,80	3751	995525	14917	21,09	2793	357,91
			3,00	3752	995586	15028	20,87	2755	362,86
			3,20	3671	995697	14790	21,52	2743	364,29
		35	2,00	3915	995516	12886	24,75	2794	357,9
			2,50	3904	995503	12995	24,28	2795	357,59
			2,80	3864	995460	12933	24,32	2770	361
			3,00	3962	995456	12990	24,29	2860	349,35
			3,20	3758	995634	13041	24,27	2684	372,41
		50	2,00	4079	995409	11468	26,88	2818	354,84
			2,50	4059	995355	11595	27,89	2799	357,12
			2,80	4069	995376	11643	27,53	2864	348,96
			3,00	4013	995369	11529	27,34	2801	356,97
			3,20	3938	995486	11569	28,04	2781	359,31
	3,00	25	2,00	4245	995382	6504	44,47	2726	366,82
			2,50	4213	995402	6566	42,96	2731	366
			2,80	4235	995278	6597	43,11	2772	360,74
			3,00	4244	995298	6654	42,5	2794	357,86
			3,20	4195	995282	6599	43,11	2743	364,55
		35	2,00	4416	995180	6509	43,27	2854	350,34
			2,50	4266	995357	6487	42,18	2762	361,87
			2,80	4333	995245	6502	44,14	2742	364,63
			3,00	4299	995254	6589	43,97	2759	362,29
			3,20	4331	995230	6530	44,52	2793	357,73
		50	2,00	4498	995085	6480	43,91	2837	352,44
			2,50	4435	995206	6447	45,81	2849	350,73
			2,80	4442	995242	6340	45,21	2765	361,65
			3,00	4447	995219	6402	45	2762	361,9
			3,20	4513	995080	6310	46,54	2799	357,18

## EK 4 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 1. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon

Sonuçları ( $\delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} \sim N(0, 0, 5)$ ,  $\delta_{1,j}\sigma_{\delta_1} \sim N(0, 1, 5)$ )

	Revizyon Limiti	Pencere Boyutu	Kesme Limiti	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Revizyon Sinyali Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL1)	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL0)	
Süreç İzleme Kontrol Grafiği				9435	990565	-	59	5701	175,4	
Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği	1,80	25	2,00	6296	989285	43555	72,89	2698	370,58	
			2,50	6184	989258	43769	72,3	2622	381,34	
			2,80	6192	989244	44591	73,75	2624	380,81	
			3,00	6141	989219	43654	74,38	2571	388,94	
			3,20	6037	989281	44472	74,18	2484	402,03	
		35	2,00	6433	989157	39776	70,26	2820	354,58	
			2,50	6395	989030	40725	73,38	2826	353,53	
			2,80	6412	989188	40451	71,17	2827	353,72	
			3,00	6353	989295	39638	69,94	2763	361,89	
			3,20	6377	988957	39209	71,67	2787	358,64	
		50	2,00	6626	989141	37325	72,26	3032	329,8	
			2,50	6679	989389	38356	70,56	3051	327,73	
			2,80	6563	989277	37727	66,61	2939	340,04	
			3,00	6581	989143	38811	70,26	2961	337,7	
			3,20	6531	989004	39172	72,27	2949	338,88	
		2,00	25	2,00	6382	989153	34321	70,46	2779	359,81
				2,50	6385	989003	34278	72,32	2793	358,01
				2,80	6403	988752	34957	74,8	2829	353,47
				3,00	6194	989234	34845	73,4	2625	380,9
				3,20	6210	989146	34605	73,61	2633	379,53
			35	2,00	6563	989297	31858	74,08	2994	333,71
				2,50	6444	989106	31216	68,65	2831	353,09
				2,80	6326	989173	30807	70,3	2741	364,8
				3,00	6423	989069	31730	69,78	2838	352,32
	3,20			6313	989250	31852	73,02	2730	366,18	
	50		2,00	6719	989106	30951	71,84	3097	322,88	
			2,50	6696	989223	31353	71,41	3095	322,88	
			2,80	6750	989190	30375	70,17	3143	318,16	
			3,00	6686	989085	30041	70,4	3071	325,59	
			3,20	6653	989170	30897	67,6	3016	331,48	
	3,00		25	2,00	7133	989245	12816	69,52	3505	285,2
				2,50	6742	989234	14007	73,06	3148	317,65
				2,80	6612	989398	13876	73,87	3021	330,89
				3,00	6632	989167	14174	75,31	3067	325,88
				3,20	6746	988917	14030	70,75	3128	319,68
			35	2,00	6938	989397	13257	72,03	3355	297,99
				2,50	6985	989509	13320	69,46	3361	297,5
				2,80	6848	989411	13584	71,98	3257	306,99
				3,00	6987	989414	13340	67,61	3360	297,58
		3,20		6991	989031	13600	71,53	3379	295,77	
		50	2,00	7304	989192	12593	70,48	3685	271,36	
			2,50	7391	989394	13132	68,95	3737	267,57	
			2,80	7258	989301	12828	64,55	3616	276,42	
			3,00	7250	989195	13134	68,71	3604	277,45	
			3,20	7244	989131	13138	70,07	3625	275,68	

## EK 5 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 2. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon

Sonuçları ( $\delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} \sim N(0, 0, 5)$ ,  $\delta_{1,j}\sigma_{\delta_1} \sim N(0, 1, 5)$ )

	Revizyon Limiti	Pencere Boyutu	Kesme Limiti	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Revizyon Sinyali Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL1)	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL0)
Süreç İzleme Kontrol Grafiği				9435	990565	-	59	5701	175,4
Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği	1,80	25	2,00	4871	991389	21352	12,79	3489	286,56
			2,50	4713	991278	21628	12,53	3316	301,53
			2,80	4709	991462	21625	12,78	3344	298,81
			3,00	4656	991387	21394	12,95	3278	305,05
		3,20	4567	991329	21550	12,59	3197	312,67	
		35	2,00	5103	991031	20180	14,48	3554	281,36
			2,50	5112	991189	20357	14,48	3618	276,37
			2,80	4930	991264	20057	14,33	3388	295,14
			3,00	4996	991022	20428	13,90	3473	287,91
		3,20	4925	991149	20475	14,69	3488	286,56	
		50	2,00	5377	991082	20606	16,41	3648	274
			2,50	5438	990895	21019	16,12	3751	266,59
	2,80		5374	991054	21244	16,49	3765	265,58	
	3,00		5336	990896	21606	16,26	3681	271,64	
	3,20	5269	990946	21565	16,99	3666	272,64		
	2,00	25	2,00	4942	991081	17430	14,54	3449	289,93
			2,50	4956	991239	17492	14,74	3488	286,67
			2,80	4717	991324	17335	14,21	3244	308,24
			3,00	4844	991102	17462	14,11	3365	297,12
		3,20	4753	991202	17541	14,66	3348	298,54	
		35	2,00	5277	991202	16304	16,46	3676	271,99
			2,50	5178	991112	16372	16,27	3578	279,45
			2,80	5132	991263	16517	16,27	3565	280,29
			3,00	5097	991123	16381	16,22	3502	285,51
		3,20	5078	991020	16498	16,32	3491	286,44	
		50	2,00	5666	990972	17286	18,48	3916	255,34
			2,50	5496	991042	16650	18,43	3711	269,35
	2,80		5508	990799	17337	18,06	3764	265,65	
	3,00		5488	990843	17418	19,15	3776	264,7	
	3,20	5513	991103	16823	18,43	3827	261,25		
	3,00	25	2,00	5768	991010	8918	26,61	3869	258,27
			2,50	5653	990997	8814	27,59	3731	268,01
			2,80	5602	990899	8986	25,34	3684	271,34
			3,00	5703	991000	8912	25,96	3765	265,54
		3,20	5597	990959	8977	26,98	3741	267,25	
		35	2,00	6078	990631	8891	27,08	4048	247,02
2,50			6084	990662	8886	26,45	4008	249,47	
2,80			5977	990704	8789	27,33	3975	251,56	
3,00			5944	990704	8787	27,27	3951	253,09	
3,20		5922	990708	8788	27,27	3932	254,31		
50		2,00	6532	990697	9043	28,45	4387	227,93	
		2,50	6375	990747	8987	27,85	4170	239,7	
	2,80	6400	990463	9144	28,48	4254	235,05		
	3,00	6407	990574	9117	28,19	4306	232,12		
3,20	6377	990739	8999	29,00	4239	235,86			

## EK 6 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 1. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon

Sonuçları ( $\delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} \sim N(0, 0, 25)$ ,  $\delta_{1,j}\sigma_{\delta_1} \sim N(0, 1, 5)$ )

	Revizyon Limiti	Pencere Boyutu	Kesme Limiti	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Revizyon Sinyali Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL1)	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL0)
Süreç İzleme Kontrol Grafiği				6357	993643	-	73	2776	360,23
Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği	1,80	25	2,00	5720	993322	40147	78,08	2199	454,74
			2,50	5764	993458	40911	77,07	2224	449,57
			2,80	5721	993333	41817	73,12	2180	458,43
			3,00	5687	993400	41443	75,87	2144	466,38
			3,20	5639	993346	42236	77,44	2134	468,4
		35	2,00	5771	993339	36645	76,83	2211	451,89
			2,50	5818	993343	36180	74,59	2286	437,39
			2,80	5726	993432	36685	76,4	2212	451,74
			3,00	5677	993407	36325	78,04	2156	463,8
			3,20	5641	993469	36102	75,57	2119	471,43
		50	2,00	5834	993389	30484	74,07	2299	434,74
			2,50	5803	993291	32077	79,08	2291	436,36
			2,80	5810	993340	31136	75,39	2270	440,27
			3,00	5825	993277	31128	74,17	2278	438,84
			3,20	5772	993502	31754	76,59	2251	443,92
	2,00	25	2,00	5706	993425	32036	77,69	2195	455,47
			2,50	5740	993496	32052	76,15	2218	450,61
			2,80	5699	993397	31942	79,07	2181	458,21
			3,00	5767	993493	32169	73,27	2201	454,13
			3,20	5695	993249	33179	74,36	2160	462,91
		35	2,00	5835	993312	28566	72,86	2272	439,97
			2,50	5758	993291	28566	75,06	2218	450,5
			2,80	5958	993239	28751	71,86	2385	419,18
			3,00	5853	993156	29374	74,82	2279	438,75
			3,20	5717	993374	28712	77,3	2176	459,21
		50	2,00	5890	993325	24225	77,35	2369	422,11
			2,50	5884	993411	24743	77,27	2346	425,9
			2,80	5897	993339	25100	72,53	2357	424,08
			3,00	5818	993365	25116	74,97	2258	442,84
			3,20	5790	993358	25477	77,71	2285	437,45
	3,00	25	2,00	5957	993318	12353	78,46	2426	411,84
			2,50	6000	993330	12193	74,45	2479	403,34
			2,80	5906	993391	12387	77,44	2409	414,79
			3,00	5892	993398	12119	78,81	2388	418,74
			3,20	5927	993284	11915	79,96	2436	410,5
		35	2,00	6012	993412	11447	78,94	2501	399,78
2,50			6011	993333	11557	75,02	2492	401,08	
2,80			5949	993357	11704	75,83	2407	415,38	
3,00			5951	993381	11737	77,71	2447	408,49	
3,20			5942	993305	11914	78,41	2407	415,1	
50		2,00	6081	993346	10807	74,4	2555	391,34	
		2,50	6018	993418	10958	76,91	2511	397,94	
		2,80	5960	993449	10664	78,21	2451	407,98	
		3,00	5973	993418	10726	78,02	2467	405,17	
		3,20	5996	993400	10502	76,54	2479	403,17	

**EK 7 - Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği - 2. Senaryo'ya İlişkin Simülasyon Sonuçları ( $\delta_{0,i}\sigma_{\delta_0} \sim N(0, 0, 25)$ ,  $\delta_{1,j}\sigma_{\delta_1} \sim N(0, 1, 5)$ )**

	Revizyon Limiti	Pencere Boyutu	Kesme Limiti	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Spesifikasyon Limitleri İçinde Kalan Gözlem Sayısı	Revizyon Sinyali Sayısı	Kontrol Dışı Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL1)	Yanlış Sinyal Sayısı	Kontrol Altındaki Durumda Süreç için ARL Değeri (ARL0)
<b>Süreç İzleme Kontrol Grafiği</b>				<b>6357</b>	<b>993643</b>	<b>-</b>	<b>73</b>	<b>2776</b>	<b>360,23</b>
<b>Revizyon Değerlendirme Kontrol Grafiği</b>	<b>1,80</b>	<b>25</b>	<b>2,00</b>	4245	995041	18537	13,76	2845	351,45
			<b>2,50</b>	4183	995181	18617	14,17	2823	353,96
			<b>2,80</b>	4174	995048	18510	13,15	2824	354,1
			<b>3,00</b>	4219	995132	18677	13,66	2892	345,73
			<b>3,20</b>	4032	995243	18651	12,98	2698	370,63
		<b>35</b>	<b>2,00</b>	4344	995039	15716	15,54	2810	355,85
			<b>2,50</b>	4266	994990	15997	15,74	2835	352,58
			<b>2,80</b>	4342	994996	15739	15,29	2902	344,39
			<b>3,00</b>	4333	994974	15656	15,39	2871	348,27
		<b>50</b>	<b>3,20</b>	4245	995087	15684	16,20	2792	357,89
			<b>2,00</b>	4501	994903	13364	18,98	2810	355,86
			<b>2,50</b>	4425	994943	13565	18,77	2792	358,01
			<b>2,80</b>	4608	994824	13513	18,92	2905	344,15
			<b>3,00</b>	4485	994821	13551	19,26	2885	346,52
		<b>2,00</b>	<b>25</b>	<b>3,20</b>	4455	994778	13550	19,16	2874
	<b>2,00</b>			4368	995011	15155	15,82	2871	348,2
	<b>2,50</b>			4278	995112	15023	16,08	2844	351,36
	<b>2,80</b>			4245	995069	14991	15,81	2838	352,35
	<b>3,00</b>			4252	995056	14910	16,30	2799	357,08
	<b>35</b>		<b>3,20</b>	4224	995071	14946	15,46	2783	359,09
			<b>2,00</b>	4500	994989	13279	17,65	2886	346,34
			<b>2,50</b>	4376	994944	13323	17,89	2837	352,44
			<b>2,80</b>	4446	994972	13140	17,44	2869	348,42
	<b>50</b>		<b>3,00</b>	4376	994885	13215	18,96	2789	358,38
			<b>3,20</b>	4370	994909	13054	18,19	2826	353,85
			<b>2,00</b>	4705	994788	11557	21,51	2970	336,41
			<b>2,50</b>	4611	994906	11552	19,92	2877	347,57
			<b>2,80</b>	4591	994864	11496	20,14	2876	347,68
	<b>3,00</b>		<b>25</b>	<b>3,00</b>	4553	994802	11676	20,59	2858
		<b>3,20</b>		4600	994794	11623	20,87	2914	342,97
		<b>2,00</b>		4864	994730	6590	30,88	2949	339,06
		<b>2,50</b>		4746	994814	6665	33,69	2897	344,92
		<b>2,80</b>		4767	994793	6544	32,20	2860	349,63
		<b>35</b>	<b>3,00</b>	4726	994791	6608	31,39	2824	353,95
			<b>3,20</b>	4790	994785	6532	31,45	2866	348,83
			<b>2,00</b>	4986	994588	6516	33,51	3004	332,79
<b>2,50</b>			4984	994603	6548	33,38	3029	330,02	
<b>50</b>		<b>2,80</b>	4988	994634	6526	30,78	2999	333,4	
		<b>3,00</b>	4890	994753	6534	31,86	2913	343,03	
		<b>3,20</b>	4890	994597	6497	32,21	2907	343,99	
		<b>2,00</b>	5164	994523	6301	33,87	3053	327,5	
		<b>2,50</b>	5081	994632	6378	31,85	2961	337,55	
<b>50</b>		<b>2,80</b>	5105	994557	6458	32,31	2979	335,62	
	<b>3,00</b>	5013	994591	6466	32,81	2941	339,87		
	<b>3,20</b>	5023	994542	6503	31,68	2968	336,73		



## EK 8 - ARL Değerleri

	$\delta = 0$	$\delta = 1$	$\delta = 2$	$\delta = 3$
1	350,02	41,9948	6,4617	2,0155
2	385,95	42,9487	6,4657	2,0172
3	372,78	41,8352	6,4812	2,016
4	351,77	44,1653	6,4465	2,0162
5	370,33	43,4969	6,4659	2,0152
6	380,37	42,2625	6,4708	2,0144
7	371,49	42,1908	6,4735	2,0163
8	360,15	43,0802	6,4926	2,0135
9	351,26	42,4856	6,4674	2,0201
10	360,09	42,1257	6,478	2,0185
11	372,30	42,474	6,4858	2,0176
12	382,81	42,4295	6,473	2,0195
13	378,96	42,5467	6,4799	2,0128
14	388,92	43,3505	6,4605	2,014
15	386,75	42,675	6,4657	2,013
16	371,35	42,8897	6,4983	2,0193
17	386,44	43,5095	6,4687	2,0139
18	362,33	44,571	6,4599	2,0162
19	353,73	42,9937	6,4636	2,0131
20	377,75	42,6416	6,4399	2,0155
21	373,22	43,7148	6,4903	2,0135
22	372,86	41,6007	6,4425	2,0195
23	347,82	42,63	6,453	2,0122
24	351,47	42,845	6,4742	2,0167
25	367,23	43,5358	6,46	2,0107
26	366,77	42,6822	6,437	2,0185
27	378,11	42,4901	6,4774	2,0157
28	372,90	42,944	6,4721	2,0174
29	376,06	42,5464	6,4832	2,0127
30	362,11	44,095	6,4604	2,0152
<b>Ortalama</b>	<b>369,47</b>	<b>42,86</b>	<b>6,46</b>	<b>2,01</b>