

**TIBBİ LABORATUVARLARDA HASTA-BAZLI GERÇEK-
ZAMANLI KALİTE KONTROL (PBRTQC)**

**PATIENT-BASED REAL-TIME QUALITY CONTROL
(PBRTQC) IN MEDICAL LABORATORIES**

UĞUR MURAT

PROF. DR. MURAT CANER TESTİK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2024

ÖZET

TIBBİ LABORATUVARLARDA HASTA-BAZLI GERÇEK-ZAMANLI KALİTE KONTROL (PBRTQC)

Uğur MURAT

Doktora, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK

Temmuz 2024, 144 sayfa

Tıbbi laboratuvarlarda kalite kontrol, İç Kalite Kontrol ve Dış Kalite Kontrol olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İç Kalite Kontrol metotları kapsamında; kontrol numunelerinin periyodik olarak ölçümü ile yapılan ve yaygın olarak kullanılan “geleneksel kalite kontrol” yaklaşımı ile, performans ve maliyet yönünden daha avantajlı olmasına rağmen sınırlı uygulamaları olan “hasta bazlı kalite kontrol” yaklaşımı kullanılmaktadır. Hasta bazlı kalite kontrol için ilk olarak Normallerin Ortalaması yöntemi kullanılmış olup, yapılan sonraki çalışmalarda Hareketli Ortalama yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda farklı istatistiklerin kullanıldığı çeşitli yöntemler de önerilerek bu yaklaşım günümüzde Hasta-Bazlı Gerçek-Zamanlı Kalite Kontrol (PBRTQC) olarak literatürde adlandırılmıştır.

Tez çalışmasında, PBRTQC yöntemlerinden Hareketli Ortalama (MA), Hareketli Medyan (MM) ve Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) kontrol grafikleri kullanılarak farklı parametreler için performansları değerlendirilmiş ve en iyi sonuçları veren yöntem ve parametrelerin önerilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Analitlerin birbirinden farklı dağılım göstermesi, her bir analit için ayrı yöntem ve parametrelerin belirlenmesi ihtiyacı ve bu kapsamda PBRTQC yöntemlerinin tasarımında yaşanan zorluklar nedeniyle birçok avantajı olmasına rağmen PBRTQC tıbbi laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bu kapsamda, farklı analitler için genel bir tasarımın belirlenmesi amacıyla Standart Normal dağılım varsayımı ile tasarlanmış MA ve MM kontrol grafiklerinin normallik varsayımına duyarlılıkları; blok boyutu, kesme limiti

kullanılması/kullanılmaması durumu, kullanılıyor ise bunun genişliği gibi parametreler birbirinden çok farklı dağılımlardan üretilen gözlemler kullanılarak ölçülmüştür. Kesme limitlerinin kullanılmadığı ve özellikle blok boyutunun 20 gözlem olduğu durumda MA kontrol grafiğinin gürbüz olduğu sonucuna varılmıştır. MM kontrol grafiklerinin bu çalışmalar için etkin olmadığı ve kullanılmamasının daha iyi olacağı değerlendirilmiştir. Gerçek hasta verileri kullanılarak elde edilen ampirik dağılımlarla yapılan testlerle bulgular doğrulanmıştır. Analitlerin dağılımlarının çarpıklık ve basıklık katsayıları gibi tanımlayıcı istatistikleri kullanılarak MA kontrol grafiği Ortalama Çalışma Uzunluğu (*ARL*) performanslarının tasarımcılar tarafından tahmin edilmesine yönelik bir regresyon modeli oluşturulmuştur.

Bunların yanı sıra, üretim ve hizmet sektörlerinde kalite kontrol çalışmalarında kullanılan sıfır-durumu ve kararlı-durum performansları, farklı parametrelere sahip MA ve EWMA kontrol grafikleri için hesaplanmış ve bu kapsamda süreçteki sapmayı en kısa sürede tespit edebilecek yöntem ve parametreler araştırılmıştır. Gerçek hayatta karşılaşılabilecek durumlardan bir tanesi olan, sıfır-durumu için tasarlanmış bir kontrol grafiğinin kararlı-durum şartlarındaki performans değişimi de incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarla tıbbi laboratuvarlardaki uygulayıcılara yönelik kontrol grafiği yöntem ve tasarım önerilerinde bulunulmuş ve bu kapsamda PBRTQC yöntemlerinin tasarımının kolaylaştırılması ile uygulamaların yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Tıbbi laboratuvarlarda PBRTQC kurulması ve uygulanmasına yönelik olarak önerilen çalışma adımları maddeler halinde verilmiş ve gelecek çalışmalara ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi Laboratuvarlarda Kalite Kontrol, Hasta-Bazlı Gerçek-Zamanlı Kalite Kontrol (PBRTQC), Hareketli Ortalama (MA), Hareketli Medyan (MM), Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA), Ortalama Çalışma Uzunluğu (ARL), Gürbüzlük.

ABSTRACT

PATIENT-BASED REAL-TIME QUALITY CONTROL (PBRTQC) IN MEDICAL LABORATORIES

Uğur MURAT

Doctor of Philosophy, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK

July 2024, 144 pages

Quality control in medical laboratories is divided into two categories: Internal Quality Control and External Quality Control. Within the scope of Internal Quality Control methods; "traditional quality control" approach, which is widely used and performed by periodically measuring control samples, and "patient-based quality control" approach, which has more advantages in terms of performance and cost, although its applications are limited, are used. For patient-based quality control, the Average of Normals method was first used, and then Moving Average method started to be used in later studies. In recent years, various methods using different statistics have also been proposed, and this approach is now referred to in the literature as Patient-Based Real-Time Quality Control (PBRTQC).

In the thesis study, the performances of Moving Average (MA), Moving Median (MM) and Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) control charts as PBRTQC methods were evaluated using different parameters, and studies were conducted to recommend the method and parameters that give the best results. Due to the fact that analytes show different distributions, the need to determine separate methods and parameters for each analyte, and the difficulties experienced in the design of the PBRTQC methods in this context, PBRTQC is not widely used in medical laboratories despite its many advantages. In this context, the sensitivities of MA and MM control charts, designed with the assumption of a Standard Normal distribution, to the normality assumption were measured using observations generated from very different distributions and for parameters such as block size, truncation limit usage/non-usage and its width, in order to determine a general design for different

analytes. It was concluded that the MA control chart is robust when truncation limits are not used and especially when the block size is 20 observations. It was found that MM control charts are not effective for these studies and it would be better not to use them. The results obtained with the tests performed with empirical distributions of real patient data confirmed our conclusions. A regression model was also created using descriptive statistics such as skewness and kurtosis of the distributions of the analytes to allow designers to estimate the Average Run Length (*ARL*) performances of the MA control chart.

Furthermore, the zero-state and steady-state performances used in quality control studies for production and service sectors were calculated for MA and EWMA control charts with truncation limits and different parameters. In this context, methods and parameters that can detect the shift in the process as soon as possible were investigated. The change in the steady-state performance of a control chart designed under zero-state conditions, which is one of the situations that can be encountered in real life, was also examined.

These studies provided control chart method and design recommendations for practitioners in medical laboratories and in this context aimed to facilitate the design of PBRTQC methods as well as expanding their implementations. Work steps for the setting and implementation of PBRTQC methods in medical laboratories and further future studies were recommended.

Keywords: Quality Control in Medical Laboratories, Patient-Based Real-Time Quality Control (PBRTQC), Moving Average (MA), Moving Median (MM), Exponentially Weighted Moving Average (EWMA), Average Run Length (ARL), Robustness.

TEŞEKKÜR

Tezimde büyük katkıları olan, kendisinden çok şey öğrenme şansına sahip olduğum ve sadece akademik alanda değil tüm konulardaki danışmanım saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Murat Caner TESTİK'e,

Tez İzleme Komitesindeki yönlendirmeleri ile tezime değer katan saygıdeğer hocalarım Sayın Doç. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR ve Sayın Doç. Dr. Barbaros YET'e,

Laboratuvar kalite kontrol uygulamaları ve hasta sonuç verilerinin teminine yönelik destekleri için saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Aslı PINAR'a,

Lisansüstü eğitimimde emeği geçen Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ve İstatistik Bölümlerindeki tüm hocalarıma,

Görev yaptığım Savunma Sanayii Başkanlığı'nda destekleri ile yanımda olan başta Sayın Peyman ZEREN olmak üzere tüm yöneticilerime ve değerli çalışma arkadaşlarıma,

Bendeki hak ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, maddi manevi her zaman yanımda olan tüm aileme,

Doktora eğitimim boyunca destekleri ve en önemlisi ders çalışırken birlikte geçiremediğimiz zamanların anlayışı için kıymetli eşim Berna'ya ve canım kızım Nehir'e

Sonsuz teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	ix
ŞEKİLLER	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Hasta Bazlı Kalite Kontrol Yöntemleri.....	8
2.1.1. Normallerin Ortalaması (Average of Normals - AoN).....	8
2.1.2. Hareketli Pencereleler (Moving Windows - MW).....	8
2.1.2.1. Hareketli Ortalama (Moving Average - MA)	9
2.1.2.2. Hareketli Medyan (Moving Median - MM).....	9
2.1.2.3. Hareketli Standart Sapma (Moving Standard Deviation - MovSD)	9
2.1.2.4. İşaretli Hasta Sayısı Sonuçlarının Hareketli Toplamı (Moving Sum of the Number of Flagged Patients Results - MovSO = MovSum).....	9
2.1.3. Referans Aralığı Aykırı Değerlerinin Yüzdesi (Percentage of Reference Interval Outliers)	9
2.1.4. Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (Exponentially Weighted Moving Average - EWMA).....	10
2.2. Hasta Bazlı Kalite Kontrol Performans Değerlendirme Yöntemleri	10
3. YÖNTEMLER	14
3.1. Hasta Bazlı Kalite Kontrol Uygulaması	14
3.2. PBRTQC Yöntemleri.....	16
3.2.1. MA Kontrol Grafiği.....	16
3.2.2. MM Kontrol Grafiği	18
3.2.3. EWMA Kontrol Grafiği	19
3.3. Kontrol Grafiği Tasarım Parametreleri.....	21
3.3.1. Kesme Limitleri.....	21
3.3.2. Blok Boyutu.....	22
3.3.3. Ağırlıklandırma Parametresi	22
3.4. Performans Hesaplama Yöntemleri	22

3.4.1.	Simülasyon Yöntemi	22
3.4.2.	Performans Metrikleri	23
3.4.3.	Yöntemlerin Doğrulanması	24
3.5.	Performansa İlişkin Kullanılan Metrikler	31
3.5.1.	ARL	31
3.5.2.	MRL	31
3.5.3.	SDRL	31
4.	GÜRBÜZLÜK ÇALIŞMALARI	32
4.1.	Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler	32
4.2.	Yöntemler	35
4.2.1.	Çalışılan Dağılımlar	35
4.2.2.	PBRTQC Parametreleri ve Kontrol Grafiği Tasarımı	39
4.2.3.	Performans Değerlendirme Yöntemleri	40
4.3.	Simülasyon Sonuçları	41
4.3.1.	MA Kontrol Grafiği Sonuçları	41
4.3.2.	MM Kontrol Grafiği Sonuçları	62
4.3.3.	Sonuçların Karşılaştırılması	83
5.	SIFIR-DURUMU VE KARARLI-DURUM ÇALIŞMALARI	85
5.1.	Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler	85
5.2.	Yöntemler	85
5.3.	Simülasyon Sonuçları	88
5.3.1.	MA Kontrol Grafiği Sonuçları	88
5.3.2.	EWMA Kontrol Grafiği Sonuçları	96
5.3.3.	Sonuçların Karşılaştırılması	103
6.	GERÇEK HASTA VERİLERİ İLE ÇALIŞMALAR	106
6.1.	Gerçek Hasta Verisi ile Kontrol Grafiği Uygulaması	106
6.1.1.	Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler	106
6.1.2.	Yöntemler	109
6.1.3.	Çalışma Sonuçları	110
6.2.	Regresyon Analizi Uygulaması	120
6.2.1.	Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler	120
6.2.2.	Yöntemler	120
6.2.3.	Çalışma Sonuçları	124
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	126
8.	KAYNAKLAR	134

EKLER	141
EK 1 - Tezden Türetilmiş Yayınlar	141
EK 2 - Etik Kurul İzin Belgesi.....	142
EK 3 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu.....	144

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. İç Kalite Kontrol Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	7
Çizelge 2.2. Performans Değerlendirme Yöntemleri	11
Çizelge 3.1. Yöntemlerin Doğrulanmasına İlişkin ARL Sonuçlarının Karşılaştırması	29
Çizelge 4.1. Gürbüzlük Çalışmasında Kullanılan Dağılımların Özellikleri.....	36
Çizelge 4.2. MA Kontrol Grafiğinin Parametre Değerleri ($ARL_0 = 370$).....	40
Çizelge 4.3. MM Kontrol Grafiğinin Parametre Değerleri ($ARL_0 = 370$)	40
Çizelge 4.4. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$).....	42
Çizelge 4.5. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$).....	43
Çizelge 4.6. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$).....	44
Çizelge 4.7. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri (TL 'siz).....	45
Çizelge 4.8. Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda MA Kontrol Grafiğinin MSE, MAE ve ME Değerleri	46
Çizelge 4.9. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	48
Çizelge 4.10. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	49
Çizelge 4.11. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	50
Çizelge 4.12. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri (TL 'siz)	51
Çizelge 4.13. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	52
Çizelge 4.14. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	53
Çizelge 4.15. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	54

Çizelge 4.16. MA Kontrol Grafiği - Süreçte 2σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	55
Çizelge 4.17. MA Kontrol Grafiği - Süreçte 3σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	56
Çizelge 4.18. MA Kontrol Grafiği - Süreçte 3σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	57
Çizelge 4.19. MA Kontrol Grafiği - Süreçte 3σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	58
Çizelge 4.20. MA Kontrol Grafiği - Süreçte 3σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	59
Çizelge 4.21. Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumda MA Kontrol Grafiğinin MSE, MAE ve ME Değerleri	61
Çizelge 4.22. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	63
Çizelge 4.23. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	64
Çizelge 4.24. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	65
Çizelge 4.25. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	66
Çizelge 4.26. Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda MM Kontrol Grafiğinin MSE, MAE ve ME Değerleri	67
Çizelge 4.27. MM Kontrol Grafiği - Süreçte 1σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	69
Çizelge 4.28. MM Kontrol Grafiği - Süreçte 1σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	70
Çizelge 4.29. MM Kontrol Grafiği - Süreçte 1σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	71
Çizelge 4.30. MM Kontrol Grafiği - Süreçte 1σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	72
Çizelge 4.31. MM Kontrol Grafiği - Süreçte 2σ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	73

Çizelge 4.32. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	74
Çizelge 4.33. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	75
Çizelge 4.34. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri (TL 'siz)	76
Çizelge 4.35. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 2$)	77
Çizelge 4.36. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 3$)	78
Çizelge 4.37. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($Lt = 4$)	79
Çizelge 4.38. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri (TL 'siz)	80
Çizelge 4.39. Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumda MM Kontrol Grafiğinin MSE, MAE ve ME Değerleri	82
Çizelge 4.40. MA ve MM Kontrol Grafikleri ARL_0 Sonuçlarının Karşılaştırması (TL 'siz)	84
Çizelge 5.1. MA Kontrol Grafiğinin Değişken Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL (MA ZS-vary_CL) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$).....	86
Çizelge 5.2. MA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL (MA ZS-cons_CL) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)	87
Çizelge 5.3. MA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Kararlı-Durum ARL (MA SS-cons_CL) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)	87
Çizelge 5.4. EWMA Kontrol Grafiğinin Değişken Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL (EWMA ZS-vary_CL) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)	87
Çizelge 5.5. EWMA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL (EWMA ZS-cons_CL) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)	87
Çizelge 5.6. EWMA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Kararlı-Durum ARL (EWMA SS-cons_CL) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)	88
Çizelge 5.7. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri.....	89
Çizelge 5.8. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $0,5\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	90

Çizelge 5.9. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	91
Çizelge 5.10. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	92
Çizelge 5.11. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	93
Çizelge 5.12. MA Kontrol Grafiği - “MA SS-cons_CL-ZS_par” ARL Sonuçlarının “MA ZS-vary_CL” Sonuçlarından Yüzde Olarak Farkları	95
Çizelge 5.13. EWMA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	97
Çizelge 5.14. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $0,5\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	98
Çizelge 5.15. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	99
Çizelge 5.16. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	100
Çizelge 5.17. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri	101
Çizelge 5.18. EWMA Kontrol Grafiği - “EWMA SS-cons_CL-ZS_par” ARL Sonuçlarının “EWMA ZS-cons_CL” Sonuçlarından Yüzde Olarak Farkları	102
Çizelge 6.1. Analitlerin Tanımlayıcı İstatistikleri	107
Çizelge 6.2. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$).....	111
Çizelge 6.3. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	112
Çizelge 6.4. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	113
Çizelge 6.5. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda ARL, SDRL ve MRL Değerleri ($TL'siz$)	114
Çizelge 6.6. Uygulamada Kullanılan MA Kontrol Grafiğinin MSE, MAE ve ME Değerleri (TL Kullanılmadığı Durumda – 20 Analit)	117
Çizelge 6.7. ALT ve AST Uygulama Sonuçlarının ARL ve MSE Değerleri.....	118

Çizelge 6.8. Uygulamada Kullanılan MA Kontrol Grafiğinin MSE, MAE ve ME Değerleri (<i>TL</i> Kullanılmadığı Durumda – 18 Analit).....	119
Çizelge 6.9. Regresyon Analizi Sonuçları.....	124
Çizelge 6.10. Regresyon Analizi Sonucundaki Tahmin Değerleri ve Bu Değerlerin Mevcut Değerlerden Farkları.....	125
Çizelge 7.1. MA Kontrol Grafiğinin Tasarım Parametreleri (<i>TL</i> 'siz).....	128

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Doğruluk ve Hassasiyet Kavramlarının Gösterimi (Montgomery, 2013).....	4
Şekil 3.1. Kontrol Grafiği Örneği.....	16
Şekil 3.2. MA Kontrol Grafiği Örneği	18
Şekil 3.3. EWMA Kontrol Grafiği Örneği	20
Şekil 3.4. Markov Zinciri Yöntemi Bölünen Aralıkların Gösterimi (Murat, 2019).....	26
Şekil 4.1. Hasta Test Sonuçlarının Dağılım Grafikleri.....	34
Şekil 4.2. Çalışmada Kullanılan Dağılımların Yoğunluk Grafikleri ile Karşılık Gelen Normal Dağılımın Grafiklerinin Karşılaştırması.....	38
Şekil 5.1. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(0.5)$ Sonuçları.....	103
Şekil 5.2. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(1)$ Sonuçları.....	103
Şekil 5.3. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(2)$ Sonuçları.....	104
Şekil 5.4. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(3)$ Sonuçları.....	104
Şekil 6.1. Verilerin Analit Bazında CV Değerleri	108
Şekil 6.2. Verilerin Analit Bazında Çarpıklık Katsayıları (Moment).....	108
Şekil 6.3. Verilerin Analit Bazında Basıklık Katsayıları	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L	Kontrol limiti genişliğine yönelik parametre
L_t	Kesme limiti genişliğine yönelik parametre
n	Blok boyutu
λ	EWMA kontrol grafiğinin ağırlıklandırma parametresi
μ	Süreç ortalama değeri
σ	Standart sapma

Kısaltmalar

ALP	Alkalin Fosfataz (Alkaline Phosphatase)
ALT	Alanin Aminotransferaz (Alanine Transaminase)
ANPed	Süreçteki sapmadan etkilenen hasta sonucunun ortalaması
AoN	Normallerin Ortalaması (Average of Normals)
ARL	Ortalama Çalışma (Tespit) Uzunluğu (Average Run Length)
ARL ₀	Sürecin kontrol altında olduğu, herhangi bir sapma olmadığı durumdaki ARL değeri
ARL ₁	Sürecin kontrol dışında olduğu, süreçte sapma olduğu durumdaki ARL değeri
AST	Aspartat Aminotransferaz (Aspartate Aminotransferase)
BUN	Üre Azotu (Blood Urea Nitrogen)
CUSUM	Kümülatif Toplam (Cumulative Sum)
CV	Değişkenlik Katsayısı (Coefficient of Variation)
EWMA	Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (Exponentially Weighted Moving Average)
GGT	Gama Glutamil Transferaz (gamma glutamyl transferase)
HDL-C	Yüksek Yoğunluklu Lipoprotein Kolesterol (High Density Lipoprotein Cholesterol)
LCL	Alt Kontrol Limiti (Lower Control Limit)
LDL-C	Düşük Yoğunluklu Lipoprotein Kolesterol (Low Density Lipoprotein Cholesterol)
LTL	Alt Kesme Limiti (Lower Truncation Limit)

MA	Hareketli Ortalama (Moving Average)
MAE	Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
ME	Ortalama Hata (Mean Error)
MM	Hareketli Medyan (Moving Median)
MNPed	Süreçteki sapmadan etkilenen hasta sonucunun medyanı
MS _E	Hataların kareler ortalaması
MS _R	Regresyonun kareler ortalaması
MSE	Ortalama Hata Karesi (Mean Square Error)
MW	Hareketli Pencere (Moving Windows)
PBRTQC	Hasta-Bazlı Gerçek-Zamanlı Kalite Kontrol (Patient-Based Real-Time Quality Control)
RL	Çalışma Uzunluğu (Run Length)
SS _E	Hata kareler toplamı
SS _R	Regresyon kareler toplamı
SS _T	Regresyon kareler toplamı
TL	Kesme Limiti (Truncation Limit)
UCL	Üst Kontrol Limiti (Upper Control Limit)
UTL	Üst Kesme Limiti (Upper Truncation Limit)

1. GİRİŞ

Tıbbi laboratuvarların en önemli amacı yapılan test ve analiz faaliyetlerinin yüksek doğruluk oranı ile zamanında gerçekleştirilmesi ve bu kapsamda tanı ve tedavi karar ve süreçlerinin doğru yönlendirilebilmesidir. Bu amacın gerçekleştirilmesi için de tıbbi laboratuvarlardaki süreçlerin kontrol altında olması ve laboratuvarlarda elde edilen test sonuçlarının doğruluğunun ve tekrarlanabilirliğinin güvence altına alınması gerekmektedir. Bunu sağlamak adına laboratuvarlarda kalite kontrol faaliyetleri uygulanmaktadır.

Tıbbi laboratuvarın test süreçlerindeki kalite kontrol faaliyetleri genellikle, testin analitik öncesi (pre-analitik), analitik ve analitik sonrası aşamalarında gerçekleştirilmektedir. Pre-analitik aşamadaki kalite kontrol faaliyetleri; numune toplama, taşıma, işleme ve depolama gibi test öncesi numune hazırlık süreçlerini ve buradaki hata kaynaklarının (örneğin yetersiz numune kalitesi veya miktarı, eksik test istemi girişleri, yanlış hasta tanımlama) tespitini içerir. Analitik aşamada, testler gerçekleştirilir ve sonuçlar yayımlanmadan önce yorumlanır ve doğrulanır. Bu aşamada, test süreci hatalara karşı kontrol edilir ve test sonuçlarının doğruluğu sağlanmaya çalışılır. Analitik sonrası aşama ise nihai sonuçların raporlanması safhasıdır. Bu aşamada sonuçların yanlış raporlanması gibi hatalar olabilmekle birlikte bu da yanlış kararların verilmesine yol açabilmektedir.

Analitik aşamada, yani test süreçlerinde yapılan kalite kontrol, İç Kalite Kontrol ve Dış Kalite Kontrol olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dış Kalite Kontrol faaliyeti, belirli referans örneklerin sonuçlarının dış laboratuvarlar ile karşılaştırılmasıdır. Bu kalite faaliyetinde, test sonuçları bilinmeyen bağımsız bir laboratuvardan alınan numuneler test edilir ve sonuçlar olması beklenen test sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilir. İç Kalite Kontrol ise laboratuvarın test süreçlerinin kontrol edildiği diğer bir uygulama olup daha sık gerçekleştirilmektedir. Laboratuvarlar İç Kalite Kontrol faaliyetlerini, ilgili kontrol numunelerinin periyodik ölçümleri/testleri vasıtasıyla ve/veya hasta verisinin belirli bir sistematik çerçevesinde takip edilmesiyle gerçekleştirmektedirler. Kontrol numuneleri ile yapılan İç Kalite Kontrol faaliyeti (geleneksel kalite kontrol) yaygın olarak kullanılmakta iken hasta verisine dayanan hasta bazlı kalite kontrol faaliyeti sınırlı sayıda kullanılmaktadır.

Hasta bazlı kalite kontrol faaliyetinin geçmişinin 1960'lı yıllara kadar uzanmasına ve oldukça fazla olan avantajlarına rağmen uygulamadaki bazı sorunlar nedeniyle hasta bazlı kalite kontrol yöntemleri uygulamada yeterince kabul görmemiştir. Hasta bazlı kalite kontrol faaliyetlerinin genel ismi günümüzde Hasta-Bazlı Gerçek-Zamanlı Kalite Kontrol (PBRTQC) olarak literatürde yer almıştır.

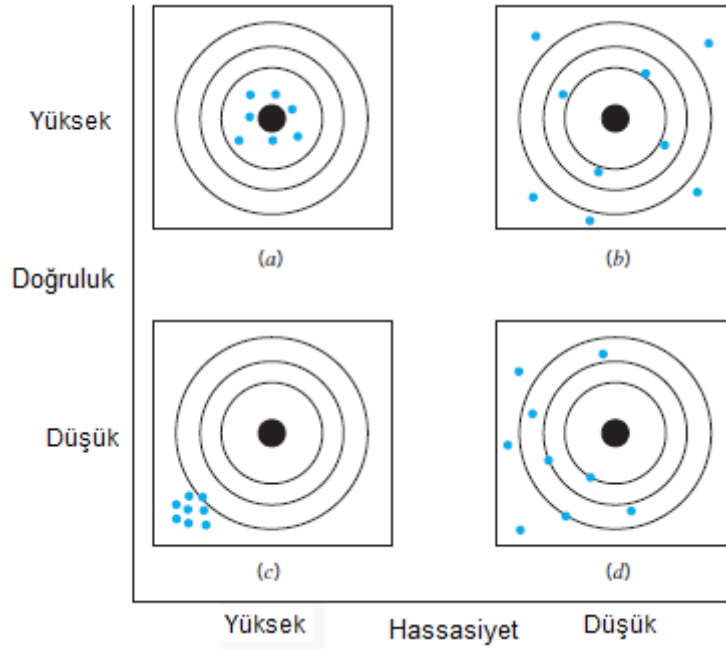
PBRTQC yöntemlerinin yaygın olmamasının başlıca sebeplerinden bir tanesi ilk kurulumunun zor olmasıdır. Kurulum aşamasında öncelikle hangi test için hangi PBRTQC yönteminin kullanılacağına ve seçilen yöntemin parametrelerine karar verilmesi gerekmektedir. Bu aşamada izlenecek analitin (Sodyum, Glukoz, Trigliserid vb.) veri yapısına uygun olarak yöntem ve parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Her analit için farklı yöntem ve parametrelerin kullanılması durumunun ise hem kurulum aşamasının daha zor olmasına hem de uygulamada daha fazla işgücü gereksinimine ve işletimsel hataların artmasına yol açabileceği değerlendirilmektedir. Bu durum da uygulamanın laboratuvar çalışanları tarafından benimsenmemesine ve yaygınlaşmasının sağlanmamasına neden olabilecektir. Tez çalışmasında farklı PBRTQC yöntemleri kullanılarak daha iyi performans gösterenlerin ve bunların parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte farklı dağılımlara sahip analitlerin Standart Normal dağılımla tasarlanan kontrol grafikleri vasıtasıyla takip edilebilmesine yönelik olarak gürbüz yöntemler araştırılmıştır. Laboratuvar çalışanlarının analitlere ilişkin dağılım ve parametre belirleme gibi ileri istatistik bilgi gerektiren çalışmalar yapmadan uygun yöntem ve parametrelerin seçilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur. Buradaki amaç pek çok avantajı bulunan PBRTQC yönteminin kullanımının kolaylaştırılarak istatistik bilgisi sınırlı personel tarafından dahi uygulamanın gerçekleştirilmesi ve yaygınlaşmasının sağlanmasıdır.

Tezin devamı şu şekilde organize edilmiştir: 2. Bölümde literatür özetine yer verilmiş, bu kapsamda geleneksel kalite kontrol ile PBRTQC yöntemleri karşılaştırılmış, kullanılan PBRTQC yöntemlerine ve bu yöntemlerin performans değerlendirme yöntemlerine ilişkin genel bilgiler verilmiştir. 3. Bölümde PBRTQC uygulaması ve tez çalışmasında kullanılan PBRTQC yöntemleri, kontrol grafiği tasarım parametreleri, performans hesaplama yöntemleri ve kullanılan metriklere ilişkin detaylı bilgi verilmiştir. 4. Bölümde Hareketli Ortalama (MA) ve Hareketli Medyan (MM) kontrol grafiklerinin gürbüzlükleri araştırılmış ve bu kapsamda uygulamada kullanılabilecek tasarım önerilerinde bulunulmuştur. 5. Bölümde MA ve Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) kontrol grafiklerinin farklı

parametreler altında sıfır-durumu ve kararlı-durum performansları incelenmiş ve iki yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. 6. Bölümde, 4. Bölümde yapılan gürbüzlük çalışması sonucunun doğrulanması amacıyla gerçek hasta verileri kullanılarak uygulama ve regresyon analizi çalışmaları yapılmış ve bu kapsamda tıbbi laboratuvar uygulamalarına ilişkin önerilere yer verilmiştir. Son olarak, 7. Bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar özetlenmiş, gerçek hayat uygulamalarına ve gelecek çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Süreçlerdeki değişkenlikler genellikle, rastgele sebepler ve saptanabilir sebepler olmak üzere iki türlü durumdan kaynaklanmaktadır. Rastgele sebepler kaynaklı değişkenlik genellikle süreçteki doğal değişkenlik olarak adlandırılıp, birçok küçük ve önlenemeyen değişkenlik kaynağının birleşiminin etkisidir. Bu değişkenlik sürecin hassasiyetini (precision) belirlemekte olup, bunun boyutu sürecin yayılımı ile ölçülmektedir. Hassasiyetin düşük olması durumunda sürece ilişkin ölçüm değerlerinin yayılımı geniş, değişkenliği fazladır. Saptanabilir değişkenlikler ise süreçte sebebi tespit edilebilen ve düzeltilmesi gereken değişkenlik kaynakları olup, sürecin kontrol dışında olma durumunu göstermektedir. Saptanabilir değişkenlik kaynakları sürecin doğruluğunu (accuracy) ve dolayısıyla sürecin hedef değeri tutturma kabiliyetini etkilemektedir. Doğruluk ve hassasiyet kavramlarına ilişkin gösterim Şekil 2.1’de verilmiştir (Montgomery, 2013). Burada, ölçümün; (a) doğru ve hassas olması, (b) doğru ancak hassas olmaması, (c) hassas ancak doğru olmaması, (d) ise hem doğru ve hem de hassas olmaması durumlarını göstermektedir.



Şekil 2.1. Doğruluk ve Hassasiyet Kavramlarının Gösterimi (Montgomery, 2013)

Tıbbi laboratuvarın test süreçlerindeki saptanabilir değişkenlikler genellikle sistematik hatalardan kaynaklanmakta olup, analitik aşamadaki sistematik hataların ana nedenleri cihaz (örneğin güç dalgalanmaları, cihaz bileşenlerinde hatalar, problarda tıkanma, ışık

kaynağındaki hatalar, sıcaklık hataları), yöntem (örneğin numune pipetleme, reaksiyon zamanlaması, kimyasal reaksiyon koşullarını etkileyen değişiklikler) ve personel olabilmektedir.

Laboratuvar test süreçlerindeki sistematik hataların tespit edilmesi amacıyla İç Kalite Kontrol yöntemlerinden geleneksel kalite kontrol yöntemi tıbbi laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel kalite kontrol yöntemi, hasta numuneleri çalışılmadan önce belirli kalite kontrol numunelerinin test edilmesi faaliyetidir. Uygulamada genellikle, test sonuçlarını grafiksel olarak takip etmek için Shewhart kontrol grafiklerinin bir uyarlaması olan Levey-Jennings (1950) kontrol grafiği kullanılmaktadır. Öncelikle sürecin kararlı olduğu durumda, kalite kontrol numunesinin belirli bir süre ile test edilmesi sonucunda oluşan ölçüm sonuçlarından süreç parametreleri (ortalama ve standart sapma) tahmin edilmekte ve sonrasında periyodik olarak (örneğin her vardiya başında) yapılan test sonuçlarının kontrol grafiğinde izlenmesi sağlanmaktadır. Aynı şekilde, üretim ve hizmet sektöründe kullanılan istatistiksel süreç kontroldeki Western Electric Kurallarına benzer şekilde, Westgard Kuralları (1981) olarak bilinen kurallar da sürecin kontrol altında mı yoksa kontrol dışı mı olduğuna karar vermek için Levey-Jennings kontrol grafikleriyle birlikte kullanılmaktadır. Westgard Kurallarına (1981) göre, aşağıda özetlenen durumlar oluştuğunda;

- **1_{3s}**: Tek bir kontrol ölçümünün *Ortalama* $\pm 3\sigma$ ($\pm 3s$) kontrol limitlerinin dışına çıkması durumunda,
- **2_{2s}**: İki ardışık kontrol ölçümünün ortalamadan aynı yönde $\pm 2\sigma$ kontrol limitlerinin dışına çıkması durumunda,
- **R_{4s}**: İki kontrol ölçümünün farklı yönlerdeki 2σ kontrol limitlerinin dışına çıkması durumunda (Örneğin bir ölçümün *Ortalama* $+ 2\sigma$ kontrol limitinin, diğerinin ise *Ortalama* $- 2\sigma$ kontrol limitinin dışına çıkması),
- **4_{1s}**: 4 ardışık kontrol ölçümünün aynı yöndeki *Ortalama* $+ 1\sigma$ kontrol limitinin veya *Ortalama* $- 1\sigma$ kontrol limitinin dışına çıkması durumunda,
- **10_x**: 10 ardışık kontrol ölçümünün ortalamasının aynı yönünde yer alması durumunda

çalışma reddedilir.

Özetlemek gerekirse geleneksel kalite kontrol yöntemi genellikle aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır;

- Yönetim sistemi dokümanlarının oluşturulması (politikalar, test prosedürleri vb.) ve personel tarafından uygulanması,
- Kalite kontrol numunelerinin seçilmesi ve kontrol aralıklarının belirlenmesi,
- Kontrollerin yapılarak sonuçların izlenmesi,
 - Levey-Jennings grafiklerinin çizilmesi
 - Belirlenmiş olan kurallar (Westgard Kuralları gibi) ve/veya prosedürlerle kontrol dışı durumların belirlenmesi
- Gerekmesi halinde düzeltici faaliyetlerin gerçekleştirilmesi.

Birçok laboratuvar günde sadece iki defa kalite kontrol numunesi ölçmekte olup bu durum regülasyon kuralları gereği genellikle yeterli olmaktadır. Ancak bu iki ölçüm arasındaki herhangi bir zamanda sistematik bir hata meydana gelebilmekte, bu durum da hataların gecikmeli tespitine neden olarak yüzlerce test sonucunu etkileyebilmektedir. Ayrıca bu durumda hasta numunelerinin geriye dönük olarak yeniden analiz edilmesi gerekmekte, bu da hasta sonuçlarının onaylanma sürelerinde gecikmelere yol açmaktadır. Sistematik hataların daha hızlı tespiti için kalite kontrol numunelerinin sıklığı artırılabilir de, bu aynı zamanda değerlendirme için gerekli süreyi ve pahalı kontrol malzemeleri ve reaktiflerin kullanımı nedeniyle maliyeti de artırmaktadır (Ng, Polito ve Cervinski, 2016). Bu nedenle, İç Kalite Kontrol için bireysel hasta sonuçlarına dayalı yöntemler de önerilmiştir.

Hasta bazlı kalite kontrol faaliyeti, hasta test sonuçlarının belirlenen bir yöntem vasıtasıyla takip edilerek test süreçlerindeki olası bir sapmanın tespit edilmesidir. Hasta bazlı kalite kontrol faaliyetinin başlangıcı kabul edilen Normallerin Ortalaması (Average of Normals) metodu 1965 yılında önerilmesine (Hoffmann ve Waid, 1965) rağmen, ilk yıllarda mevcut yönteme göre avantajı olmadığına yönelik eleştiriler ve uygulamadaki bazı sorunlar nedeniyle özellikle klinik laboratuvarlarda çok fazla kullanım imkânına sahip olamamıştır.

Hasta bazlı kalite kontrol ile ilgili çoğu araştırmada, hasta bazlı kalite kontrol ve geleneksel kalite kontrol yöntemlerinin birbirlerine kıyasla avantajları ve dezavantajları ortaya koyulmuştur (Kazmierczak, 2003; Fleming ve Katayev, 2015; Badrick, Cervinski ve Loh, 2019; Badrick ve ark., 2019; Loh ve ark., 2019; Badrick ve ark., 2020; Duan ve ark., 2020;

Badrick, ve Loh, 2023; Loh ve ark., 2023). İki yöntemin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. İç Kalite Kontrol Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

	Geleneksel Kalite Kontrol Yöntemi	Hasta Bazlı Kalite Kontrol Yöntemi
Avantajları	İlk kurulumunun ve işletilmesinin basit olması	Maliyetinin düşük olması
	Kalite kontrol sonuçlarının kolay yorumlanabilmesi	Süreç sapmalarının tespitinde daha hassas olması
		Kontrol numunesi mevcut olmayan testlerde kullanılabilmesi
		Sürekli bir kontrol sağlaması
		Anlık/tekrar etmeyen hataların tespit edilebilmesi
		Analiz öncesi aşamalarda (taşıma, numune hazırlama vb.) hataların tespit edilebilmesi
Dezavantajları	Maliyetinin yüksek olması (Kontrol numunelerinin temini)	İlk kurulumunun daha zor olması
	Süreç sapmalarının geç tespit edilebilmesi ve bu kapsamda yanlış raporlama ihtimali olması	Hasta popülasyonundaki değişikliklerden etkilenmesi
	Kontrol numunelerinin popülasyonu yansıtmama durumunun olabilmesi	Çok çarpık dağılıma sahip verilerde performansının düşebilmesi
	Anlık/tekrar etmeyen hataların tespit edilememesi	Etkili olması için fazla sayıda hasta sonucunun gerekebilmesi
	Hasta numunesi matrisini tam olarak yansıtmaması	

Bununla birlikte, hasta bazlı kalite kontrol uygulaması ile geleneksel kalite kontrol malzemesi kullanımının yaklaşık %75-85 ve tekrar analizlerinin ise yaklaşık %50 azaldığı görülmüştür (Fleming ve Katayev, 2015).

Rosenbaum ve ark. (2018) kimya ve immünokimya testleri için standartlaştırılmış kalite kontrol uygulamalarının mevcut olup olmadığını değerlendirmek amacıyla önde gelen akademik tıp merkezlerindeki 21 klinik laboratuvarın kalite kontrol prosedürlerini araştırmışlar ve hastanelerin büyük çoğunluğunun (%90) hasta bazlı kalite kontrol uygulamasını kullanmadığını ve uygulamanın faydalı, kolay ve ucuz olmasına rağmen kullanılmamasının şaşkıncı olduğunu belirtmişlerdir.

2.1. Hasta Bazlı Kalite Kontrol Yöntemleri

Hasta bazlı kalite kontrolün uygulamasına yönelik çeşitli yöntemler kullanılmakta olup bunlardan yaygın olanlar aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1. Normallerin Ortalaması (Average of Normals - AoN)

Hasta bazlı kalite kontrol uygulamalarının başlangıcı olarak kabul edilen bu yöntem ilk olarak 1965 yılında Hoffmann ve Waid tarafından önerilmiştir. Gün sonunda -normal aralıklarda olduğu değerlendirilen- hasta sonuçlarının ortalamasının alınması ve bu ortalamaların %95 güven aralığı ile çizilen kontrol grafiği üzerinden izlenmesi şeklinde tanımlanmıştır. Yöntemin, geleneksel kalite kontrol ile karşılaştırılmasına yönelik yapılan bazı uygulamalarda, önerilen yöntemin sapmaların tespitinde geleneksel kalite kontrole göre daha az başarılı olduğu ileri sürülmüştür (Amador, Hsi ve Massod, 1968; Owen ve Campbell, 1968; Kilgariff ve Owen, 1968). Daha sonra performansın artırılmasına yönelik bazı çalışmalarda yöntemde modifikasyonlar önerilmiştir (Reed, 1970; Begtrup, Leroy ve Thyregod, 1971).

2.1.2. Hareketli Pencere (Moving Windows - MW)

AoN ile başlayan PBRTQC yöntemlerinden günümüzde sıklıkla kullanılan Hareketli Pencere (MW) yöntemidir. Bu yöntemde, öncelikle istatistik hesaplamasında kullanılacak hasta sayısını gösteren blok boyutu (pencere büyüklüğü) belirlenir. Her yeni bir ölçümde, en son ölçüm sonucu bloğa eklenirken, blokta yer alan en eski sonuç hareketli pencereden çıkarılarak blok istatistiği hesaplanır. Bu şekilde blok istatistikleri izlenir ve pencereler hareket eder. İzlenen istatistik ortalama, medyan, standart sapma vb. olabilir.

2.1.2.1. Hareketli Ortalama (Moving Average - MA)

MW yöntemleri arasında en yaygın olanı blok ortalamasının takip edildiği Hareketli Ortalama (MA) yöntemidir ve günümüze kadar birçok PBRTQC uygulamasında kullanılmıştır (bkz. Fleming ve Katayev, 2015; Ng, Polito ve Cervinski, 2016; van Rossum ve Kemperman, 2016; van Rossum ve Kemperman, 2017a; van Rossum ve van den Broek, 2019; Lukić ve Ignjatović, 2019; Duan ve ark., 2020; Lim, Badrick ve Loh, 2020; Bietenbeck ve ark., 2020; van Rossum ve ark., 2020; Song ve ark., 2020; Li ve ark., 2021; Poh ve ark., 2021; van Andel ve ark., 2022; Li, Chen ve Zhao, 2024).

2.1.2.2. Hareketli Medyan (Moving Median - MM)

Takip edilen hasta test sonuçlarının dağılımı her zaman normal dağılıma uymamakta, hatta dağılımlar sıklıkla çarpık olabilmektedir. Bu gibi durumlarda takip edilen istatistik olarak ortalama yerine medyan değeri kullanılabilir. PBRTQC uygulamasında MM yönteminin kullanımına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (bkz. Fleming ve Katayev, 2015; Duan ve ark., 2020; Bietenbeck ve ark., 2020; Li ve ark., 2021; Zhou ve ark., 2021; Li, Chen ve Zhao, 2024).

2.1.2.3. Hareketli Standart Sapma (Moving Standard Deviation - MovSD)

Medyan gibi standart sapma değerleri de ortalama yerine takip edilen parametre değeri olarak kullanılabilir. Liu ve ark. (2018), Duan ve ark. (2020), Li ve ark. (2021) ve Li, Chen ve Zhao (2024) tarafından bu yöntemin kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır.

2.1.2.4. İşaretli Hasta Sayısı Sonuçlarının Hareketli Toplamı (Moving Sum of the Number of Flagged Patients Results - MovSO = MovSum)

Belirlenen sınır değerini aşan hasta sonuçlarının işaretlendiği ve işaretli sonuç sayısının hareketli toplamlarının takip edildiği bir yöntem olup, Liu ve ark. (2017), Liu ve ark. (2018), Duan ve ark. (2020) ve Lim, Badrick ve Loh (2020) tarafından bu yöntemin kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır.

2.1.3. Referans Aralığı Aykırı Değerlerinin Yüzdesi (Percentage of Reference Interval Outliers)

MovSO yöntemine benzetmekle birlikte, referans aralığın üstündeki ve altındaki sonuçların yüzdesinin takip edildiği bir yöntemdir.

2.1.4. Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (Exponentially Weighted Moving Average - EWMA)

Genellikle imalat sanayinde süreç kontrolünde kullanılan Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) yönteminde, bir ağırlık parametresi ile geçmiş verilerin istenilen oranda hesaplamalara dâhil edilmesi sağlanır. Her yeni ölçüm sonucu ile EWMA istatistiğinin hesaplandığı ve hesaplanan bu değer takip edildiği bir yöntemdir. EWMA yönteminin hasta bazlı kalite kontrol uygulaması olarak kullanımına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır (bkz. van Rossum ve Kemperman, 2016; van Rossum ve Kemperman, 2017b; Lukić ve Ignjatović, 2019; Duan ve ark., 2020; Bietenbeck ve ark., 2020; Poh ve ark., 2021; Topcu ve Çubukçu, 2022; Lu ve ark., 2022; Li, Chen ve Zhao, 2024).

Bu yöntemlere ilave olarak, üretim ve hizmet sektöründeki istatistiksel süreç kontrol uygulamalarında kullanılan Kümülatif Toplam (Cumulative Sum, CUSUM) kontrol grafiğinin kullanıldığı bir çalışma Özgür (2019) tarafından yapılmıştır.

Literatür incelendiğinde, hasta bazlı kalite kontrol yöntemlerinin başlangıçta Normallerin Ortalaması (AoN) olarak adlandırıldığı, sonrasında AoN yöntemi yerine Hareketli Ortalamaların kullanılmasıyla Hareketli Ortalama adlandırmasının yapıldığı, son birkaç yılda ise hasta bazlı kalite kontrol yaklaşımının literatürde genelleştirilerek Hasta-Bazlı Gerçek-Zamanlı Kalite Kontrol (PBRTQC) olarak adlandırıldığı görülmüştür. Ayrıca bahse konu yöntemlerin temelini Hareketli Ortalama yöntemi oluştururken, baz olarak genellikle bu yöntemin kullanılmakta olduğu ve çoğunlukla sadece takip edilen istatistiğin (ortalama, medyan, standart sapma vb.) değiştiği görülmüştür.

2.2. Hasta Bazlı Kalite Kontrol Performans Değerlendirme Yöntemleri

PBRTQC uygulaması ile ilgili diğer bir konu ise, kullanılan yöntemin performansının ölçülmesidir. Bu kapsamda literatürde farklı performans değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerden bazıları Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. Performans Değerlendirme Yöntemleri

Yöntem Adı	Açıklama	Referans
Etkilenen Hasta Sonucunun Ortalaması (ANPed)	Hata/sapma tespitinden etkilenen önceki hasta sonuçlarının ortalamasını gösterir. Süreçteki sapmanın tespit edilmesinden sonra, sapmanın başlangıcı ile başlayan hatalı raporlanabileceği değerlendirilen sonuçlar tespit edilir ve simülasyonla bu işlemin tekrarlanması sonucunda elde edilen sayıların ortalaması alınarak hesaplanır.	(Ye, Ingels ve Parvin, 2000; Ng, Polito ve Cervinski, 2016; van Rossum, 2019; Loh ve ark., 2020)
Etkilenen Hasta Sonucunun Medyanı (MNPed)	Uygulama olarak ANPed ile benzetmekle birlikte, ortalama yerine sonuçların medyanı hesaplanır.	(Zhou ve ark., 2021)
Hata Tespit Eğrileri ve Doğrulama Grafikleri	Hata tespit eğrileri çizilir ve çizilen grafikte; yatay (x) eksenini sistematik hata oranlarını, dikey (y) eksenini ise sapma oluştuğundan sonra hata tespit edilinceye kadarki gerçekleşen test sonuçlarının medyanını gösterir.	(van Rossum ve Kemperman, 2016; van Rossum ve Kemperman, 2017b; van Rossum, 2019; van Rossum ve van den Broek, 2019; Loh ve ark., 2020; van Andel ve ark., 2022)
Güç Fonksiyonu Analizi	Popülasyon standart sapmasının ölçümlerin standart sapmasına oranı, hata tespit olasılığı ve örnek büyüklüğü verileri dikkate alınarak güç fonksiyonu grafikleri çizilerek analiz edilir.	(Cembrowski, Chandler ve Westgard, 1984; Carey, 2013; van Rossum, 2019)
İzin Verilen Toplam Hata (Total Error Allowable - TEa) Algılama Olasılığı	Hata limitleri belirlenir ve belirlenen hata limitlerini aşma durumları analiz edilir.	(Fleming ve Katayev, 2015; van Rossum, 2019)

Üretim ve hizmet sektöründeki uygulamalarda genellikle bir kontrol grafiğinin performansının değerlendirilmesinde Çalışma (Tespit) Uzunluğu (Run Length, RL) metriği kullanılmaktadır. RL , bir kontrol grafiğinde, kontrol istatistiği kontrol limitini ilk defa aşana kadar çizilen kontrol istatistiği sayısını ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle, RL , kontrol dışı bir durum sinyali verilene kadar alınan numunelerin/hastaların sayısını gösterir. RL 'nin beklenen değeri ise Ortalama Çalışma (Tespit) Uzunluğu (Average Run Length, ARL) değeri olarak adlandırılır ve kontrol grafiğinin performansını ölçmede kullanılan en yaygın metriklerden biridir.

Bağımsız ve sabit bir dağılımdan gelen gözlemlerin olduğu süreçlerde ARL performansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$ARL = \frac{1}{p}$$

Burada p , herhangi bir kontrol istatistiğinin kontrol limitleri (Alt Kontrol Limiti, LCL veya Üst Kontrol Limiti, UCL) dışına çıkma olasılığıdır.

ARL performansı iki durumda değerlendirilir. Kontrol grafiğinin süreç kontrol altındayken yanlış alarm verme performansı ARL_0 ile gösterilir. α ile süreç kontrol altında iken kontrol dışı durum sinyali verme olasılığı gösterildiğinde, ARL_0 aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$$

Kontrol grafiğinin, süreç kontrol dışına çıktığında doğru alarm verme performansı ise ARL_1 ile gösterilir. β ile süreç kontrol dışında iken kontrol dışı durum sinyali vermeme olasılığı gösterildiğinde, ARL_1 aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta}$$

Farklı kalite kontrol grafikleri karşılaştırılırken veya bir kontrol grafiği tasarlanırken ARL_0 değeri yüksek ve ARL_1 değeri düşük olan kontrol grafikleri ve/veya kontrol grafiği parametreleri tercih edilir.

Her ne kadar PBRTQC literatüründe ARL metriği kullanılmamakta olsa da, bu tez kapsamında ele alınan çalışmalarda kullanılan Etkilenen Hasta Sonucunun Ortalaması ($ANPed$) metriğinin ARL_1 metriğine karşılık geldiği söylenebilir. Bu tez çalışmasında, ARL metriği özellikle tercih edilmiş, performans değerlendirmesinde sadece tespit yeteneğini gösteren ARL_1 veya bunun dengi $ANPed$ değil, ayrıca yanlış sinyalleri gösteren ARL_0 'ın da kullanılmasının gerektiği vurgulanmak istenmiştir.

Bununla birlikte, uygulamada, sıfır-durumu ARL (Zero-State ARL , $ZS-ARL$) ve kararlı-durum ARL (Steady-State ARL , $SS-ARL$) olmak üzere farklı ARL tipleri kullanılabilir (bkz. Knoth, 2005, 2018 ve 2021; Weiß, 2011; Zwetsloot ve Woodall, 2021; Knoth ve ark., 2023). Sıfır-durumu ARL hesaplamalarında süreçteki sapmanın başlangıç (sıfır) durumunda gerçekleştiği varsayılırken; kararlı-durum ARL hesaplamalarında süreçteki sapmanın başlangıç aşamasında değil, süreç kararlı bir yapıda devam ederken, sürecin herhangi bir aşamasında gerçekleştiği varsayılır.

PBRTQC uygulamalarında amaç, tanımlanan yanlış alarm olasılıkları dikkate alınarak tasarlanmış kontrol grafikleri ile hata tespitinin en kısa sürede/en az etkilenen hasta sonuç sayısı ile gerçekleştirilmesi olmalıdır. Bu tez kapsamında, yukarıda bazıları hakkında bilgi verilen performans ölçüm metrikleri kullanılarak PBRTQC yöntemlerinin performansları değerlendirilmekte ve laboratuvarlar için en uygun ve en iyi sonuçları veren yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

3. YÖNTEMLER

3.1. Hasta Bazlı Kalite Kontrol Uygulaması

PBRTQC uygulamalarındaki temel amaç, test süreçlerinde ortaya çıkabilen sistematik hataların kısa sürede tespit edilmesi ve aynı zamanda yanlış alarm durumunun minimize edilmesidir. Bu kapsamda uygulamaya yönelik genel esaslara karar verilerek doğru yöntem ve parametrelerin seçilmesi oldukça önemlidir. Aşağıda PBRTQC uygulamasına yönelik genel adımlar sıralanmış olup ilgili yöntem ve terimler sonraki maddelerde detaylandırılmıştır.

1) Uygulamaya yönelik genel esaslara karar verilir ve bu kapsamda temel parametreler belirlenir:

Öncelikle kesme limitlerinin kullanılıp kullanılmaması, veri dönüşümünün uygulanıp uygulanmaması, kesme limitlerinin dışında olan hasta sonuçlarının performans değerlendirme aşamasında kullanılıp kullanılmaması gibi genel esaslara ilişkin karar verilir. Verilen kararlar neticesinde takip edilecek kontrol istatistiği, blok boyutu veya ilgili yöntemin parametreleri (örneğin EWMA kontrol grafiği için λ parametresi), veri dönüşüm yöntemi, kesme ve kontrol limitleri belirlenir. Burada;

Takip edilen istatistik (Kontrol istatistiği): Belirlenen blok boyutu doğrultusunda hesaplanan ve kontrol limitlerini aşp aşmama durumu takip edilen istatistiktir (ortalama, medyan, standart sapma vb.).

Blok boyutu: Kontrol istatistiği hesaplamasında kullanılan hasta sonuç sayısıdır. Her bir yeni hasta sonucunun bloğa eklenmesi ile bloktaki en eski sonuç çıkarılarak takip edilen istatistik tekrar hesaplanır. Blok boyutunun büyük olması ortalamadaki küçük sapmaların tespitini kolaylaştırırken, bunun küçük olması ortalamadaki büyük sapmaların daha erken tespit edilmesini sağlar (Badrick ve ark., 2019).

Ağırlıklandırma Parametresi: Geçmiş verilere ağırlıklar verilerek bu verilerin belli bir oranda hesaplamalara dâhil edilmesidir. EWMA kontrol grafiğinde kullanılan λ parametresi buna örnek olarak verilebilir. λ değerinin küçük olması hesaplamalarda

geçmiş verilere verilen ağırlığı artırırken, grafiğin küçük sapmalara daha duyarlı olmasını sağlar. Aynı şekilde, λ değerinin artırılması ile yakın zamandaki verilerin ağırlığı artırılır ve grafiğin büyük sapmaları tespit kabiliyeti de artar.

Kesme limiti: Gerçekte hasta olan kişilere ait verilerin (aykırı değerlerin), takip edilen istatistiği ve popülasyon değerini etkilememesi için bu değerlerin belirlenerek veriden çıkarılması amacıyla kesme limitleri kullanılır. Belirlenen kesme limitlerinin dışında kalan hasta sonuçları, takip edilen istatistiğin hesaplamalarında kullanılmaz ancak etkilenen hasta sayısı verilerinde dikkate alınabilir.

Veri dönüşümü: Çarpık dağılıma sahip verilerdeki ortalama hesaplarında verinin logaritmasının, karekökünün alınması gibi farklı ancak veriye özel dönüşümler kullanılabilir.

Kontrol limiti: Sürecin kontrol dışına çıkıp çıkmadığına karar vermek amacıyla belirlenen limitlerdir. Kontrol limitlerinin dışına çıkan istatistik alarm olarak nitelendirilir.

2) Hasta sonuçları alınır, veri dönüşümü yapılmasına karar verildiyse dönüşüm yapılır ve sonucun kesme limitlerinin dışında kalması durumunda test sonucu, analiz edilen veriden çıkarılır.

3) Takip edilen kontrol istatistiği hesaplanır.

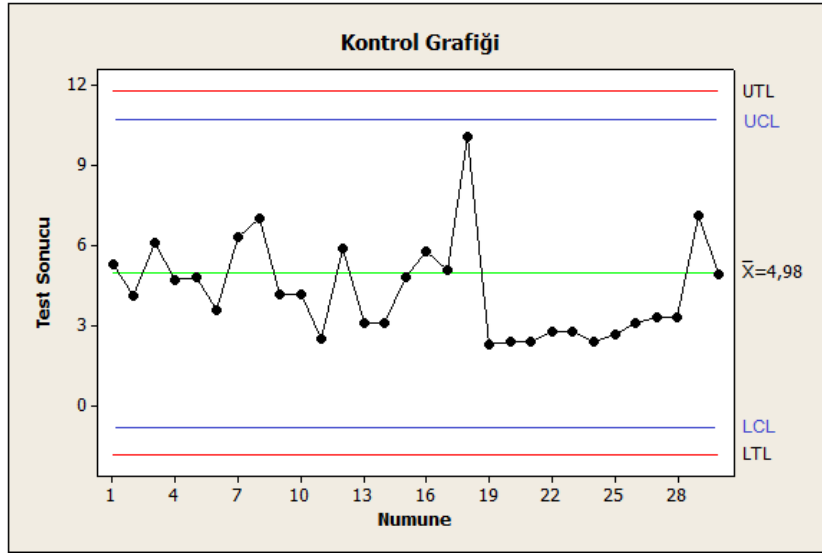
4) Hesaplanan istatistiğin kontrol limitlerini aşp aşmama durumu kontrol edilir.

Hesaplanan istatistik kontrol limitlerini aşıyorsa süreç kontrol dışına çıkmış kabul edilir ve bu sinyalin kök nedeni araştırılarak sürece düzeltici müdahalede bulunulur. Sinyal verilene kadar değerlendirilen hasta sayısı sürecin performansını gösteren parametrelerden bir tanesidir.

Hesaplanan kontrol istatistiği kontrol limitlerinin içinde ise, yeni hasta sonucu (karar verildiyse dönüştürülen) MW yöntemlerinde bloğa eklenir, hasta sonuç sayısının belirlenen blok boyutuna ulaşması durumunda en eski hasta sonucu bloktan çıkarılır ve

blok istatistiği tekrar hesaplanarak kontrol limitlerini aşıp aşmama durumu tekrar kontrol edilir.

Kesme limitleri (*LTL* ve *UTL*) ile kontrol limitlerinin (*LCL* ve *UCL*) kullanıldığı örnek kontrol grafiği Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kontrol Grafiği Örneği

3.2. PBRTQC Yöntemleri

Tez çalışmasında kullanılan PBRTQC yöntemlerine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1. MA Kontrol Grafiği

x_i ($i = 1, 2, \dots$) ile i . hastanın test sonucunu gösterelim. Blok boyutu n için *MA* kontrol istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$MA_i = \begin{cases} \frac{x_1 + \dots + x_{i-1} + x_i}{i}, & i < n \\ \frac{x_{i-n+1} + \dots + x_{i-1} + x_i}{n}, & i \geq n \end{cases}$$

Kontrol grafiğinin işleyişinde, her bir yeni hasta test sonucu elde edildiğinde *MA* istatistiği tekrar hesaplanarak kontrol grafiği üzerinde gösterilir. İndeks değeri i blok boyutu n 'yi

aşınca i hastasına ait test sonucu bloğa eklenirken, $i - n + 1$ hastasına ait test sonucu bloktan çıkarılır ve böylece hasta penceresi hareket eder.

Test sonuçlarına ilişkin sürecin kontrol altında olduğu durumda süreç ortalaması ile standart sapmasını sırasıyla μ_0 ve σ_0 ile gösterelim. MA kontrol grafiğinin üst (UCL) ve alt (LCL) kontrol limitleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

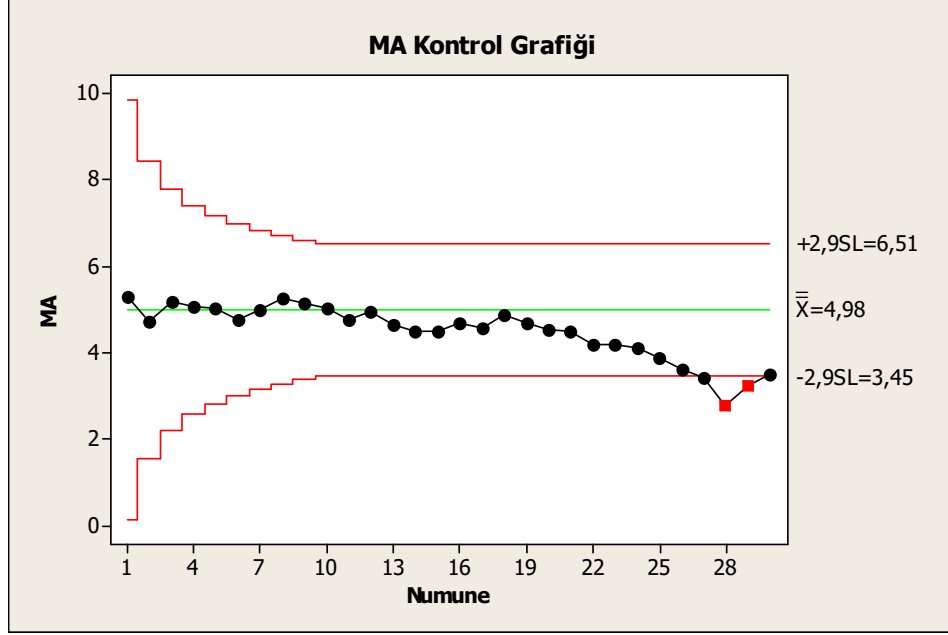
$$UCL_i = \mu_0 + L \frac{\sigma_0}{\sqrt{\min(i, n)}}$$

$$LCL_i = \mu_0 - L \frac{\sigma_0}{\sqrt{\min(i, n)}}$$

Burada L , kontrol limitinin, sürecin kontrol altında olduğu durumda süreç ortalamasına, kontrol istatistiğinin standart sapma birimi cinsinden uzaklığını göstermektedir. L değeri belirlenirken ARL_0 performansı dikkate alınır ve sıklıkla 3 değeri tercih edilir. Bu durumda, eğer ölçümler için Normal dağılım uygun bir model ise $ARL_0 = 370$ olacaktır.

$i = n$ olduğunda kontrol limitleri kararlı-durum değerlerine ulaşır ve artık sabittir. MA kontrol grafiğinin uygulamasında $MA_i < LCL_i$ veya $MA_i > UCL_i$ olduğunda kontrol dışı süreç alarmı verilir.

Ürik Asit hasta test sonuçları kullanılarak Minitab programında çizilmiş olan MA kontrol grafiği örneği Şekil 3.2'de verilmiştir. Kontrol grafiği tasarımında tezin 5. Bölümünde verilen, değişken kontrol limitleri ile sıfır-durumu ($MA\ ZS\ vary_CL$) tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan, blok boyutunun $n = 10$ olduğu durumdaki L parametresi kullanılarak LCL ve UCL kontrol limitleri hesaplanmıştır. Grafikte kırmızı ile gösterilen MA istatistikleri kontrol limitlerinin dışına çıktığı için alarm durumunu göstermektedir.



Şekil 3.2. MA Kontrol Grafiği Örneği

3.2.2. MM Kontrol Grafiği

MM kontrol grafiğinde MA kontrol grafiğinden farklı olarak takip edilen istatistikte blok ortalaması yerine bloğun medyan değeri kullanılır. Benzer şekilde, *MM* kontrol istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$MM_i = \begin{cases} \text{Medyan}(x_1, \dots, x_{i-1}, x_i) & , i < n \\ \text{Medyan}(x_{i-n+1}, \dots, x_{i-1}, x_i) & , i \geq n \end{cases}$$

Sürecin kontrol altında olduğu ve süreç ortalaması ile standart sapmasının sırasıyla μ_0 ve σ_0 olarak gösterildiği durumda MM kontrol grafiğinin üst ve alt kontrol limitleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$UCL_i = \mu_0 + L \frac{\sigma_0}{\sqrt{\min(i, n)}}$$

$$LCL_i = \mu_0 - L \frac{\sigma_0}{\sqrt{\min(i, n)}}$$

MM kontrol grafiği, Şekil 3.2’de verilen MA kontrol grafiği örneğine benzer tasarımıdır.

3.2.3. EWMA Kontrol Grafiği

EWMA kontrol grafiği ilk olarak Roberts (1959) tarafından önerilmiŐ olup özellikle üretim ve hizmet sektöründe küçük sapmaların tespitinde kullanılmaktadır. *EWMA* kontrol istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}$$

Burada, λ ağırlık parametresi kullanım durumuna göre $0 < \lambda \leq 1$ arasında değer almaktadır. Her bir yeni hasta verisi için Z_i değerini hesaplanır ve hesaplanan değerler oluşturulan kontrol grafiği üzerinden takip edilir. Başlangıçta Z_0 değerini ($i = 1$ için) genellikle $Z_0 = \mu_0$ olarak alınmakta olup, μ_0 parametre değerini bilinmiyorsa bunun tahmini olarak mevcut verinin ortalaması da ($Z_0 = \bar{x}$) kullanılabilir.

EWMA kontrol grafiğinin st ve alt kontrol limitleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$UCL = \mu + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}$$
$$LCL = \mu - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}$$

Burada, L değerini kontrol limitlerinin geniŐliđini standart sapma biriminde gösteren bir katsayıdır ve belirlenirken ARL_0 performansı dikkate alınır.

Kontrol limitleri hesaplanırken kullanılan i değerinin değişken olması sebebiyle UCL ve LCL değerleri de değişken (parabolik) olmaktadır. Ancak, i ’nin büyük değerlerinde kontrol limitlerinin hesaplanmasında yer alan karekök içindeki ifade bir sabite yakınsar. Dolayısıyla, aşağıda verilen durağan-durum formülleri kullanılarak da UCL ve LCL değerleri birçok uygulamada sabit kabul edilir.

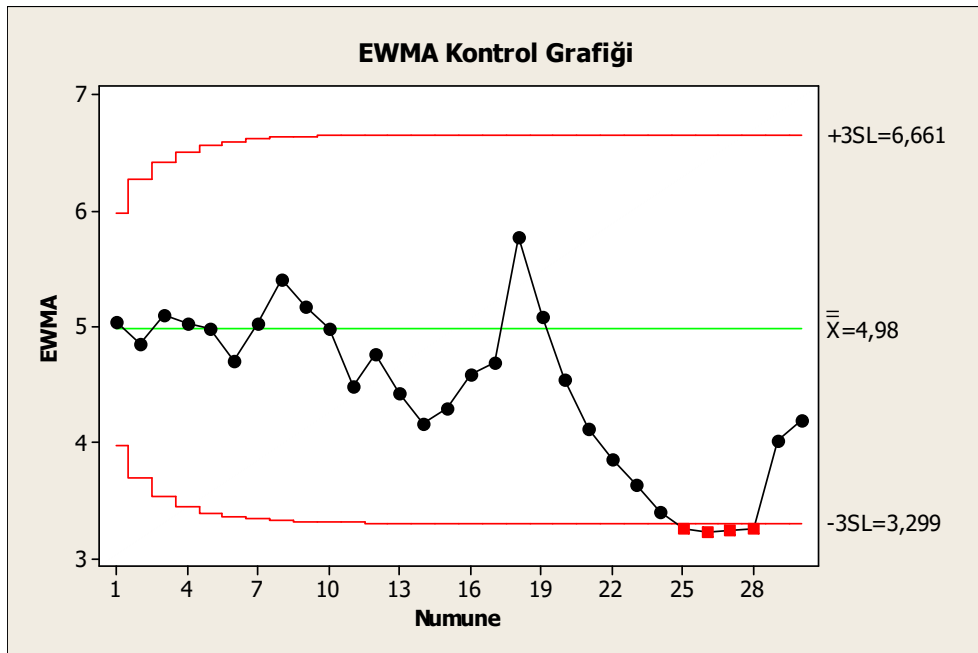
$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$$

EWMA kontrol grafiklerinde λ parametresinin seçimi önemli olup kontrol grafiği, küçük λ değerinde süreç ortalamasında küçük sapmalara, büyük λ değerinde ise ortalamadaki büyük sapmalara karşı daha hassas olabilmektedir (Montgomery, 2013).

Her bir yeni gözlem ile tekrar hesaplanan Z_i istatistiği, kontrol limitleri ile karşılaştırılır ve $Z_i < LCL$ veya $Z_i > UCL$ olması durumunda kontrol dışı süreç sinyali verilir.

Ürik Asit hasta test sonuçları kullanılarak Minitab programında çizilmiş olan EWMA kontrol grafiği örneği Şekil 3.3'te verilmiştir. Kontrol grafiği tasarımında tezin 5. Bölümünde verilen, değişken kontrol limitleri ile sıfır-durumu (*EWMA ZS-vary_CL*) tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan, $\lambda = 0,20$ olduğu durumdaki L parametresi kullanılarak LCL ve UCL kontrol limitleri hesaplanmıştır. Grafikte kırmızı ile gösterilen *EWMA* istatistikleri kontrol limitlerinin dışına çıktığı için alarm durumunu göstermektedir.



Şekil 3.3. EWMA Kontrol Grafiği Örneği

3.3. Kontrol Grafiği Tasarım Parametreleri

3.3.1. Kesme Limitleri

PBRTQC uygulamalarının üretim ve hizmet sektöründe kullanılan kontrol grafiklerinden en önemli farkı izlenen istatistiğin hesaplamalarında uç değerlerin etkisini en aza indirmek ve verilerdeki değişkenliği azaltmak için aykırı değerlerin ayıklanmasına yönelik kesme limitlerinin (Truncation Limit, TL) kullanılmasıdır.

TL 'lerin kullanımı bir analitin dağılımının özelliklerine göre değişebilmekle birlikte bunları belirlemek için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Referans değerler, verilerin belirli bir yüzdesi (örneğin %1, %5, %10 vb.), standart sapmanın belirli bir katı (örneğin ortalamadan 3 veya 4 standart sapma), kutu-grafikleri ve biyolojik varyasyon TL 'lerin belirlenmesine yönelik bu yaklaşımlara örnek olarak verilebilir (bkz. van Rossum ve Kemperman, 2016; Duan ve ark., 2020; Bietenbeck ve ark., 2020; Song ve ark., 2020; Li ve ark., 2021; Ye, Ingels ve Parvin, 2000; He ve ark., 2022; Coskun ve ark., 2020). Örneğin, Ng ve ark. (2016) veri dağılımı simetriğe yakın olduğunda, ortalama değerin 4 standart sapma uzaklığını kesme limitleri olarak dikkate almıştır. Çarpık veri dağılımlarının kesme limitleri için ise, frekans dağılım eğrisinin düzleşmeye başladığı ve görsel inceleme ile belirlenen bükülme noktasını (optimize etmeden) kullanmışlardır.

Tez çalışması kapsamında Üst (UTL) ve Alt (LTL) kesme limitleri aşağıda verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$UTL = \mu_0 + L_t \sigma_0$$

$$LTL = \mu_0 - L_t \sigma_0$$

Buradaki L_t , kesme limitinin sürecin kontrol altında olduğu durumda süreç ortalamasına standart sapma birimi cinsinden uzaklığını göstermektedir. TL 'lerin kullanıldığı durumda, kesme limitlerinin dışında kalan test sonuçları, yani $x_i \notin [LTL, UTL]$, takip edilen istatistik değerinin (MA , MM ve $EWMA$ istatistikleri) hesaplamasında kullanılmamıştır. Bu nedenle, kontrol grafiği uygulamalarında, kesme limitleri içinde kalan bir test sonucu çıkana kadar kontrol grafiğinde yeni bir istatistik değeri çizilmemiştir.

3.3.2. Blok Boyutu

MW yöntemlerinde kullanılan ve kontrol grafiğinin performansını etkileyen tasarım parametrelerinden bir tanesi de blok boyutu n 'dir. Büyük bir blok boyutu küçük büyüklükteki sapmaları tespit etmede etkili olurken, büyük sapmaların tespiti için ise küçük bir blok boyutu tercih edilebileceği Badrick ve ark. (2019) tarafından belirtilmiştir. Literatürde 5 ile 200 arasında değişen farklı blok boyutları farklı uygulamalarda dikkate alınmıştır (bkz. Duan ve ark., 2020; Bietenbeck ve ark., 2020; Song ve ark., 2020; Li ve ark., 2021; Duan ve ark., 2021; He ve ark., 2022). Örneğin, Fleming ve Katayev (2015) 25, 50, 100 ve 200 blok boyutlarını dikkate almış ve MA grafiği için yaptıkları simülasyon çalışmalarında %90'dan fazla hata tespit oranı hedefi kullanarak 50 blok boyutunu optimum olarak belirlemişlerdir. Ancak, optimum blok boyutunun farklı çalışmalarda farklılık gösterebileceği değerlendirilmektedir. Uygun bir blok boyutuna ilişkin spesifik bir tasarım önerisi için, sadece sapmanın büyüklüğü değil, aynı zamanda hem kontrol içi hem de kontrol dışı performans için tasarım parametrelerinin kombinasyonlarının dikkate alınması önemlidir. Tez çalışmasında bu yaklaşım doğrultusunda çalışmalar yürütülmüştür.

3.3.3. Ağırlıklandırma Parametresi

EWMA kontrol grafiğinde kullanılan λ parametresi ile önceki verilere bir ağırlık verilerek geçmiş sonuçların belirlenen oranda hesaplamalara dâhil edilmesi sağlanır. λ değerinin küçük olması hesaplamalarda geçmiş verilere daha fazla ağırlık verildiğini gösterirken, kontrol grafiğinin küçük sapmaları daha hızlı tespit etmesini sağlar. Benzer şekilde, λ değerinin artışı ile kontrol grafiğinin büyük sapmaları hızlı tespiti sağlanır.

3.4. Performans Hesaplama Yöntemleri

3.4.1. Simülasyon Yöntemi

Tez çalışmasında kullanılan MA, MM ve EWMA kontrol grafiklerinin performanslarının değerlendirilmesi için R yazılımında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon yöntemi ve sonrasında yapılan değerlendirme aşağıda detayları verilen iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Aşama: Yöntemlerin tasarım parametrelerinin belirlenmesi

2. Aşama: Yöntemlerin performanslarının hesaplanması ve değerlendirilmesi

1. Aşama

1. Adım: Temel parametrelerin belirlenmesi

- Kesme limiti katsayıları (L_t)
- MA ve MM için blok boyutları (n)
- EWMA için λ değerleri

2. Adım: 1. adımdaki temel parametreler kullanılarak sürecin kontrol altında olduğu durumdaki tasarım ARL_0 değerini (örneğin 370, 500 vb.) sağlayan kontrol limiti genişliği katsayısının (L) tahmin edilmesi

2. Aşama

1. Adım: 1. Aşamadaki parametreler kullanılarak farklı dağılımlar veya farklı büyüklükteki sapmalar için ARL , $SDRL$, MRL , çeşitli persentil değerlerinin hesaplanması

2. Adım: Yöntemlerin performanslarının karşılaştırılması

3.4.2. Performans Metrikleri

Tez çalışması kapsamında, öncelikle hesaplanan performans ölçütü, kontrol grafiğinin süreçte bir sapma alarmı verene kadar kullanılan hasta test sonuçlarının sayısını gösteren Çalışma Uzunluğudur (RL):

$$RL = \min\{i \in \mathbb{N} : MA_i \notin [LCL, UCL]\}$$

TL 'ler PBRTQC hesaplamalarında olağandışı sonuçların elenmesinde kullanılsa bile, birçok gözlemin elenmesi kontrol grafiğinin gerçek performansını gizleyebileceğinden, kesme limitleri kapsamında MW hesaplamalarında kullanılmayan bu gözlemler performans analizinde RL değerleri içine dahil edilmiştir.

Simülasyon çalışmaları, her biri bir RL değeri veren 100.000 tekrardan oluşmuştur. Çalışmada; ortalama (ARL), medyan (MRL), standart sapma ($SDRL$), değişkenlik katsayısı ($CVRL$) ve RL dağılımının bazı yüzdelik dilimleri de hesaplanmış olsa da esas olarak Ortalama Çalışma Uzunluğu (ARL) dikkate alınmıştır. Kullanılan ARL metriği koşullu beklenen gecikmedir:

$$ARL = E(RL - m | RL > m)$$

Burada, sürecin ortalamasındaki sapmanın başlangıcına karşı gelen hastanın indeks değeri m ile gösterilmektedir. Buna göre, ARL , RL dağılımının koşullu beklenen değeridir. Simülasyonlarda veriler, seçilmiş teorik dağılımlardan veya ampirik dağılımlardan üretilmiş, sıfır-durumu ve kararlı-durum ARL performansları hesaplanmıştır.

Sıfır-durumu ARL hesaplarında, ilk gözlemden başlayarak süreçte sapma oluşturulmuş ve ilgili istatistik (MA , MM , $EWMA$ vb.) kontrol limitleri ile karşılaştırılmaya başlanmıştır. Yani bu durumda, yukarıda verilen formüldeki m değeri 0 olarak alınmıştır.

Kararlı-durum ARL hesaplarında ise, $(m + 1)$. gözlemden başlayarak ilgili istatistik kontrol limitleriyle karşılaştırmaya başlanmıştır. Kararlı-durumların kontrol dışı süreçlerin simülasyonunda ise, ilk m gözlemin kontrol altında bir sürece ait olduğu varsayılmış ve $(m + 1)$. gözlemden başlayarak süreçte sapma oluşturulmuştur. Gürbüzlük çalışmalarında, formüldeki m değeri ilgili blok boyutuna eşit olarak alınmıştır ($m = n$). Örneğin blok boyutunun $n = 50$ olduğu durumda $m + 1 = n + 1 = 51$. gözlemden itibaren ilgili MW istatistiği kontrol limitleri ile karşılaştırılmaya başlanmış ve kontrol dışı durumlar için bu gözlemlerle birlikte süreçte sapma oluşturulmuştur. Her bir çevrim, ilgili istatistiğin kontrol limitlerinden birini aşmasıyla sonlandırılmış ve RL değeri $i - m$ olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda kontrol grafiğinin süreçteki bir hata için yanlışlıkla alarm tetiklediği durumdaki performans olan ARL_0 ve kontrol grafiğinin süreçteki bir hatayı doğru bir şekilde tespit ettiği durumdaki performans olan ARL_1 değerleri hesaplanmıştır. Tez çalışmasında kontrol dışı süreç ortalaması $\mu_1 = \mu_0 + \Delta$ olacak ve Δ sapma büyüklüğünü gösterecek şekilde (örneğin $\Delta = 1\sigma_0$) tanımlanmıştır.

3.4.3. Yöntemlerin Doğrulanması

Tez çalışması kapsamında kontrol grafiklerinin performansını belirlemek için yazılan R yazılımı kodunun doğrulanması amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve ilgili literatür incelenmiştir.

Simülasyon yöntemi dışında, EWMA kontrol grafiğinin ARL performansının hesaplanmasına yönelik kullanılan yöntemlerden biri de Markov zinciri yöntemidir. Markov zinciri yöntemi tez çalışmasında kullanılan EWMA kontrol grafiğinin simülasyon yöntemi

ile hesaplanan performans metriklerinin doğrulanmasında kullanılmıştır. Yöntem kapsamında aşağıda verilen sabit kontrol limitleri kullanılmıştır.

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

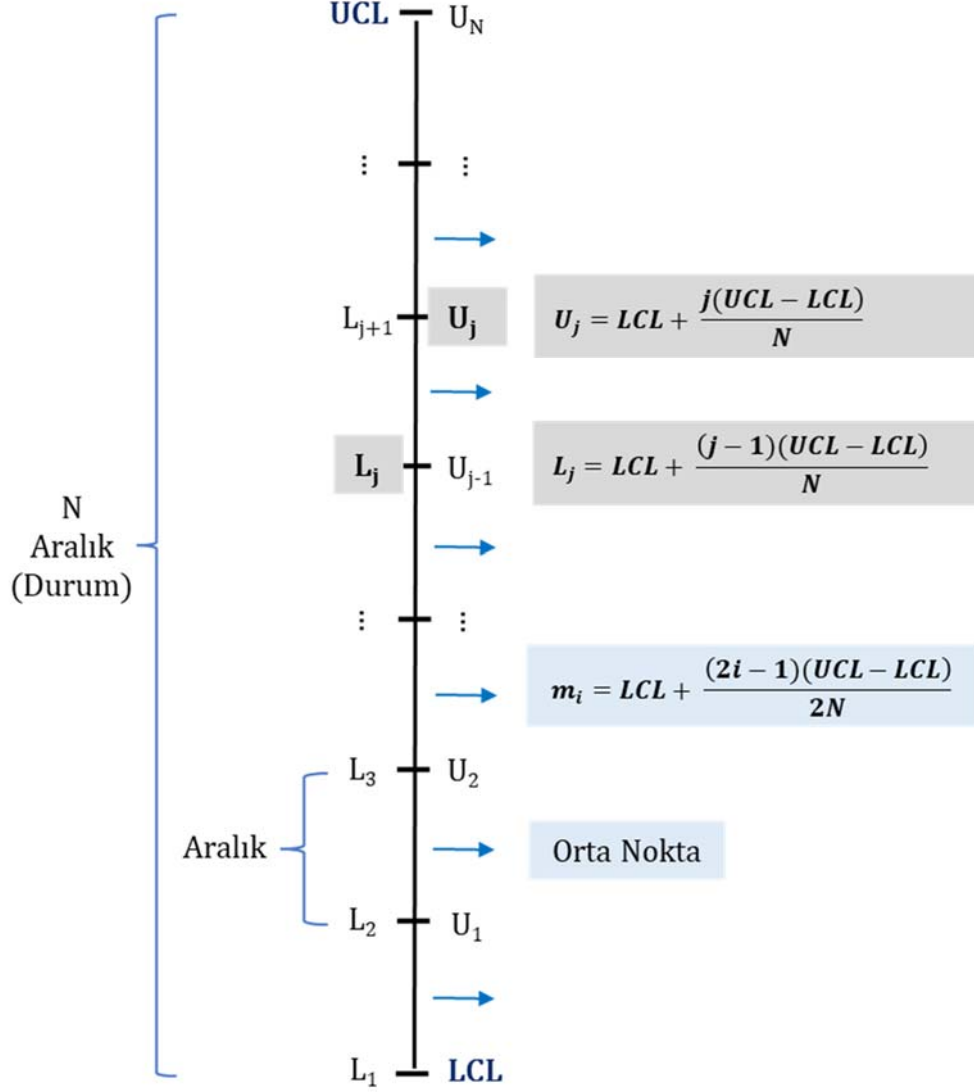
$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

Markov zinciri yönteminde, LCL ve UCL değerlerinin arası Şekil 3.4'te verildiği gibi (Murat, 2019) durum olarak nitelendirilen N adet aralığa bölünmektedir. Bölünen aralıklardaki, j . durumun alt (L_j) ve üst (U_j) sınırları ile i . durumun orta noktası aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$L_j = LCL + \frac{(j - 1)(UCL - LCL)}{N}$$

$$U_j = LCL + \frac{j(UCL - LCL)}{N}$$

$$m_i = LCL + \frac{(2i - 1)(UCL - LCL)}{2N}$$



Şekil 3.4. Markov Zinciri Yöntemi Bölünen Aralıkların Gösterimi (Murat, 2019)

LCL ve UCL dışında kalan $(N + 1)$. durum ise “yutan durum” olarak isimlendirilmekte olup kontrol limitleri dışına çıkılması (alarm) durumunu göstermektedir. Başlangıç durumundan (Z_0 istatistiği), herhangi bir yutan duruma geçişe kadar olan adım sayısı RL değerini göstermektedir. ARL değeri ise yutan duruma geçişe kadar olan adım sayısının beklenen değerine karşılık gelmektedir (Murat, 2019). ARL değeri hesaplanırken öncelikle i durumundan j durumuna geçiş olasılığını gösteren p_{ij} bulunur:

$$p_{ij} = P(L_j < Z_t < U_j \mid Z_{t-1} = m_i)$$

Buradaki p_{ij} ; $(t - 1)$. zamanda, $EWMA$ istatistiği i . durumun orta noktası olan Z_{t-1} iken, bir sonraki periyot için $(t$ zamanında) hesaplanan Z_t istatistiğinin j durumunun sınırları içerisine geçme olasılığını göstermektedir.

$EWMA$ istatistiği ($Z_t = \lambda X_t + (1 - \lambda)Z_{t-1}$) ve yukarıda verilen alt ve üst sınır ile orta nokta formülleri p_{ij} formülünde yerine koyulduğunda geçiş olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$p_{ij} = P(L_j < \lambda X_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} < U_j \mid Z_{t-1} = m_i)$$

$$p_{ij} = P(L_j < \lambda X_t + (1 - \lambda)m_i < U_j)$$

$$p_{ij} = P\left(LCL + \frac{(j-1)(UCL - LCL)}{N} < \lambda X_t + (1 - \lambda)\left(LCL + \frac{(2i-1)(UCL - LCL)}{2N}\right) < LCL + \frac{j(UCL - LCL)}{N}\right)$$

$$p_{ij} = P\left(LCL + \frac{(UCL - LCL)}{2N\lambda}(2(j-1) - (1 - \lambda)(2i - 1)) < X_t < LCL + \frac{(UCL - LCL)}{2N\lambda}(2j - (1 - \lambda)(2i - 1))\right)$$

RL değerlerinin hesaplanması için aşağıda verilen \mathbf{P} matrisinin $(N + 1)$. satır ve sütunları silinerek “ $N \times N$ ” boyutundaki \mathbf{Q} geçiş matrisi elde edilir (Murat, 2019).

$$\mathbf{P} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{Q} & \mathbf{Y} \\ \hline \mathbf{0}^T & \mathbf{1} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cccccc|c} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1j} & \dots & p_{1N} & p_{1(N+1)} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2j} & \dots & p_{2N} & p_{2(N+1)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \dots & p_{ij} & \dots & p_{iN} & p_{i(N+1)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{Nj} & \dots & p_{NN} & p_{N(N+1)} \\ \hline 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Q geiş matrisi ile, ARL değerinin elde edildiği “ $N \times 1$ ” boyutlu R vektörü ($R = [R_1, R_2, \dots, R_N]$) aşağıdaki formül ile bulunur:

$$R = (I - Q)^{-1} \mathbf{1}$$

Buradaki I , “ $N \times N$ ” boyutundaki birim matrisi; $\mathbf{1}$ ise “ $N \times 1$ ” boyutunda, 1’lerden oluşan vektörü göstermektedir. Hesaplanan R vektörünün $((N + 1)/2)$. değeri ise vektörün orta değerini göstermekte olup kontrol grafiğinin ARL değerine karşılık gelmektedir.

EWMA kontrol grafiğinin doğrulanması amacıyla kullanılan Markov zinciri yönteminde durum sayısı $N = 1001$ alınarak ARL değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte, çalışmada EWMA kontrol grafiği için kesme limitleri kullanılmamış olup sabit kontrol limitleri ve Standart Normal dağılım kullanılmış ve sıfır-durumu ARL değerleri hesaplanmıştır.

EWMA kontrol grafiğinin Markov zinciri ve simülasyon sonuçları hem kendi içinde, hem de Lucas ve Saccucci’nin (1990) Markov zinciri sonuçları ve Haq ve Woodall’ın (2022) 100.000 tekrarlı simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin doğrulanmasına ilişkin ARL sonuçlarının karşılaştırması izelge 3.1’de verilmiştir. Çizelge 3.1’den de görüleceği üzere hem Markov zinciri ve simülasyon sonuçları kendi arasında hem de genel itibariyle tutarlı olup sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Genel itibariyle sonuçlar arasında farkın %0,5’den küçük olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.1. Yöntemlerin Doğrulanmasına İlişkin *ARL* Sonuçlarının Karşılaştırması

Sapma Oranı	EWMA ($\lambda=0,03$; $L=2,437$)				EWMA ($\lambda=0,05$; $L=2,615$)				EWMA ($\lambda=0,10$; $L=2,814$)			
	Lucas ve Saccucci Markov Zinciri Sonucu	Tez Markov Zinciri Sonucu	Haq ve Woodall Simülasyon Sonucu	Tez Simülasyon Sonucu	Lucas ve Saccucci Markov Zinciri Sonucu	Tez Markov Zinciri Sonucu	Haq ve Woodall Simülasyon Sonucu	Tez Simülasyon Sonucu	Lucas ve Saccucci Markov Zinciri Sonucu	Tez Markov Zinciri Sonucu	Haq ve Woodall Simülasyon Sonucu	Tez Simülasyon Sonucu
0	500,00	499,71	499,86	500,32	500,00	499,82	499,93	500,01	500,00	499,51	499,58	500,31
0,25	76,70	76,72	76,73	76,73	84,10	84,00	84,01	84,06	106,00	106,32	106,32	106,52
0,5	29,30	29,32	29,32	29,31	28,80	28,76	28,76	28,78	31,30	31,30	31,30	31,32
0,75	17,60	17,63	17,63	17,63	16,40	16,37	16,37	16,36	15,90	15,85	15,85	15,88
1	12,60	12,60	12,60	12,61	11,40	11,38	11,38	11,40	10,30	10,33	10,33	10,34
1,5	8,08	8,07	8,07	8,06	7,12	7,11	7,11	7,11	6,09	6,08	6,08	6,09
2	5,99	5,99	5,99	5,99	5,23	5,22	5,22	5,23	4,36	4,36	4,36	4,37
2,5	4,80	4,80	4,80	4,80	4,17	4,17	4,17	4,17	3,44	3,44	3,44	3,44
3	4,03	4,03	4,03	4,03	3,50	3,50	3,50	3,50	2,87	2,87	2,87	2,87
3,5	3,49	3,49	3,49	3,49	3,04	3,04	3,04	3,04	2,47	2,47	2,47	2,47
4	3,11	3,11	3,11	3,11	2,69	2,69	2,69	2,69	2,19	2,19	2,19	2,19

Çizelge 3.1. Yöntemlerin Doğrulanmasına İlişkin *ARL* Sonuçlarının Karşılaştırması (Devamı)

Sapma Oranı	EWMA ($\lambda=0,20$; $L=2,962$)				EWMA ($\lambda=0,50$; $L=3,071$)				EWMA ($\lambda=1$; $L=3,090$)			
	Lucas ve Saccucci Markov Zinciri Sonucu	Tez Markov Zinciri Sonucu	Haq ve Woodall Simülasyon Sonucu	Tez Simülasyon Sonucu	Lucas ve Saccucci Markov Zinciri Sonucu	Tez Markov Zinciri Sonucu	Haq ve Woodall Simülasyon Sonucu	Tez Simülasyon Sonucu	Lucas ve Saccucci Markov Zinciri Sonucu	Tez Markov Zinciri Sonucu	Haq ve Woodall Simülasyon Sonucu	Tez Simülasyon Sonucu
0	500,00	499,70	499,74	499,53	500,00	499,90	499,91	500,27	500,00	499,61	499,61	499,56
0,25	150,00	150,21	150,22	150,36	255,00	254,78	254,78	254,99	374,00	373,89	373,89	373,89
0,5	41,80	41,76	41,76	41,77	88,80	88,79	88,80	88,84	201,00	201,44	201,44	201,16
0,75	18,20	18,15	18,15	18,19	35,90	35,91	35,91	35,98	103,00	103,06	103,06	103,40
1	10,50	10,54	10,54	10,56	17,50	17,48	17,48	17,45	54,60	54,55	54,55	54,64
1,5	5,50	5,50	5,50	5,50	6,53	6,53	6,53	6,54	17,90	17,88	17,88	17,92
2	3,74	3,74	3,74	3,74	3,63	3,63	3,63	3,64	7,26	7,25	7,25	7,25
2,5	2,88	2,88	2,88	2,88	2,50	2,50	2,50	2,50	3,60	3,60	3,60	3,61
3	2,38	2,38	2,38	2,38	1,93	1,93	1,93	1,93	2,15	2,15	2,15	2,16
3,5	2,07	2,07	2,07	2,07	1,58	1,58	1,58	1,58	1,52	1,52	1,52	1,52
4	1,86	1,86	1,86	1,86	1,34	1,34	1,34	1,34	1,22	1,22	1,22	1,22

3.5. Performansa İlişkin Kullanılan Metrikler

3.5.1. ARL

ARL değeri, simülasyon yöntemi kapsamında 100.000 tekrar boyunca hesaplanan *RL* değerlerinin aritmetik ortalaması ile bulunmuştur. *ARL* değerleri, kesme limitleri dışında kaldığı için PBRTQC hesaplamalarına katılmayan gözlemler de dahil edilerek hesaplanmıştır.

3.5.2. MRL

Medyan Çalışma Uzunluğu (Median Run Length, *MRL*) değeri, 100.000 tekrar boyunca hesaplanan *RL* değerlerinin medyan değerini göstermektedir.

3.5.3. SDRL

Çalışma Uzunluğunun Standart Sapması (Standard Deviation of Run Length, *SDRL*) değeri, 100.000 tekrar boyunca hesaplanan *RL* değerlerinin standart sapmasını göstermektedir.

4. GÜRBÜZLÜK ÇALIŞMALARI

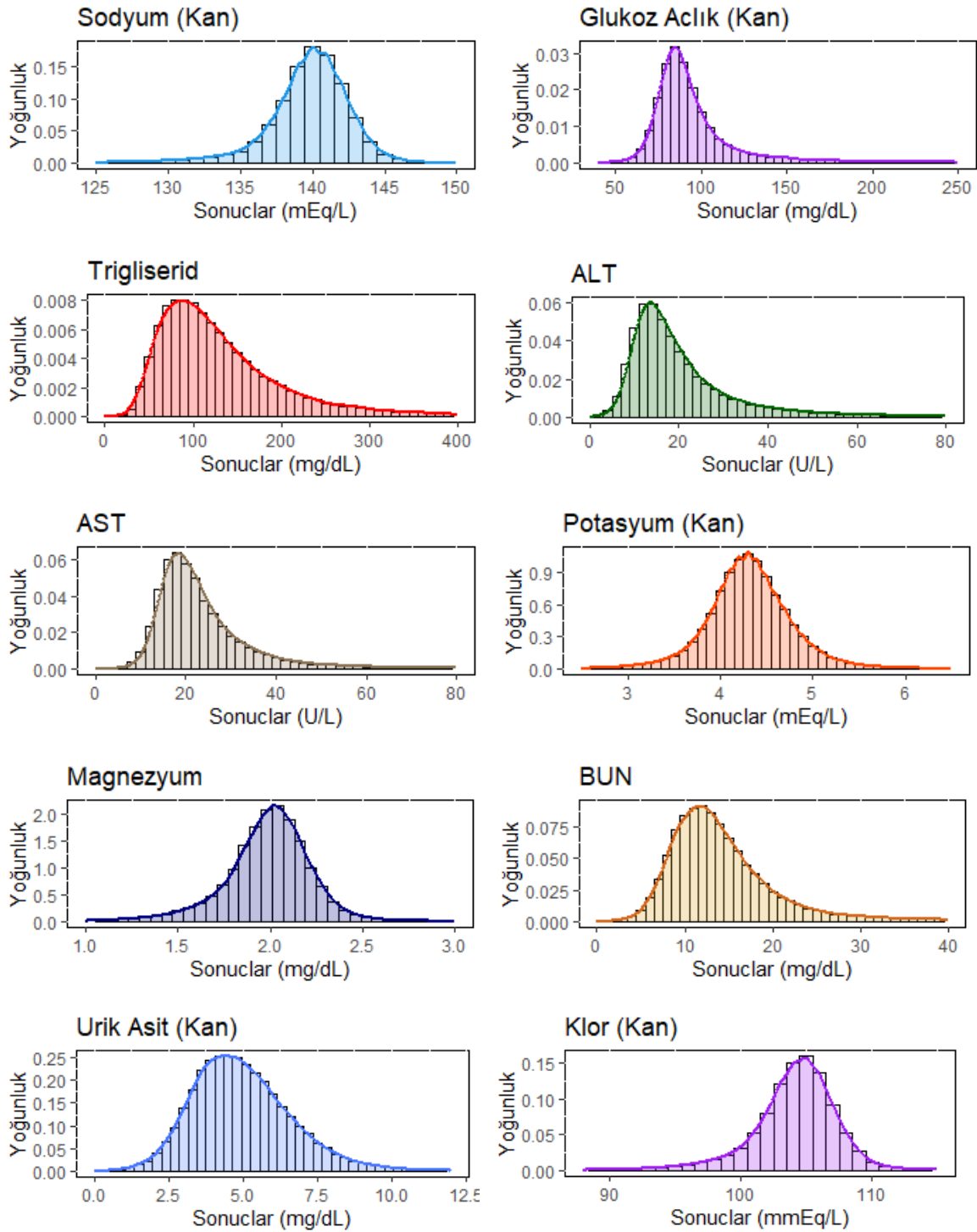
4.1. Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler

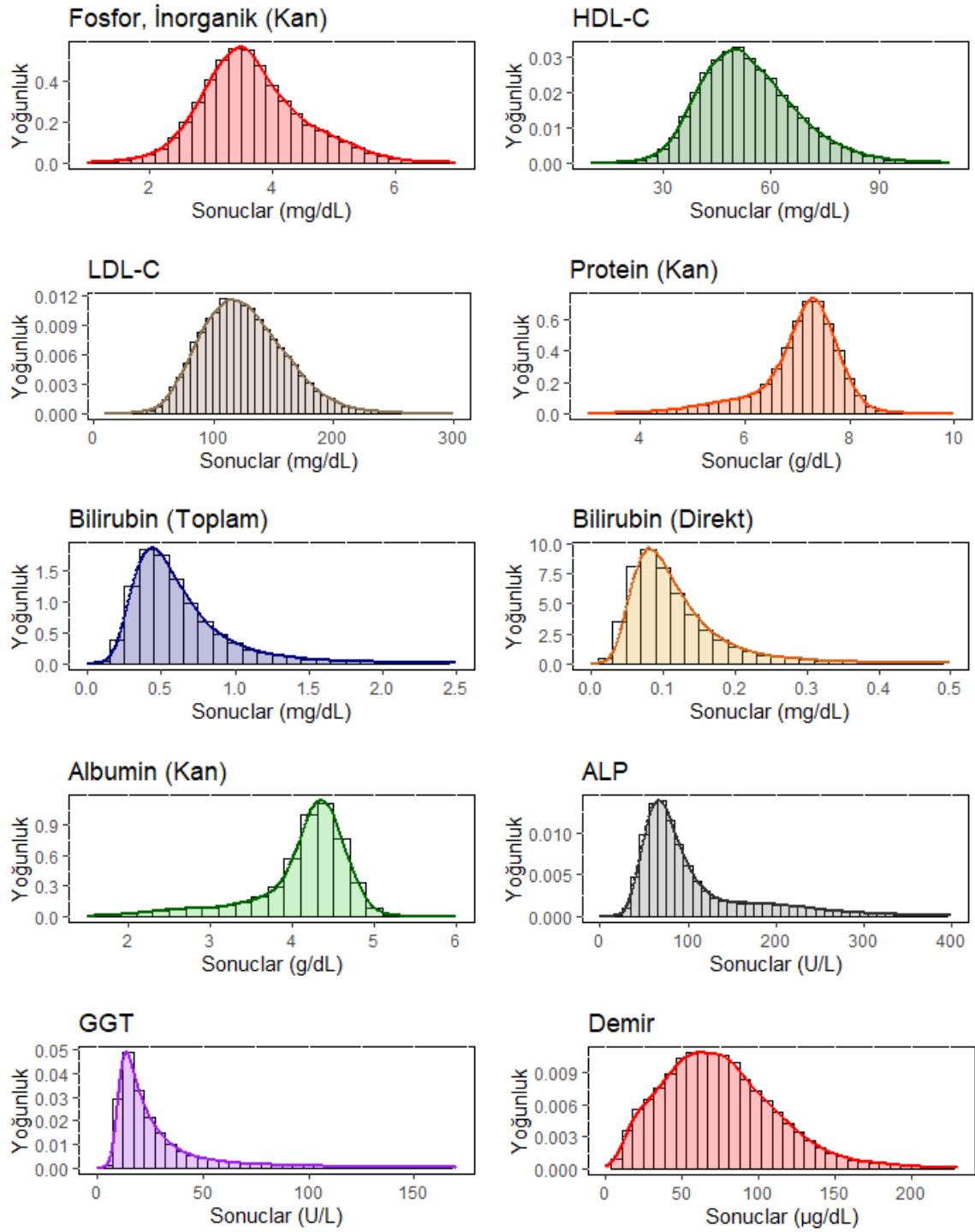
Bu bölümde; gözlemlerin Normal dağıldığı varsayımı ile tasarlanan MA ve MM kontrol grafiklerinin Normal dağılımdan farklı dağılımlarla üretilen gözlemler altında performansı incelenmiştir. Pratikte ölçümlerin dağılımının belirlenmesindeki ve bu dağılıma uygun bir tasarımın yapılmasındaki zorluklar dikkate alınarak özel bir model altında yapılabilecek bir tasarımın performansının genelleştirilip genelleştirilemeyeceği araştırılmıştır. Bu kapsamda bahse konu kontrol grafiklerinin farklı veri üreten süreçler için gürbüzlükleri çalışılmış ve uygulamada kullanılabilecek tasarım önerilerinde bulunulması amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Araştırma Etik Kurulunun 2023/07-36 sayılı izni ile Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Merkez Laboratuvarındaki hasta test sonuçlarına erişim sağlanmıştır. Erişim sağlanan test sonuçlarına ilişkin analizler Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Merkez Laboratuvarında Beckman Coulter AU5800 tam otomatik klinik biyokimya otomasyon sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler, Nucleus Tıbbi Bilgi Sistemi (v9.38.59, MONAD Yazılım ve Danışmanlık) kullanılarak elde edilmiştir. Araştırma ve İç/Dış Kalite Kontrol örneklerine ilişkin sonuçlar çıkarıldıktan sonra veriler anonimleştirilmiştir. Merkez Laboratuvarında hasta sonuçları, günlük kalibrasyonlardan sonra İç Kalite Kontrol sonuçları kontrol edilerek izlenmekte olup bu testler için ayrıca Dış Kalite Kontrol programı (Bio-Rad Laboratories External Quality Assurance Services (EQAS) Clinical Chemistry Monthly Program) aracılığıyla performans değerlendirmeleri yapılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan dönem boyunca, sonuçlar akran grubuna uygun olarak değerlendirilmiş ve tutarlılık göstermiştir.

Erişim sağlanan, 2023 yılı ilk on ayına ait hasta test sonuçlarından; “Sodyum (Kan)”, “Glukoz (Açlık) (Kan)”, “Trigliserid”, “Alanin Aminotransferaz (Alanine Transaminase, ALT)”, “Aspartat Aminotransferaz (Aspartate Aminotransferase, AST)”, “Potasyum (Kan)”, “Magnezyum”, “Üre Azotu (Kan) (Blood Urea Nitrogen, BUN)”, “Ürik Asit (Kan)”, “Klor (Kan)”, “Fosfor (İnorganik) (Kan)”, “Yüksek Yoğunluklu Lipoprotein Kolesterol (High Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-C)”, “Düşük Yoğunluklu Lipoprotein Kolesterol (Low Density Lipoprotein Cholesterol, LDL-C)”, “Protein (Toplam) (Kan)”, “Albumin (Kan)”, “Bilirubin (Toplam)”, “Bilirubin (Direkt)”, “Alkalin Fosfataz (Alkaline Phosphatase, ALP)”, “Gama Glutamil Transferaz (gamma glutamyl transferase, GGT)” ve

“Demir”den oluşan 20 analit için hastaların test sonuçlarının düzeltilmiş ampirik dağılımları Şekil 4.1’de verilmiştir.





Şekil 4.1. Hasta Test Sonuçlarının Dağılım Grafikleri

PBRTQC yöntemlerinin yaygın olarak uygulanmamasının ana nedenlerinden biri de uygun yöntemin ve bu yöntemle ilişkin tasarım parametrelerinin belirlenmesinin tıbbi laboratuvar personeli için zor olması ve uzmanlık gerektirmesidir. Şekil 4.1’de verilen test sonuçlarının dağılım grafiklerinden de görüldüğü üzere dağılımlar genellikle çarpık olduğundan test

sonuçlarının Normal dağıldığını varsaymak uygun olmayabilecektir. Bu kapsamda, her bir analit için bir dağılım tahmin etmek veya analitlerin dağılımlarını Normal dağılıma dönüştürmek ve uygun kontrol grafiği parametre ayarlarını belirlemek, istatistik eğitimi olmayan personel için genellikle zordur.

Burada yapılan gürbüzlük çalışmasında, MA ve MM kontrol grafiklerinin Standart Normal dağılım modeli altında tasarlandığı, ancak analitin gerçek dağılımının Normal dağılım olmadığı varsayılmış ve farklı özelliklere sahip dağılım modelleri altında çeşitli tasarım parametresi kombinasyonları karşılaştırılmıştır. Uygulamaya yönelik öneriler geliştirmek amacıyla normallik varsayımına karşı duyarsız olan tasarım parametresi kombinasyonları araştırılmıştır. Literatürde farklı kontrol grafikleri için gürbüzlük çalışmaları yapılmış olup, örneğin Borrer, Montgomery ve Runger (1999), Testik, Runger ve Borrer (2003) ve Human, Kritzingler ve Chakraborti (2011) EWMA kontrol grafiğinin normallik varsayımına karşı gürbüzlüğünü incelemişlerdir. Borrer, Montgomery ve Runger (1999) ve Testik, Runger ve Borrer (2003) EWMA kontrol grafiğinin gözlemlerin normallik varsayımına karşı duyarsız olduğu sonucuna varırken, Human, Kritzingler ve Chakraborti (2011) tarafından ise incelenen dağılımlar biraz daha genişletilmiş ve EWMA kontrol grafiğinin gürbüzlüğü ile ilgili bazı çekinceler ortaya koyulmuştur. Ancak MW kontrol grafikleri için bir gürbüzlük çalışması mevcut değildir.

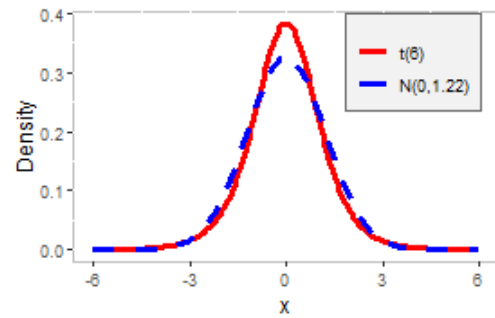
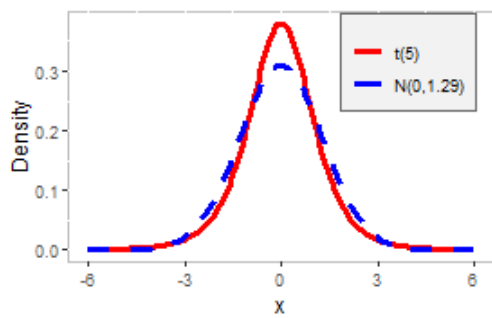
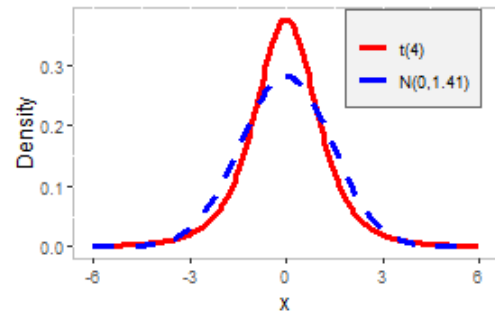
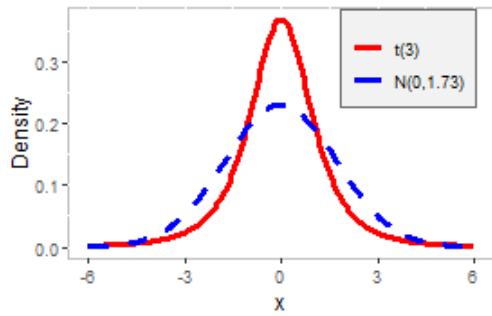
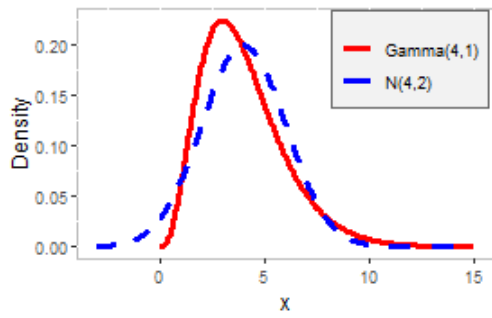
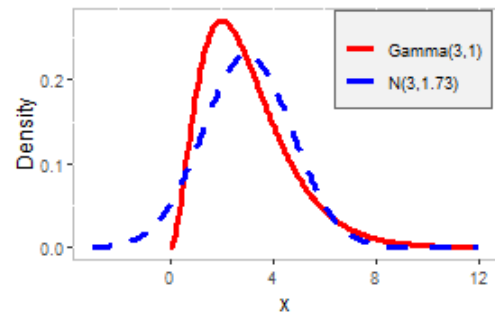
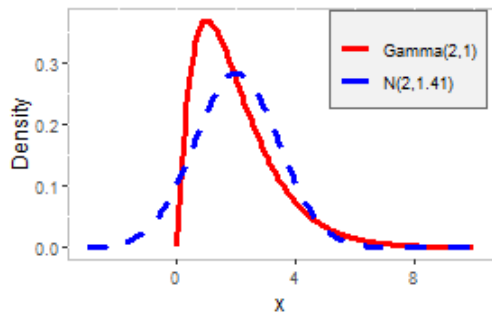
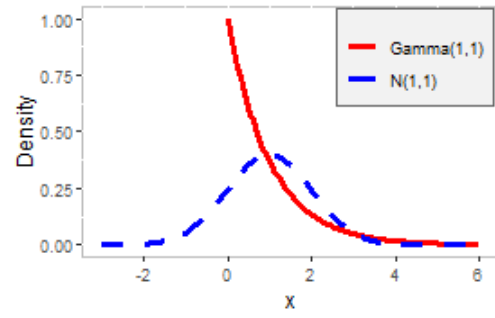
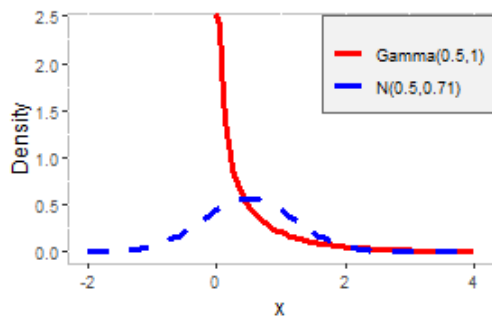
4.2. Yöntemler

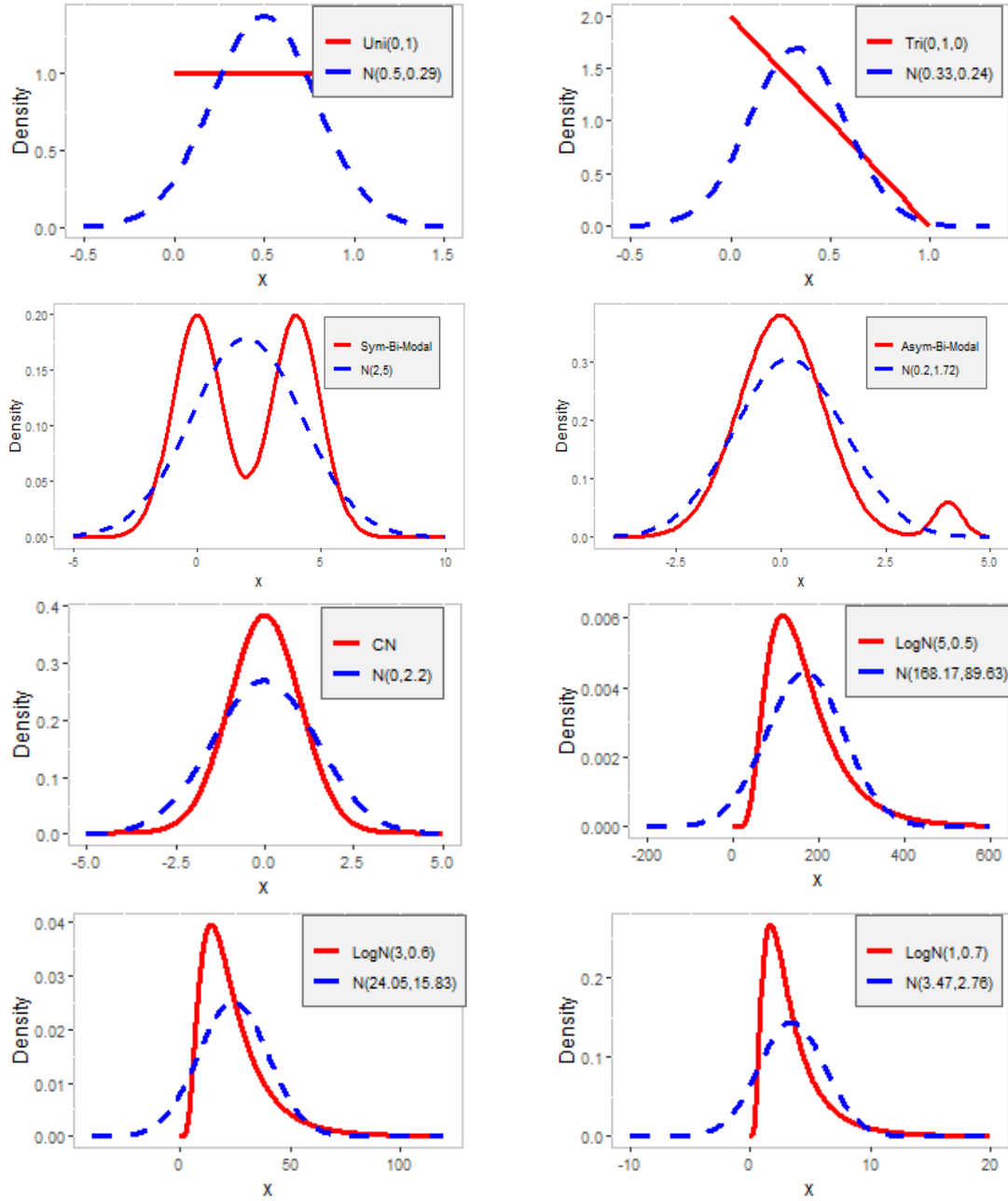
4.2.1. Çalışılan Dağılımlar

Gürbüzlük çalışmasında, Human, Kritzingler ve Chakraborti (2011) tarafından EWMA kontrol grafiği için incelenen dağılımlar kullanıştır. Bununla birlikte, Haeckel ve Wosniok (2010) tıbbi laboratuvarlarda bir analitin dağılımı bilinmiyorsa Log-normal dağılım modelinin kullanılmasını önermektedir ve bu doğrultuda Log-normal dağılım da çalışılan diğer dağılımlara ek olarak incelenmiştir. Gürbüzlük çalışmasında kullanılan dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonları, ortalamaları ve varyanslarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.2’de ise çalışmada incelenen dağılımların grafik ve parametreleri ile bu dağılımların ortalama ve varyanslarına karşılık gelen Normal dağılımların grafik ve parametreleri karşılaştırma amaçlı verilmiştir.

Çizelge 4.1. Gürbüzlük Çalışmasında Kullanılan Dağılımların Özellikleri

Dağılım	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	Ortalama	Varyans
Standart Normal $X \sim N(0, 1)$	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$	0	1
Düzensiz (Uniform) $X \sim Uni(a, b)$	$f(x) = \frac{1}{b-a}, a < x < b$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$
Üçgensel (Triangular) $X \sim Tri(a, b, c)$	$f(x) = \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, a \leq x < c$ $f(x) = \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}, c \leq x \leq b$	$\frac{a+b+c}{3}$	$\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}$
t (Student t) $X \sim t(v)$	$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)\sqrt{v\pi}} \left(1 + \frac{x^2}{v}\right)^{-(v+1)/2}$	0	$\frac{v}{v-2}, v \geq 3$
Gamma $X \sim Gamma(\alpha, \beta)$	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha}, x > 0$	$\alpha\beta$	$\alpha\beta^2$
Simetrik Bi-Modal $X \sim Sym Bi$ - Modal(μ, σ^2)	$f(x) = \frac{0.5}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} + \frac{0.5}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} e^{-(x-\mu_2)^2/2\sigma_2^2}$	$0.5 + 0.5\mu_2$	$0.5 + 0.5(\mu_2^2 + \sigma_2^2) - \mu$
Asimetrik Bi-Modal $X \sim Asym Bi$ - Modal(μ, σ^2)	$f(x) = \frac{0.95}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} + \frac{0.05}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} e^{-(x-\mu_2)^2/2\sigma_2^2}$	$0.95 + 0.05\mu_2$	$0.95 + 0.05(\mu_2^2 + \sigma_2^2) - \mu$
Kontamine Normal $X \sim CN(\mu, \sigma^2)$	$f(x) = \frac{0.95}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} + \frac{0.05}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} e^{-x^2/2\sigma_2^2}$	0	$0.95 + 0.05\sigma_2^2$
Log-Normal $X \sim LogN(\mu, \sigma^2)$	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\log(x)-\mu)^2/2\sigma^2}$	$e^{\mu+\sigma^2/2}$	$e^{2\mu+\sigma^2}(e^{\sigma^2} - 1)$





Şekil 4.2. Çalışmada Kullanılan Dağılımların Yoğunluk Grafikleri ile Karşılık Gelen Normal Dağılımın Grafiklerinin Karşılaştırması

Tez çalışmasında Gamma(4,1), Gamma(3,1), Gamma(2,1), Gamma(1,1), Gamma(0.5,1), t(6), t(5), t(4), t(3), Uni(0,1), Tri(0,1,0), Sym Bi-Modal, Asym Bi-Modal, CN, LogN(5,0.5), LogN(3,0.6), LogN(1,0.7) dağılımları ve parametreleri kullanılmış olup

- Simetrik bi-modal (Sym Bi-Modal) dağılım, $N(0,1)$ ve $N(4,1)$ dağılımlarının %50-%50 karışımından,

- Asimetrik bi-modal (Asym Bi-Modal) dağılım, $N(0,1)$ ve $N(4, \sigma = \frac{1}{3})$ dağılımlarının sırası ile %95–%5 karışımından,
- Kontamine normal (CN) dağılım ise $N(0,1)$ ve $N(0, \sigma = 5)$ dağılımlarının sırası ile %95–%5 karışımından

oluşmaktadır.

4.2.2. PBRTQC Parametreleri ve Kontrol Grafiği Tasarımı

Çalışmada 3. Bölümde detayları verilen MA ve MM kontrol grafikleri kullanılmıştır. Kontrol altındaki sürecin ortalama (μ_0) ve standart sapma (σ_0) parametrelerinin bilindiği varsayılmıştır. MA ve MM kontrol grafiklerinin kontrol limitlerinin parametresi olan L değerleri, Standart Normal dağılım modeli altında ve kararlı-durum $ARL_0 = 370$ değerini verecek şekilde blok boyutu bazında simülasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Kararlı-durum $ARL_0 = 370$ tasarım değerini veren L değerleri belirlenirken kararlı-durumun blok boyutuna ulaşılması ile başladığı varsayılmıştır. Böylece blok boyutuna ulaştıktan sonraki ilk gözlemden itibaren kontrol limitleri ile süreç kontrolüne başlanmıştır. Kesme limitlerinin parametresi olan L_t değerleri için 2, 3 ve 4 ile birlikte kesme limitinin kullanılmadığı durum (TL 'siz) ele alınmıştır. Kontrol limitlerinin hesaplanmasında 3. Bölümde detayları verilen alt ve üst kontrol limitleri formülleri kullanılırken, blok boyutu (n) olarak ise 10, 20, 30, 50 ve 100 değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte, kontrol dışı süreç ortalaması $\mu_1 = \mu_0 + \Delta$ olacak şekilde ve $\Delta = 1\sigma_0, 2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ olmak üzere 3 sapma büyüklüğü dikkate alınmıştır. Sapmalar ve kontrol limitleri ile sürecin kontrolü ise ilgili blok boyutuna ulaşıldıktan sonraki ilk gözlemden itibaren başlatılmıştır.

Simülasyonlarla kontrol grafiklerinin çeşitli parametre kombinasyonları çalışılmış, bu kapsamda Standart Normal dağılımdan gözlemlerin üretilmesiyle $ARL_0 = 370$ değerini veren MA kontrol grafiği tasarım parametreleri Çizelge 4.2'de, MM kontrol grafiği tasarım parametreleri ise Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. MA Kontrol Grafiğinin Parametre Değerleri ($ARL_0 = 370$)

L_t	n	L	n	L	n	L	n	L	n	L
TL'siz	10	2,746	20	2,559	30	2,431	50	2,248	100	1,973
4		2,746		2,559		2,431		2,248		1,973
3		2,704		2,524		2,397		2,216		1,946
2		2,383		2,232		2,120		1,960		1,711

Çizelge 4.3. MM Kontrol Grafiğinin Parametre Değerleri ($ARL_0 = 370$)

L_t	n	L	n	L	n	L	n	L	n	L
TL'siz	10	3,184	20	3,063	30	2,942	50	2,749	100	2,432
4		3,184		3,063		2,942		2,749		2,432
3		3,170		3,053		2,933		2,740		2,421
2		2,962		2,877		2,771		2,590		2,287

4.2.3. Performans Değerlendirme Yöntemleri

Çalışmada, MA ve MM kontrol grafiklerinin kararlı-durum ARL ve bu kapsamda MRL ve $SDRL$ gibi diğer performans metrikleri hesaplanmıştır.

Kontrol grafiğinin performanslarının karşılaştırılmasında, bu performans metriklerine ilave olarak Ortalama Hata Karesi (Mean Square Error, MSE), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE) ve Ortalama Hata (Mean Error, ME) gibi hata metrikleri de hesaplanmıştır. Bu hata metriklerinin formülleri aşağıda sunulmuştur:

$$MSE_{\delta,n} = \frac{\sum_{d \in D} (ARL_{\delta,n,d} - ARL_{\delta}^*)^2}{|D|}$$

$$MAE_{\delta,n} = \frac{\sum_{d \in D} |ARL_{\delta,n,d} - ARL_{\delta}^*|}{|D|}$$

$$ME_{\delta,n} = \frac{\sum_{d \in D} (ARL_{\delta,n,d} - ARL_{\delta}^*)}{|D|}$$

Burada, d , tez çalışmasında kullanılan dağılımlardan birini göstermektedir ve $d \in D = \{Gamma(4,1), Gamma(3,1), Gamma(2,1), Gamma(1,1), Gamma(0.5,1), t(6), t(5), t(4), t(3), Uni(0,1), Tri(0,1,0), Sym Bi-Modal, Asym Bi-Modal, CN, LogN(5,0.5), LogN(3,0.6), LogN(1,0.7)\}$, $|D|$ ise D kümesindeki eleman sayısını göstermektedir. Bununla birlikte, $ARL_{\delta,n,d}$ ise d dağılımının, n blok boyutunda ve sapma olup olmaması durumundaki (ARL_{δ} ($\delta = \{0,1\}$)) ARL değerini, ARL_{δ}^* ise karşılaştırma yapmak için kullanılan referans ARL_{δ} değerini göstermektedir.

4.3. Simülasyon Sonuçları

4.3.1. MA Kontrol Grafiği Sonuçları

Kesme limitlerinin kullanıldığı ve kullanılmadığı MA kontrol grafiğinin sürecin kontrol altında olduğu durumdaki performansı Çizelge 4.4 – Çizelge 4.7’de sırasıyla $L_t = 2, 3, 4$ ve TL 'siz durumlar için verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; genel itibariyle, $SDRL$ değerlerinin, karşılık gelen ARL_0 değerlerine yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, MRL değerleri ise karşılık gelen ARL_0 değerlerinden daha küçüktür ve bu da RL dağılımlarının sağa çarpık olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,5	370,5	257,0	370,3	373,1	256,0	370,5	376,5	255,0	370,5	380,3	254,0	370,2	391,3	248,0
Gamma(4,1)	398,3	397,8	277,0	253,8	257,9	175,0	200,9	206,5	137,0	149,8	163,4	98,0	92,2	119,2	45,0
Gamma(3,1)	479,9	480,7	332,0	267,9	270,6	185,0	199,9	205,7	137,0	142,4	155,4	94,0	82,5	108,9	36,0
Gamma(2,1)	706,3	708,9	489,0	298,2	300,0	206,0	204,1	210,6	140,0	133,1	146,8	86,0	69,5	94,8	26,0
Gamma(1,1)	3.175,1	3.172,6	2.202,0	432,3	435,1	300,0	225,6	230,3	155,0	119,2	131,9	77,0	50,0	72,5	13,0
Gamma(0.5,1)	36.136,1	36.136,9	24.992,0	1.297,2	1.296,4	899,0	335,5	341,2	230,0	123,0	134,8	80,0	37,3	56,9	9,0
t(6)	741,4	741,8	513,0	684,0	688,2	472,0	637,8	643,1	440,0	597,1	601,2	413,0	542,3	562,4	368,0
t(5)	909,7	910,3	630,0	812,6	817,9	563,0	752,0	754,5	519,0	684,8	690,9	474,0	609,0	626,7	415,0
t(4)	1.319,8	1.323,7	910,0	1.130,0	1.133,1	782,0	1.010,1	1.011,7	699,0	889,5	900,4	613,0	747,2	766,2	511,0
t(3)	3.442,7	3.431,0	2.381,0	2.730,6	2.736,7	1.890,0	2.274,0	2.260,5	1.583,0	1.785,2	1.795,9	1.232,0	1.288,8	1.312,4	886,0
Uni(0,1)	148,0	148,1	103,0	165,1	167,7	114,0	177,1	183,7	121,0	191,4	202,0	129,0	207,1	232,4	133,0
Tri(0,1,0)	257,2	258,0	178,0	210,4	213,5	145,0	190,5	196,3	130,0	166,5	179,0	111,0	131,1	158,4	77,0
Sym Bi-Modal	163,1	163,4	113,0	178,7	181,3	123,0	190,1	197,5	128,0	205,2	216,4	138,0	220,1	244,9	143,0
Asym Bi-Modal	618,1	620,2	427,0	334,2	337,1	231,0	233,5	240,0	160,0	145,8	160,8	94,0	71,4	96,2	27,0
CN	4.428,3	4.426,1	3.074,0	3.141,7	3.147,0	2.190,0	2.504,6	2.517,5	1.733,0	1.896,6	1.900,8	1.312,0	1.344,6	1.361,9	923,0
LogN(5,0.5)	949,5	952,3	655,0	356,3	359,0	246,0	230,8	236,2	158,0	142,3	154,4	94,0	71,0	96,6	27,0
LogN(3,0.6)	2.146,4	2.136,2	1.496,0	483,2	485,7	335,0	265,5	270,7	182,0	145,2	158,1	95,0	64,5	89,5	22,0
LogN(1,0.7)	7.265,8	7.287,5	5.011,0	758,8	760,9	526,0	338,5	343,9	233,0	159,3	172,4	105,0	61,1	85,9	20,0

Çizelge 4.5. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,7	371,5	256,0	370,6	373,7	257,0	370,5	376,6	254,0	370,7	383,0	253,0	370,0	393,2	248,0
Gamma(4,1)	665,2	667,3	462,0	568,0	571,7	392,0	511,2	516,3	353,0	449,6	456,7	311,0	383,4	407,3	258,0
Gamma(3,1)	785,0	781,6	545,0	639,1	643,1	441,0	550,7	554,3	384,0	460,2	470,5	316,0	380,0	405,2	254,0
Gamma(2,1)	1.052,2	1.048,5	731,0	797,8	795,6	552,0	636,1	638,8	440,0	489,3	499,4	335,0	361,4	386,4	242,0
Gamma(1,1)	1.941,4	1.947,3	1.344,0	1.545,7	1.547,3	1.072,0	930,6	932,7	642,0	543,9	554,9	373,0	315,6	343,5	207,0
Gamma(0,5,1)	3.942,5	3.951,5	2.735,5	6.517,5	6.506,3	4.501,0	2.152,7	2.165,1	1.485,0	674,9	689,5	463,0	265,2	292,2	172,0
t(6)	606,7	605,6	421,0	585,5	589,6	404,0	569,6	573,3	392,0	540,8	549,0	372,0	507,5	530,7	344,0
t(5)	713,6	715,8	497,0	690,6	695,0	477,0	660,8	668,9	455,0	610,4	620,7	420,0	567,3	589,0	385,0
t(4)	988,6	983,6	687,0	939,9	947,3	648,5	873,7	875,6	606,0	788,8	794,7	544,0	697,7	716,7	476,0
t(3)	2.302,7	2.305,2	1.582,0	2.150,2	2.139,8	1.501,0	1.912,4	1.915,6	1.326,0	1.575,8	1.591,4	1.090,0	1.233,1	1.250,7	848,0
Uni(0,1)	3.70,6	370,1	258,0	343,8	347,8	237,0	342,1	351,3	232,0	339,3	349,1	231,0	345,5	369,6	232,0
Tri(0,1,0)	364,5	366,9	252,0	348,2	351,5	241,0	344,4	352,9	235,0	345,5	356,4	236,0	349,7	375,1	233,0
Sym Bi-Modal	378,2	378,4	261,0	343,9	348,5	237,0	341,8	346,7	235,0	339,7	349,1	232,0	345,4	368,7	231,0
Asym Bi-Modal	651,3	651,3	449,0	588,9	589,3	408,0	515,3	520,8	355,0	422,2	433,3	289,0	330,5	356,4	220,0
CN	6.353,3	6.353,4	4.399,0	5.020,2	5.043,8	3.493,0	4.049,4	4.066,4	2.787,0	2.984,0	3.000,1	2.061,0	1.991,0	2.003,7	1373,0
LogN(5,0,5)	1.463,7	1.468,5	1.012,0	1.046,7	1.050,3	729,0	762,8	769,2	526,0	531,3	541,9	365,0	357,5	383,0	238,0
LogN(3,0,6)	2.306,9	2.294,9	1.610,0	1.655,4	1.653,3	1.147,0	1.026,8	1.029,2	711,0	597,7	606,4	411,0	338,7	366,4	226,0
LogN(1,0,7)	3.509,1	3.512,9	2.431,5	3.114,2	3.125,4	2.152,0	1.529,0	1.533,2	1.059,0	704,6	713,3	483,0	333,6	361,3	221,0

Çizelge 4.6. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,8	371,3	257,0	370,6	373,7	255,5	370,8	377,7	255,0	370,2	380,3	254,0	370,1	395,1	248,0
Gamma(4,1)	463,1	466,6	320,0	457,5	458,8	318,0	441,9	444,2	305,0	426,8	436,6	294,0	410,0	433,2	276,5
Gamma(3,1)	490,3	491,0	340,0	492,0	493,3	342,0	474,9	477,7	328,0	446,7	458,2	305,0	418,7	442,6	281,0
Gamma(2,1)	553,5	554,7	382,0	567,8	571,3	393,0	533,1	539,4	367,0	486,9	495,1	335,0	438,7	463,5	295,0
Gamma(1,1)	721,0	723,3	498,0	872,9	874,2	604,0	762,6	771,9	526,0	606,6	619,5	416,0	474,6	498,4	322,0
Gamma(0.5,1)	1.074,3	1.071,7	746,0	1.798,4	1.800,2	1.245,0	1.559,6	1.572,4	1.074,0	891,3	899,1	615,0	502,0	524,9	341,0
t(6)	443,5	445,6	307,0	457,9	460,1	316,0	458,5	465,5	317,0	449,9	461,9	308,0	434,8	457,7	294,0
t(5)	490,7	490,5	341,0	516,2	522,4	356,0	506,3	513,5	350,0	492,3	502,6	338,0	473,2	497,1	319,0
t(4)	616,6	617,8	427,0	645,6	646,2	446,0	634,3	638,7	437,0	602,8	612,7	415,0	560,6	584,3	381,0
t(3)	1.170,4	1.173,5	807,0	1.262,6	1.267,0	874,0	1.211,7	1.216,1	839,0	1.084,8	1.092,2	747,0	903,9	923,4	620,0
Uni(0,1)	423,0	423,0	294,0	376,7	380,5	259,5	371,4	375,4	255,0	366,3	379,1	250,0	367,7	391,5	246,0
Tri(0,1,0)	408,6	409,3	283,0	381,6	385,4	263,0	374,9	379,8	258,0	370,4	380,9	253,0	370,8	396,5	246,0
Sym Bi-Modal	430,2	430,3	298,0	377,1	378,5	261,0	370,4	376,1	255,0	366,2	377,5	249,0	367,1	393,3	246,0
Asym Bi-Modal	343,7	344,2	238,0	379,2	384,3	261,0	384,8	391,0	264,0	384,1	394,7	263,0	379,8	403,8	254,0
CN	2.136,4	2.128,5	1.481,0	2.292,0	2.285,9	1.589,0	2.137,8	2.139,3	1.485,0	1.786,8	1.802,5	1.230,0	1.365,4	1.385,2	941,0
LogN(5,0.5)	702,7	703,2	486,0	729,7	730,1	506,0	658,2	665,3	455,0	563,0	573,0	386,0	468,5	492,4	315,0
LogN(3,0.6)	895,9	896,5	619,0	1034,4	1038,0	717,0	876,9	883,0	607,0	681,6	694,2	468,0	499,7	527,2	336,0
LogN(1,0.7)	1.167,6	1.165,1	812,0	1.567,6	1.576,7	1.084,0	1.290,3	1.291,3	896,0	856,3	863,9	593,0	533,2	561,3	360,0

Çizelge 4.7. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,0	371,8	257,0	370,5	374,6	254,0	370,4	375,5	256,0	370,1	381,3	252,0	370,2	394,9	248,0
Gamma(4,1)	363,3	363,5	252,0	383,6	387,4	264,5	384,2	390,0	265,0	380,5	394,4	259,0	375,2	401,7	250,0
Gamma(3,1)	358,6	361,6	247,0	389,3	394,4	268,0	389,0	396,7	267,0	383,1	394,4	262,0	377,6	403,2	251,0
Gamma(2,1)	345,9	348,1	239,0	397,3	403,0	273,0	400,4	407,8	275,0	388,9	400,3	266,0	379,8	403,9	253,0
Gamma(1,1)	310,0	312,1	214,0	413,8	419,1	286,0	424,4	430,2	292,0	411,2	423,0	282,0	393,6	420,0	263,0
Gamma(0.5,1)	276,4	278,4	190,0	419,2	423,0	290,0	464,5	475,1	317,0	451,6	463,4	310,0	413,2	437,6	279,0
t(6)	325,3	326,8	224,0	364,0	365,6	252,0	374,1	382,7	255,0	378,3	388,9	259,0	378,4	400,4	255,0
t(5)	317,8	318,9	221,0	361,5	366,4	249,0	376,1	382,2	258,0	384,1	396,4	262,0	382,2	408,2	255,0
t(4)	308,4	309,3	214,0	366,1	369,7	253,0	387,3	395,1	266,0	394,2	406,8	269,0	394,8	418,7	266,0
t(3)	324,3	327,7	223,0	415,4	423,6	286,0	449,4	458,8	309,0	466,9	482,6	319,0	459,0	485,3	309,5
Uni(0,1)	422,7	421,3	293,0	373,1	376,2	258,0	368,8	375,4	253,0	366,2	376,7	250,0	366,2	391,3	245,0
Tri(0,1,0)	411,0	412,8	285,0	380,7	385,9	262,0	376,5	381,7	259,0	371,7	382,0	254,0	368,9	393,4	248,0
Sym Bi-Modal	430,0	430,1	298,0	377,8	379,5	261,0	369,1	374,5	253,0	367,3	380,2	250,0	368,7	393,2	246,0
Asym Bi-Modal	344,0	344,9	239,0	382,8	386,5	265,0	387,7	394,2	266,0	384,3	394,7	263,0	376,4	400,9	252,0
CN	229,7	231,3	158,0	326,1	332,2	224,0	371,0	380,5	254,0	401,9	415,7	275,0	408,1	435,0	274,0
LogN(5,0.5)	328,8	329,7	228,0	400,8	405,7	275,0	408,6	414,5	282,0	402,3	414,0	276,0	388,0	413,6	260,0
LogN(3,0.6)	310,1	311,9	215,0	408,1	412,2	282,0	430,3	438,1	297,0	420,9	434,2	289,0	398,8	425,6	267,0
LogN(1,0.7)	291,1	293,4	201,0	418,2	423,7	288,0	450,4	461,1	309,0	444,2	454,4	307,0	415,0	440,0	280,0

ARL_{δ}^* değerinin $ARL_{0,n,N(0,1)}(\approx 370)$ olarak belirlendiği ve süreçte herhangi bir sapma olmadığı durumdaki TL bazında hesaplanan MSE , MAE ve ME değerleri ise Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8’den de görüleceği üzere en düşük hata metrikleri kesme limitlerinin kullanılmadığı ve blok boyutunun $n = 20$ olduğu durumlarda elde edilmiştir. Blok boyutu $n = 10$ olduğunda ME değeri -34,9 gibi negatif bir değere sahip olup, bu da incelenen dağılımlar için ARL_0 değerlerinin ortalamasının tasarım $ARL_0 \approx 370$ değerinden daha küçük olduğunu göstermektedir. Bu durum da, süreçte beklenenden daha sık yanlış alarm olabileceği anlamına geldiğinden istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 4.8. Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda MA Kontrol Grafiğinin MSE , MAE ve ME Değerleri

Hata	n	$L_t = 2$	$L_t = 3$	$L_t = 4$	$TL'siz$
MSE	10	80.329.531,9	4.170.617,3	325.912,8	3.746,9
MAE	10	3.416,1	1.300,4	369,6	53,0
ME	10	3.352,1	1.299,7	366,4	-34,9
MSE	20	899.077,4	4.376.485,1	526.222,3	853,4
MAE	20	531,5	1220,4	465,2	24,0
ME	20	425,9	1211,5	465,2	16,4
MSE	30	533.198,2	1.285.420,4	395.214,7	1.856,0
MAE	30	410,6	681,0	396,8	30,6
ME	30	216,0	671,2	396,7	30,3
MSE	50	313.535,9	522.762,9	194.906,3	1.734,4
MAE	50	389,6	368,9	269,7	30,5
ME	50	81,1	358,6	268,8	29,7
MSE	100	174.112,1	209.272,1	83.342,3	934,7
MAE	100	350,9	207,5	158,1	21,4
ME	100	-35,5	165,4	157,5	20,6

Kesme limiti kullanılması durumunda ($L_t = 2, 3, 4$) ise, blok boyutu $n = 100$ olduğundaki hata metrikleri diğer blok boyutlarına göre daha düşüktür. Bununla birlikte, $n = 100$ olduğunda $L_t = 2$ durumundaki ME değeri yine negatif (-35,5) bir değere sahiptir. Bu durum özellikle, Çizelge 4.4’ten de görüleceği üzere, $L_t = 2$ ve $n = 100$ olduğunda dağılımların

9'unun ARL_0 değerinin 100'den küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Buradaki en küçük ARL_0 değeri ise 37,3 ile Gamma (0.5,1) dağılımına aittir.

Çizelge 4.4'teki ME değerinin pozitif olması, dağılımlar kullanılarak hesaplanan ARL_0 değerlerinin ortalamasının, tasarım değerinden ($ARL_0 \approx 370$) daha bk olduğunu göstermektedir. Örneğin, ARL_0 36.136,1; $SDRL$ 36.136,9 ve MRL 24.992,0 gibi bk değerler alabilmektedir. Normal Şartlarda ARL_0 değerinin bk olmasının daha iyi olduğu düŐünülse de, bunlara karşılık gelen ve sapma durumundaki performansını gösteren ARL_1 değerlerinin de yüksek olacağı göz ardı edilmemelidir.

Genel itibariyle, kontrol altındaki bir süreç için TL 'nin kullanılmadığı durumlar normallikten sapmalara karşı neredeyse duyarsız olup, en düşük hatalar $n = 20$ (ARL_0 değerlerinin minimum 326,1 ve maksimum 419,2 olduğu) ve $n = 100$ (ARL_0 değerlerinin minimum 366,2 ve maksimum 459,0 olduğu) olduğunda elde edilmiştir.

MA kontrol grafiğinin kontrol dışı durumdaki (süreçte sapma olması durumu) performansına yönelik ARL_1 , $SDRL$, ve MRL sonuçları ise izelge 4.9 – izelge 4.20'de verilmiştir. Bu kapsamda, $L_t = 2, 3, 4$, ve TL 'siz olduğu durumlar için; $\Delta = 1\sigma_0$ olduğundaki sonuçlar izelge 4.9 – izelge 4.12'de, $\Delta = 2\sigma_0$ olduğundaki sonuçlar izelge 4.13 – izelge 4.16'da, $\Delta = 3\sigma_0$ olduğundaki sonuçlar izelge 4.17 – izelge 4.20'de yer almaktadır. Genel itibariyle $SDRL$ değerleri, karşılık gelen ARL_1 değerlerinden daha küçük ve MRL değerleri ise karşılık gelen ARL_1 değerlerine yakındır. Bu da RL dağılımlarının simetriğe yakın olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.9. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	16,1	10,2	13,0	17,5	7,2	17,0	20,3	7,9	20,0	24,8	10,2	25,0	31,9	14,2	32,0
Gamma(4,1)	19,3	12,7	15,0	19,2	6,4	19,0	22,9	7,1	23,0	28,7	10,5	30,0	34,5	19,0	39,0
Gamma(3,1)	19,7	13,1	15,0	19,3	6,1	19,0	23,1	6,9	24,0	29,0	10,5	30,0	34,2	19,5	40,0
Gamma(2,1)	20,3	13,6	15,0	19,4	5,8	19,0	23,4	6,6	24,0	29,3	10,4	31,0	33,2	20,1	40,0
Gamma(1,1)	21,3	14,5	16,0	19,3	4,7	19,0	23,7	5,8	24,0	29,7	10,1	31,0	31,1	20,8	39,0
Gamma(0.5,1)	21,5	14,9	16,0	18,8	3,6	19,0	23,5	4,7	24,0	29,7	9,1	31,0	28,1	20,7	36,0
t(6)	14,1	7,9	12,0	16,1	5,8	16,0	18,9	6,7	19,0	23,2	8,6	23,0	30,3	12,1	30,0
t(5)	13,6	7,3	12,0	15,8	5,5	16,0	18,5	6,4	18,0	22,8	8,3	23,0	29,7	11,6	30,0
t(4)	12,8	6,4	11,0	15,2	5,0	15,0	17,9	5,9	18,0	22,0	7,6	22,0	28,7	10,7	29,0
t(3)	11,4	5,0	10,0	14,1	4,2	14,0	16,5	5,0	16,0	20,3	6,5	20,0	26,5	9,1	26,0
Uni(0,1)	21,2	16,3	16,0	19,7	10,4	19,0	21,8	10,2	22,0	25,7	12,9	26,0	31,0	18,2	31,0
Tri(0,1,0)	23,7	17,5	18,0	21,2	8,8	21,0	24,3	8,5	25,0	30,3	11,8	32,0	38,0	19,6	41,5
Sym Bi-Modal	36,9	33,1	27,0	32,5	25,9	24,0	32,1	23,0	27,0	34,1	21,0	33,0	39,9	24,8	39,0
Asym Bi-Modal	29,8	22,9	23,0	24,1	11,2	21,0	26,6	8,7	26,0	33,1	11,7	35,0	37,5	22,9	45,0
CN	21,2	15,1	16,0	18,2	6,9	17,0	20,5	6,4	20,0	24,9	8,0	25,0	31,8	11,5	32,0
LogN(5,0.5)	18,9	12,0	14,0	18,7	5,1	19,0	22,8	6,1	23,0	28,6	9,7	30,0	32,6	19,4	39,0
LogN(3,0.6)	18,6	11,8	14,0	18,4	4,5	18,0	22,6	5,6	23,0	28,6	9,2	30,0	31,9	19,2	39,0
LogN(1,0.7)	18,1	11,3	14,0	18,1	4,0	18,0	22,3	5,0	23,0	28,4	8,5	30,0	31,2	18,9	38,0

Çizelge 4.10. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	10,7	5,9	9,0	12,3	4,8	12,0	14,3	5,7	14,0	16,9	7,4	17,0	20,7	10,3	21,0
Gamma(4,1)	12,8	7,7	10,0	14,0	4,8	14,0	16,5	5,6	17,0	20,2	7,4	21,0	26,1	10,9	27,0
Gamma(3,1)	13,2	8,0	11,0	14,2	4,8	14,0	16,8	5,5	17,0	20,7	7,4	21,0	26,9	10,9	28,0
Gamma(2,1)	13,7	8,4	11,0	14,6	4,7	15,0	17,3	5,4	18,0	21,5	7,2	22,0	28,1	11,0	29,0
Gamma(1,1)	15,0	9,6	11,0	15,2	4,3	15,0	18,3	5,1	19,0	23,0	6,8	23,0	30,4	11,1	32,0
Gamma(0.5,1)	16,7	11,2	12,0	15,8	3,8	16,0	19,1	4,5	19,0	24,4	6,2	25,0	32,5	11,3	34,0
t(6)	10,9	5,8	10,0	12,7	4,6	13,0	14,7	5,5	15,0	17,7	7,0	18,0	22,0	9,9	22,0
t(5)	10,9	5,7	10,0	12,7	4,5	13,0	14,8	5,3	15,0	17,7	6,9	18,0	22,2	9,7	22,0
t(4)	10,9	5,5	10,0	12,8	4,3	13,0	14,8	5,1	15,0	17,8	6,6	18,0	22,4	9,4	22,0
t(3)	10,8	5,0	10,0	12,7	3,8	13,0	14,8	4,6	15,0	17,8	6,0	18,0	22,4	8,4	22,0
Uni(0,1)	9,6	5,2	9,0	11,4	4,5	11,0	13,1	5,4	13,0	15,6	7,0	16,0	18,9	9,7	19,0
Tri(0,1,0)	11,7	7,1	10,0	12,9	5,1	13,0	14,9	6,0	15,0	17,7	7,8	18,0	21,5	10,9	22,0
Sym Bi-Modal	39,6	35,6	29,0	32,1	24,5	24,0	31,1	20,4	26,0	32,7	17,9	32,0	39,3	21,6	39,0
Asym Bi-Modal	26,5	21,3	20,0	20,6	10,2	19,0	22,3	8,0	22,0	27,4	9,6	28,0	35,7	14,8	37,0
CN	25,4	19,4	19,0	18,8	7,7	18,0	20,7	6,3	21,0	24,8	7,7	25,0	31,4	11,0	31,0
LogN(5,0.5)	13,8	8,4	11,0	14,7	4,4	15,0	17,5	5,2	18,0	21,9	6,9	22,0	28,8	10,8	30,0
LogN(3,0.6)	14,4	8,8	11,0	15,0	4,2	15,0	17,9	4,9	18,0	22,6	6,6	23,0	29,9	10,7	31,0
LogN(1,0.7)	14,7	9,1	11,0	15,1	3,9	15,0	18,2	4,6	18,0	23,0	6,2	23,0	30,8	10,5	32,0

Çizelge 4.11. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	10,0	5,4	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	13,0	15,9	7,0	16,0	19,3	9,7	19,0
Gamma(4,1)	10,9	6,2	9,0	12,3	4,6	12,0	14,3	5,4	14,0	17,1	7,0	17,0	21,2	9,9	22,0
Gamma(3,1)	11,1	6,4	9,0	12,4	4,5	13,0	14,5	5,4	15,0	17,4	7,0	18,0	21,7	9,9	22,0
Gamma(2,1)	11,4	6,7	10,0	12,7	4,4	13,0	14,8	5,3	15,0	17,9	7,0	18,0	22,5	9,9	23,0
Gamma(1,1)	12,2	7,5	10,0	13,2	4,3	13,0	15,5	5,1	16,0	19,0	6,7	19,0	24,4	9,8	25,0
Gamma(0.5,1)	13,4	8,5	10,0	13,7	4,0	14,0	16,4	4,8	17,0	20,4	6,3	21,0	26,8	9,6	28,0
t(6)	10,2	5,4	9,0	11,9	4,5	12,0	13,8	5,3	14,0	16,4	6,9	16,0	20,0	9,7	20,0
t(5)	10,2	5,3	9,0	12,0	4,4	12,0	13,8	5,3	14,0	16,5	6,8	17,0	20,2	9,5	20,0
t(4)	10,3	5,2	9,0	12,1	4,3	12,0	14,0	5,1	14,0	16,7	6,6	17,0	20,5	9,3	21,0
t(3)	10,4	5,0	9,0	12,2	3,9	12,0	14,1	4,7	14,0	16,9	6,1	17,0	20,9	8,6	21,0
Uni(0,1)	9,9	5,3	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,8	7,0	16,0	19,3	9,7	19,0
Tri(0,1,0)	10,1	5,7	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	13,0	15,9	7,0	16,0	19,4	9,7	20,0
Sym Bi-Modal	42,1	37,9	30,0	33,3	25,6	25,0	31,8	21,1	27,0	33,4	18,1	32,0	39,8	21,7	40,0
Asym Bi-Modal	17,6	13,5	13,0	16,0	7,8	15,0	17,6	7,3	18,0	20,9	9,1	21,0	25,6	13,0	26,0
CN	24,5	19,0	18,0	18,3	7,7	17,0	20,1	6,5	20,0	24,0	8,0	24,0	30,2	11,4	30,0
LogN(5,0.5)	11,7	6,8	10,0	12,9	4,3	13,0	15,2	5,2	15,0	18,5	6,8	19,0	23,6	9,7	24,0
LogN(3,0.6)	12,1	7,1	10,0	13,2	4,2	13,0	15,6	5,0	16,0	19,2	6,5	19,0	24,7	9,6	25,0
LogN(1,0.7)	12,5	7,4	10,0	13,4	4,0	14,0	15,9	4,8	16,0	19,7	6,3	20,0	25,8	9,4	26,0

Çizelge 4.12. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	9,9	5,3	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	13,0	15,8	7,0	16,0	19,2	9,7	19,0
Gamma(4,1)	10,1	5,8	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	14,0	15,9	6,9	16,0	19,4	9,7	20,0
Gamma(3,1)	10,2	5,9	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	14,0	15,9	6,9	16,0	19,4	9,6	20,0
Gamma(2,1)	10,3	6,1	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	14,0	15,9	6,9	16,0	19,4	9,7	20,0
Gamma(1,1)	10,5	6,4	9,0	11,6	4,4	12,0	13,5	5,4	14,0	16,0	6,9	16,0	19,5	9,7	20,0
Gamma(0.5,1)	10,8	6,9	9,0	11,6	4,4	12,0	13,5	5,3	14,0	16,0	6,9	16,0	19,6	9,6	20,0
t(6)	9,9	5,3	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,8	6,9	16,0	19,2	9,7	19,0
t(5)	9,8	5,2	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,8	6,9	16,0	19,2	9,7	19,0
t(4)	9,8	5,1	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,8	6,9	16,0	19,2	9,7	19,0
t(3)	9,8	4,9	9,0	11,5	4,3	12,0	13,3	5,2	13,0	15,8	6,7	16,0	19,3	9,5	19,0
Uni(0,1)	9,9	5,4	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,8	7,0	16,0	19,2	9,7	19,0
Tri(0,1,0)	10,1	5,7	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	13,0	15,9	7,0	16,0	19,3	9,7	20,0
Sym Bi-Modal	42,2	37,5	31,0	33,3	25,6	25,0	31,8	21,0	27,0	33,4	18,1	32,0	40,0	21,7	40,0
Asym Bi-Modal	17,8	13,6	13,0	16,0	7,8	15,0	17,6	7,3	18,0	20,9	9,2	21,0	25,6	12,9	26,0
CN	17,0	13,4	13,0	14,9	7,2	15,0	16,5	7,1	17,0	19,5	8,9	20,0	23,7	12,4	24,0
LogN(5,0.5)	10,3	6,1	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,4	14,0	16,0	6,9	16,0	19,5	9,7	20,0
LogN(3,0.6)	10,4	6,2	9,0	11,7	4,4	12,0	13,5	5,3	14,0	16,0	6,9	16,0	19,6	9,7	20,0
LogN(1,0.7)	10,6	6,4	9,0	11,7	4,4	12,0	13,5	5,3	14,0	16,0	6,9	16,0	19,6	9,6	20,0

Çizelge 4.13. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	13,6	5,4	13,0	18,1	7,2	18,0	21,2	8,6	21,0	25,8	10,9	26,0	32,9	14,7	33,0
Gamma(4,1)	11,8	4,0	12,0	16,7	5,4	16,0	20,3	6,6	20,0	25,6	9,1	26,0	31,2	15,7	35,0
Gamma(3,1)	11,6	3,8	11,0	16,4	5,1	16,0	20,0	6,3	20,0	25,2	8,8	26,0	30,4	15,7	34,0
Gamma(2,1)	11,2	3,5	11,0	15,9	4,8	16,0	19,5	5,9	19,0	24,7	8,4	25,0	28,9	15,5	33,0
Gamma(1,1)	10,3	3,0	10,0	14,8	4,0	15,0	18,4	5,0	18,0	23,4	7,4	24,0	25,9	15,0	31,0
Gamma(0.5,1)	9,3	2,6	9,0	13,5	3,3	13,0	16,9	4,0	17,0	21,8	6,1	22,0	22,4	13,8	27,0
t(6)	13,2	5,2	13,0	17,6	6,8	17,0	20,7	8,1	20,0	25,3	10,0	25,0	32,6	13,5	32,0
t(5)	13,1	5,1	13,0	17,4	6,6	17,0	20,5	7,8	20,0	24,9	9,8	25,0	32,3	13,1	32,0
t(4)	12,8	4,9	12,0	17,1	6,4	17,0	20,0	7,5	20,0	24,4	9,3	24,0	31,6	12,5	31,0
t(3)	12,1	4,6	12,0	16,1	5,8	16,0	18,9	6,8	18,0	22,9	8,3	22,0	29,6	11,1	29,0
Uni(0,1)	13,5	5,5	13,0	17,7	7,8	18,0	20,4	9,4	20,0	24,1	12,1	24,0	28,8	16,5	29,0
Tri(0,1,0)	12,2	4,3	12,0	17,1	5,9	17,0	20,5	7,3	21,0	25,6	9,8	26,0	32,4	15,3	35,0
Sym Bi-Modal	19,5	14,7	15,0	19,0	10,4	18,0	20,9	10,0	21,0	24,7	12,4	25,0	30,0	17,4	30,0
Asym Bi-Modal	10,8	3,1	11,0	15,4	4,1	15,0	19,0	5,2	19,0	24,3	7,8	25,0	28,9	15,0	34,0
CN	9,1	2,7	9,0	12,1	3,6	12,0	14,2	4,4	14,0	17,3	5,6	17,0	22,3	7,8	22,0
LogN(5,0.5)	10,9	3,4	11,0	15,6	4,6	15,0	19,1	5,6	19,0	24,3	8,0	25,0	28,5	15,1	33,0
LogN(3,0.6)	10,4	3,2	10,0	14,9	4,2	15,0	18,4	5,1	18,0	23,5	7,3	24,0	27,2	14,5	32,0
LogN(1,0.7)	9,9	2,9	10,0	14,2	3,8	14,0	17,6	4,6	17,0	22,7	6,6	23,0	26,1	13,9	31,0

Çizelge 4.14. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	6,4	2,3	6,0	8,4	3,1	8,0	9,7	3,8	10,0	11,4	4,9	11,0	13,9	6,7	14,0
Gamma(4,1)	6,7	2,1	7,0	8,9	2,9	9,0	10,5	3,6	11,0	12,9	4,6	13,0	16,7	6,6	17,0
Gamma(3,1)	6,7	2,1	7,0	9,0	2,9	9,0	10,7	3,5	11,0	13,1	4,5	13,0	17,1	6,6	17,0
Gamma(2,1)	6,7	2,0	7,0	9,1	2,8	9,0	10,8	3,4	11,0	13,4	4,4	14,0	17,7	6,4	18,0
Gamma(1,1)	6,8	1,9	7,0	9,2	2,6	9,0	11,1	3,1	11,0	14,0	4,1	14,0	18,9	6,3	19,0
Gamma(0.5,1)	6,7	1,7	7,0	9,3	2,3	9,0	11,3	2,8	11,0	14,5	3,6	15,0	19,7	6,1	21,0
t(6)	6,2	2,1	6,0	8,1	2,9	8,0	9,4	3,5	9,0	11,3	4,4	11,0	14,1	6,1	14,0
t(5)	6,2	2,0	6,0	8,0	2,8	8,0	9,3	3,4	9,0	11,2	4,3	11,0	14,1	5,9	14,0
t(4)	6,0	1,9	6,0	7,9	2,6	8,0	9,2	3,2	9,0	11,0	4,0	11,0	14,0	5,6	14,0
t(3)	5,8	1,7	6,0	7,6	2,3	7,0	8,8	2,8	9,0	10,6	3,5	11,0	13,5	4,9	13,0
Uni(0,1)	7,1	2,6	7,0	9,3	3,6	9,0	10,6	4,3	11,0	12,5	5,5	13,0	15,2	7,6	15,0
Tri(0,1,0)	6,9	2,4	7,0	8,9	3,4	9,0	10,3	4,1	10,0	12,2	5,2	12,0	14,7	7,2	15,0
Sym Bi-Modal	11,5	7,0	10,0	12,8	5,4	13,0	14,6	6,1	15,0	17,3	7,8	17,0	21,1	10,9	21,0
Asym Bi-Modal	7,5	2,2	8,0	10,2	3,1	10,0	12,1	3,8	12,0	15,1	5,0	15,0	19,9	7,5	21,0
CN	7,4	1,9	7,0	9,7	2,6	10,0	11,4	3,2	11,0	13,8	4,1	14,0	17,7	5,8	18,0
LogN(5,0.5)	6,7	1,9	7,0	9,0	2,6	9,0	10,8	3,2	11,0	13,5	4,2	14,0	17,9	6,2	18,0
LogN(3,0.6)	6,6	1,8	7,0	9,0	2,5	9,0	10,8	3,0	11,0	13,7	3,9	14,0	18,4	6,0	19,0
LogN(1,0.7)	6,6	1,7	7,0	9,0	2,4	9,0	10,8	2,8	11,0	13,8	3,7	14,0	18,7	5,8	19,0

Çizelge 4.15. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	5,0	1,7	5,0	6,5	2,3	6,0	7,5	2,8	7,0	8,8	3,7	9,0	10,6	5,0	11,0
Gamma(4,1)	5,3	1,7	5,0	6,9	2,4	7,0	8,1	2,9	8,0	9,6	3,8	10,0	11,9	5,2	12,0
Gamma(3,1)	5,4	1,7	5,0	7,0	2,4	7,0	8,1	2,9	8,0	9,7	3,7	10,0	12,2	5,3	12,0
Gamma(2,1)	5,4	1,7	6,0	7,1	2,4	7,0	8,3	2,9	8,0	10,0	3,7	10,0	12,6	5,2	13,0
Gamma(1,1)	5,6	1,6	6,0	7,4	2,3	7,0	8,7	2,8	9,0	10,6	3,6	11,0	13,7	5,2	14,0
Gamma(0.5,1)	5,7	1,5	6,0	7,7	2,1	8,0	9,1	2,6	9,0	11,3	3,4	11,0	15,0	4,9	15,0
t(6)	5,1	1,6	5,0	6,6	2,3	7,0	7,6	2,8	8,0	9,0	3,6	9,0	11,0	5,0	11,0
t(5)	5,1	1,6	5,0	6,6	2,3	7,0	7,6	2,8	8,0	9,0	3,5	9,0	11,1	4,9	11,0
t(4)	5,1	1,6	5,0	6,6	2,2	7,0	7,7	2,7	8,0	9,1	3,5	9,0	11,2	4,8	11,0
t(3)	5,1	1,4	5,0	6,6	2,0	7,0	7,7	2,5	8,0	9,1	3,2	9,0	11,4	4,4	11,0
Uni(0,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Tri(0,1,0)	5,2	1,7	5,0	6,7	2,4	7,0	7,7	3,0	8,0	9,1	3,8	9,0	11,0	5,2	11,0
Sym Bi-Modal	11,7	7,2	10,0	12,9	5,4	13,0	14,8	6,0	15,0	17,5	7,8	18,0	21,3	10,9	21,0
Asym Bi-Modal	6,3	2,0	6,0	8,1	2,9	8,0	9,4	3,6	10,0	11,1	4,6	11,0	13,5	6,4	14,0
CN	7,2	1,9	7,0	9,5	2,7	9,0	11,0	3,3	11,0	13,2	4,3	13,0	16,7	6,0	17,0
LogN(5,0.5)	5,5	1,6	6,0	7,2	2,3	7,0	8,5	2,8	9,0	10,3	3,6	10,0	13,2	5,1	13,0
LogN(3,0.6)	5,5	1,6	6,0	7,4	2,2	7,0	8,7	2,7	9,0	10,6	3,5	11,0	13,8	5,0	14,0
LogN(1,0.7)	5,6	1,5	6,0	7,4	2,1	8,0	8,8	2,6	9,0	10,9	3,4	11,0	14,4	4,9	15,0

Çizelge 4.16. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Gamma(4,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Gamma(3,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Gamma(2,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	9,0	10,2	4,8	10,0
Gamma(1,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,4	9,0	10,2	4,8	10,0
Gamma(0.5,1)	4,8	1,5	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,4	9,0	10,3	4,8	10,0
t(6)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
t(5)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
t(4)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
t(3)	4,8	1,5	5,0	6,2	2,1	6,0	7,1	2,6	7,0	8,3	3,4	8,0	10,1	4,7	10,0
Uni(0,1)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Tri(0,1,0)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Sym Bi-Modal	11,7	7,2	10,0	12,9	5,4	13,0	14,8	6,1	15,0	17,5	7,8	17,0	21,3	10,9	21,0
Asym Bi-Modal	6,2	2,0	6,0	8,1	2,9	8,0	9,3	3,5	9,0	11,1	4,6	11,0	13,5	6,4	14,0
CN	6,1	2,2	6,0	7,7	3,0	8,0	8,8	3,7	9,0	10,4	4,7	10,0	12,5	6,3	12,0
LogN(5,0.5)	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,4	9,0	10,2	4,8	10,0
LogN(3,0.6)	4,8	1,5	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,4	9,0	10,2	4,8	10,0
LogN(1,0.7)	4,8	1,5	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,4	9,0	10,3	4,8	10,0

Çizelge 4.17. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	34,8	16,7	33,0	45,6	21,3	44,0	53,2	24,8	51,0	63,2	30,2	61,0	78,0	39,9	76,0
Gamma(4,1)	36,2	16,6	34,0	50,2	21,0	48,0	60,5	24,7	59,0	75,0	31,2	74,0	88,7	49,6	96,0
Gamma(3,1)	37,6	17,3	35,0	52,2	21,7	50,0	63,3	25,5	61,0	78,7	32,7	78,0	91,2	52,7	99,0
Gamma(2,1)	42,4	19,7	40,0	59,3	24,6	57,0	71,9	28,5	69,0	89,7	36,9	89,0	100,5	61,3	111,0
Gamma(1,1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gamma(0.5,1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t(6)	43,8	20,8	41,0	57,4	26,2	55,0	66,5	30,2	64,0	79,3	36,7	77,0	98,2	48,0	96,0
t(5)	46,8	22,2	44,0	61,0	27,8	58,0	70,6	32,0	68,0	84,4	38,6	81,0	104,6	50,5	102,0
t(4)	52,2	24,8	49,0	68,3	30,8	65,0	79,0	35,4	76,0	94,0	42,6	91,0	116,5	55,1	113,0
t(3)	67,8	32,4	63,0	88,4	39,4	84,0	102,5	45,1	98,0	121,6	53,3	117,0	150,4	68,2	146,0
Uni(0,1)	23,3	11,7	22,0	30,4	15,2	29,0	34,9	17,8	34,0	41,0	21,9	40,0	48,7	29,0	48,0
Tri(0,1,0)	26,6	12,5	25,0	36,4	16,1	35,0	43,5	18,8	42,0	54,0	23,5	53,0	66,8	34,3	69,0
Sym Bi-Modal	19,9	13,6	16,0	20,2	8,7	20,0	23,3	10,2	24,0	27,8	13,4	28,0	33,6	18,9	34,0
Asym Bi-Modal	15,6	5,6	15,0	22,1	7,3	22,0	27,2	8,7	27,0	34,5	12,0	35,0	40,2	22,0	46,0
CN	12,3	4,6	12,0	16,2	5,9	16,0	18,9	6,9	18,0	22,8	8,4	22,0	29,1	11,2	29,0
LogN(5,0.5)	49,4	23,0	46,0	68,9	28,5	66,0	83,6	32,9	81,0	104,4	42,3	103,0	117,7	70,9	130,0
LogN(3,0.6)	71,6	33,9	67,0	100,4	41,9	96,0	122,1	47,9	118,0	153,6	61,0	151,0	168,6	105,3	188,0
LogN(1,0.7)	171,8	83,2	160,0	240,0	101,5	228,0	293,4	115,6	282,0	370,1	145,4	363,0	403,4	255,2	449,0

Çizelge 4.18. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	8,7	3,9	8,0	11,1	5,0	11,0	12,8	5,8	12,0	15,1	7,1	15,0	18,5	9,4	18,0
Gamma(4,1)	7,6	3,1	7,0	10,0	4,0	10,0	11,8	4,6	11,0	14,4	5,7	14,0	18,6	7,8	19,0
Gamma(3,1)	7,5	3,0	7,0	9,9	3,8	10,0	11,7	4,5	11,0	14,3	5,6	14,0	18,7	7,6	19,0
Gamma(2,1)	7,2	2,8	7,0	9,7	3,6	9,0	11,5	4,2	11,0	14,2	5,2	14,0	18,8	7,2	19,0
Gamma(1,1)	6,8	2,5	7,0	9,2	3,2	9,0	11,0	3,7	11,0	13,9	4,6	14,0	18,7	6,5	19,0
Gamma(0.5,1)	6,3	2,1	6,0	8,6	2,7	8,0	10,4	3,1	10,0	13,3	3,8	13,0	18,3	5,8	19,0
t(6)	8,6	3,8	8,0	11,2	4,8	11,0	12,9	5,6	12,0	15,3	6,8	15,0	19,0	8,9	19,0
t(5)	8,6	3,8	8,0	11,1	4,7	11,0	12,8	5,5	12,0	15,3	6,7	15,0	19,0	8,8	19,0
t(4)	8,5	3,7	8,0	11,0	4,6	11,0	12,7	5,3	12,0	15,2	6,5	15,0	19,0	8,5	19,0
t(3)	8,3	3,5	8,0	10,7	4,4	10,0	12,5	5,0	12,0	14,8	6,0	14,0	18,7	7,8	18,0
Uni(0,1)	8,8	3,9	8,0	11,4	5,0	11,0	13,1	5,9	13,0	15,4	7,3	15,0	18,6	9,7	18,0
Tri(0,1,0)	7,6	3,3	7,0	9,8	4,3	9,0	11,3	5,0	11,0	13,3	6,2	13,0	16,0	8,2	16,0
Sym Bi-Modal	7,2	2,8	7,0	9,2	3,4	9,0	10,6	4,2	11,0	12,5	5,5	13,0	15,2	7,6	15,0
Asym Bi-Modal	6,2	2,0	6,0	8,3	2,7	8,0	9,9	3,2	10,0	12,4	4,2	12,0	16,5	6,0	17,0
CN	5,8	1,6	6,0	7,6	2,2	7,0	8,9	2,6	9,0	10,7	3,3	11,0	13,9	4,6	14,0
LogN(5,0.5)	7,2	2,7	7,0	9,6	3,5	9,0	11,5	4,1	11,0	14,3	5,0	14,0	19,1	7,0	19,0
LogN(3,0.6)	6,9	2,6	7,0	9,4	3,3	9,0	11,2	3,8	11,0	14,1	4,7	14,0	19,0	6,6	19,0
LogN(1,0.7)	6,7	2,4	6,0	9,1	3,0	9,0	10,9	3,5	11,0	13,8	4,3	14,0	18,8	6,2	19,0

Çizelge 4.19. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	4,4	1,6	4,0	5,6	2,2	5,0	6,4	2,6	6,0	7,5	3,2	7,0	9,0	4,3	9,0
Gamma(4,1)	4,4	1,5	4,0	5,7	2,1	6,0	6,6	2,5	7,0	7,8	3,1	8,0	9,7	4,3	10,0
Gamma(3,1)	4,4	1,5	4,0	5,7	2,1	6,0	6,6	2,5	7,0	7,9	3,1	8,0	9,9	4,2	10,0
Gamma(2,1)	4,4	1,5	4,0	5,8	2,0	6,0	6,7	2,4	7,0	8,0	3,0	8,0	10,1	4,2	10,0
Gamma(1,1)	4,4	1,4	4,0	5,8	1,9	6,0	6,8	2,3	7,0	8,3	2,9	8,0	10,8	4,1	11,0
Gamma(0.5,1)	4,4	1,3	4,0	5,9	1,8	6,0	7,0	2,1	7,0	8,7	2,7	9,0	11,6	3,8	12,0
t(6)	4,2	1,5	4,0	5,4	2,0	5,0	6,2	2,4	6,0	7,3	3,0	7,0	9,0	4,1	9,0
t(5)	4,2	1,5	4,0	5,4	2,0	5,0	6,2	2,3	6,0	7,3	2,9	7,0	9,0	4,0	9,0
t(4)	4,1	1,4	4,0	5,3	1,9	5,0	6,1	2,2	6,0	7,2	2,8	7,0	9,0	3,8	9,0
t(3)	4,0	1,2	4,0	5,1	1,7	5,0	5,9	2,0	6,0	7,0	2,5	7,0	8,8	3,4	9,0
Uni(0,1)	4,8	1,8	5,0	6,1	2,4	6,0	7,0	2,9	7,0	8,2	3,6	8,0	9,9	4,8	10,0
Tri(0,1,0)	4,6	1,7	5,0	5,9	2,3	6,0	6,8	2,7	7,0	8,0	3,4	8,0	9,6	4,6	10,0
Sym Bi-Modal	6,9	2,6	7,0	8,9	3,3	9,0	10,2	4,0	10,0	12,1	5,2	12,0	14,6	7,2	15,0
Asym Bi-Modal	4,5	1,4	5,0	5,7	2,0	6,0	6,6	2,4	7,0	7,8	3,1	8,0	9,4	4,4	9,0
CN	5,1	1,4	5,0	6,7	1,9	7,0	7,8	2,3	8,0	9,4	3,0	9,0	11,9	4,2	12,0
LogN(5,0.5)	4,4	1,4	4,0	5,7	1,9	6,0	6,7	2,3	7,0	8,1	2,9	8,0	10,5	4,0	11,0
LogN(3,0.6)	4,4	1,4	4,0	5,8	1,9	6,0	6,8	2,2	7,0	8,3	2,8	8,0	10,8	3,9	11,0
LogN(1,0.7)	4,4	1,3	4,0	5,8	1,8	6,0	6,8	2,1	7,0	8,4	2,7	8,0	11,2	3,7	11,0

Çizelge 4.20. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Gamma(4,1)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Gamma(3,1)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Gamma(2,1)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Gamma(1,1)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Gamma(0.5,1)	3,4	1,0	4,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
t(6)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
t(5)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
t(4)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
t(3)	3,4	1,0	3,0	4,3	1,4	4,0	4,9	1,7	5,0	5,8	2,3	6,0	6,9	3,1	7,0
Uni(0,1)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Tri(0,1,0)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Sym Bi-Modal	6,9	2,6	7,0	8,9	3,3	9,0	10,2	4,0	10,0	12,1	5,2	12,0	14,6	7,2	15,0
Asym Bi-Modal	4,4	1,4	4,0	5,6	1,9	6,0	6,5	2,4	7,0	7,6	3,1	8,0	9,2	4,3	9,0
CN	4,3	1,5	4,0	5,4	2,1	6,0	6,2	2,6	6,0	7,2	3,2	7,0	8,7	4,3	9,0
LogN(5,0.5)	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
LogN(3,0.6)	3,4	1,0	4,0	4,3	1,5	4,0	5,0	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,1	3,2	7,0
LogN(1,0.7)	3,4	1,0	4,0	4,3	1,5	4,0	5,0	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0

Sürecin kontrol dışı olduğu durumda 3 farklı sapma büyüklüğüne göre elde edilen ARL_1 değerleri kapsamında hesaplanan MSE , MAE ve ME değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Burada ARL_{δ}^* olarak, tüm n ve TL ’ler arasında en küçük ARL değerlerine sahip olduğundan, her bir sapma büyüklüğü için kesme limitlerinin kullanılmadığı (TL ’siz) ve $n = 10$ olan $ARL_{1,10,N(0,1)}$ değerleri seçilmiştir. Böylece; $1\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için $ARL_1^* = 9,88$, $2\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için $ARL_1^* = 4,81$, $3\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için $ARL_1^* = 3,40$ olarak belirlenmiştir. Sapmanın $3\sigma_0$ ve $L_t = 2$ olduğu durumlarda, büyük sapma kaynaklı olarak simülasyonlarda üretilen gözlemlerin değerleri de büyük olmakta, kesme limitleri de daha dar olduğu için gözlemlerin çoğu kesme limitlerine takılmakta ve bu gözlemler MA istatistiğinin hesaplamasına katılamamaktadır. Gözlemlerin büyük çoğunluğu için MA istatistiği hesaplanmadığından kontrol limitleri çalışmamakta ve kesme limitlerine takılan gözlemler kaynaklı RL değerleri çok yüksek sayılara ulaşmaktadır. Bu sebeple simülasyon tekrarları makul bir sürede sonlanmadığından çizelgede buna ilişkin sonuçlar boş bırakılmıştır.

Çizelge 4.21. Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumda MA Kontrol Grafiğinin *MSE*, *MAE* ve *ME* Değerleri

Sapma Büyüklüğü	Hata	<i>n</i>	$L_t = 2$	$L_t = 3$	$L_t = 4$	<i>TL</i> 'siz
$1\sigma_0$	<i>MSE</i>	10	141,2	92,7	79,5	68,1
	<i>MAE</i>	10	10,3	6,1	4,3	3,1
	<i>ME</i>	10	10,3	6,0	4,3	3,0
	<i>MSE</i>	20	104,6	54,6	44,7	38,3
	<i>MAE</i>	20	9,4	5,7	4,4	3,4
	<i>ME</i>	20	9,4	5,7	4,4	3,4
	<i>MSE</i>	30	170,0	79,2	57,1	44,6
	<i>MAE</i>	30	12,6	7,9	6,2	5,0
	<i>ME</i>	30	12,6	7,9	6,2	5,0
	<i>MSE</i>	50	326,2	153,8	103,0	74,9
	<i>MAE</i>	50	17,7	11,7	9,3	7,6
	<i>ME</i>	50	17,7	11,7	9,3	7,6
$2\sigma_0$	<i>MSE</i>	10	55,1	6,0	3,5	3,0
	<i>MAE</i>	10	7,1	2,1	1,1	0,6
	<i>ME</i>	10	7,1	2,1	1,1	0,6
	<i>MSE</i>	20	127,1	19,8	9,7	6,5
	<i>MAE</i>	20	11,1	4,3	2,7	2,0
	<i>ME</i>	20	11,1	4,3	2,7	2,0
	<i>MSE</i>	30	208,4	36,8	18,5	12,4
	<i>MAE</i>	30	14,3	5,9	3,9	3,0
	<i>ME</i>	30	14,3	5,9	3,9	3,0
	<i>MSE</i>	50	364,8	72,4	36,8	24,1
	<i>MAE</i>	50	19,0	8,4	5,7	4,4
	<i>ME</i>	50	19,0	8,4	5,7	4,4
$3\sigma_0$	<i>MSE</i>	10	-	16,8	1,8	0,8
	<i>MAE</i>	10	-	4,0	1,2	0,3
	<i>ME</i>	10	-	4,0	1,2	0,3
	<i>MSE</i>	20	-	41,4	7,0	3,0
	<i>MAE</i>	20	-	6,4	2,5	1,3
	<i>ME</i>	20	-	6,4	2,5	1,3
	<i>MSE</i>	30	-	66,0	12,9	5,7
	<i>MAE</i>	30	-	8,0	3,5	2,0
	<i>ME</i>	30	-	8,0	3,5	2,0
	<i>MSE</i>	50	-	113,0	24,5	11,1
	<i>MAE</i>	50	-	10,6	4,8	3,0
	<i>ME</i>	50	-	10,6	4,8	3,0
<i>MSE</i>	100	-	215,4	50,1	21,7	
<i>MAE</i>	100	-	14,6	6,9	4,3	
<i>ME</i>	100	-	14,6	6,9	4,3	

Çizelge 4.21'den de görüleceği üzere hata metriklerinin tüm değerleri pozitif olup bu da dağılımların ortalama ARL_1 değerlerinin, ilgili sapma büyüklüğü ve $n = 10$ için kesme limitleri kullanılmadığı durumdaki Standart Normal dağılımdan elde edilen ARL_1 değerlerinden daha büyük olduğunu göstermektedir. $L_t = 2$ olan tasarımların $3\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmaları tespit etmede oldukça başarısız olmasından dolayı $L_t = 2$ değerinin kullanılmaması gerektiği söylenebilir. Ayrıca, L_t arttıkça hata metriklerinin değerlerinin azaldığı ve kesme limitlerinin kullanılmadığı durumda ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük hata metrikleri, kesme limitlerinin kullanılmadığı durumlarda, $1\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda $n = 20$ olduğunda, $2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda ise $n = 10$ ve ikinci olarak $n = 20$ olduğunda elde edilmiştir. Ancak, sürecin kontrol altında olduğu, kesme limitinin kullanılmadığı ve $n = 10$ olduğu durumdaki ME değerinin negatif (-34,9) olduğu daha önce belirtilmişti. Bu da incelenen dağılımların ortalama ARL_0 değerlerinin tasarım ARL_0 (≈ 370) değerinden daha düşük olduğunu göstermekte olup, ARL_1 değerlerinin de daha düşük olmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, kesme limitlerinin kullanılmadığı ve $n = 20$ olduğu tasarım genel olarak kullanılabilir, gürbüz bir performansa sahip tasarım önerisidir.

4.3.2. MM Kontrol Grafiği Sonuçları

Kesme limitlerinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda, MM kontrol grafiğinin sürecin kontrol altında olduğu durumdaki performansı Çizelge 4.22 – Çizelge 4.25'te sırasıyla $L_t = 2, 3, 4$ ve TL 'siz durumlar için verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; MA kontrol grafiğinde olduğu gibi genel itibariyle, $SDRL$ değerlerinin, karşılık gelen ARL_0 değerlerine yaklaşık olarak eşit veya bu değerlerden biraz büyük olduğu, MRL değerlerinin ise karşılık gelen ARL_0 değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.22. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,7	371,5	256,0	370,6	374,0	256,0	370,4	376,8	254,0	370,1	378,9	254,0	370,4	392,9	247,0
Gamma(4,1)	411,5	410,4	285,0	199,3	204,3	137,0	140,0	147,6	94,0	91,6	106,5	57,0	47,3	71,1	11,0
Gamma(3,1)	481,2	480,0	334,0	186,0	190,4	127,0	120,6	128,7	80,0	73,9	88,5	44,0	33,9	54,3	8,0
Gamma(2,1)	723,4	727,5	502,0	168,2	172,5	115,0	95,9	103,6	63,0	52,0	65,7	27,0	20,1	34,6	7,0
Gamma(1,1)	7.199,1	7.193,4	5.024,5	159,2	163,1	108,0	61,9	70,1	39,0	24,5	35,6	7,0	8,6	11,6	6,0
Gamma(0.5,1)	23.165,7	23.179,5	16.004,0	794,2	797,0	548,0	45,9	53,8	28,0	10,2	16,4	4,0	6,4	3,0	6,0
t(6)	1.020,5	1.017,8	706,0	1.045,4	1.045,5	723,0	999,9	1.007,7	686,0	913,1	921,0	630,0	790,4	807,7	542,0
t(5)	1.360,1	1.358,1	944,0	1.442,1	1.447,1	999,0	1.353,0	1.356,2	939,0	1.202,4	1.215,0	826,0	992,5	1.008,8	680,0
t(4)	2.318,2	2.321,3	1.599,0	2.573,5	2.577,1	1.778,0	2.446,0	2.459,1	1.690,0	2.063,7	2.055,6	1.435,0	1.547,1	1.568,3	1.067,0
t(3)	8.589,5	8.553,3	5.981,0	12.506,0	12.509,0	8.663,0	12.089,4	12.114,1	8.331,0	9.347,9	9.350,2	6.496,0	5.353,7	5.387,7	3.699,0
Uni(0,1)	67,3	69,1	46,0	68,5	72,9	46,0	73,9	80,9	48,0	82,8	95,2	52,0	96,6	120,5	54,0
Tri(0,1,0)	134,2	135,8	92,0	83,8	88,7	56,0	70,8	78,9	46,0	57,6	71,3	32,0	37,8	59,2	8,0
Sym Bi-Modal	67,6	69,1	46,0	29,5	33,8	18,0	21,8	27,9	11,0	17,1	25,3	5,0	14,8	26,1	3,0
Asym Bi-Modal	1.103,4	1.105,1	766,0	630,1	631,8	437,0	440,3	444,6	304,0	278,9	290,5	189,0	144,7	172,3	86,0
CN	8.577,3	8.608,0	5.921,5	6.314,2	6.322,8	4.364,0	4.916,8	4.919,1	3.400,0	3.452,8	3.450,4	2.400,0	2.197,5	2.222,6	1.519,0
LogN(5,0.5)	1.319,2	1.310,0	918,0	261,1	264,0	180,0	133,3	141,3	90,0	65,2	79,4	37,0	22,5	38,4	7,0
LogN(3,0.6)	4.108,0	4.111,8	2.843,0	330,7	333,8	228,0	130,4	138,3	87,0	52,8	66,4	27,0	14,7	26,2	6,0
LogN(1,0.7)	14.837,0	14.910,1	10.242,5	533,9	537,4	367,0	142,4	150,6	96,0	45,0	58,2	21,0	10,6	18,3	6,0

Çizelge 4.23. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,0	371,2	256,0	370,3	374,1	255,0	370,3	377,6	254,0	370,5	381,8	252,0	370,0	396,5	247,0
Gamma(4,1)	598,8	599,2	413,0	321,5	325,8	222,0	223,7	230,9	153,0	147,8	162,7	97,0	82,7	112,9	37,0
Gamma(3,1)	727,1	726,7	506,0	311,6	315,9	214,0	196,5	204,3	133,0	120,7	137,2	77,0	60,6	88,9	18,0
Gamma(2,1)	1.108,9	1.110,5	769,0	299,9	304,1	206,0	159,7	168,4	108,0	85,0	100,3	52,0	34,2	58,0	4,0
Gamma(1,1)	2.909,4	2.917,5	2.016,0	349,1	353,6	241,0	107,3	116,0	71,0	40,3	54,7	17,0	9,7	21,5	3,0
Gamma(0,5,1)	6.950,8	6.929,9	4.843,0	26.704,1	26.641,3	18.501,5	93,6	102,7	61,0	16,0	26,7	3,0	3,7	4,6	3,0
t(6)	956,6	963,0	660,0	1.061,1	1.059,0	736,0	1.029,8	1.034,6	714,0	948,0	958,2	653,0	813,0	838,4	556,0
t(5)	1.277,7	1.277,4	887,0	1.466,6	1.468,5	1.012,0	1.421,0	1.429,7	982,0	1.274,0	1.284,5	874,0	1.045,6	1.067,5	714,0
t(4)	2.169,8	2.173,5	1.505,0	2.738,8	2.743,3	1.902,0	2.650,5	2.649,2	1.840,0	2.267,6	2.279,7	1.575,0	1.681,2	1.702,5	1.159,0
t(3)	8.126,8	8.106,7	5.651,0	14.334,1	14.361,0	9.913,0	14.641,6	14.644,7	10.128,5	11.769,4	11.717,2	8.191,0	6.617,0	6.641,8	4.564,5
Uni(0,1)	100,0	101,7	68,0	88,3	93,1	60,0	92,0	99,0	61,0	101,1	112,9	65,0	116,3	140,0	68,0
Tri(0,1,0)	179,5	180,9	124,0	114,9	118,9	78,0	100,1	108,2	67,0	85,6	99,9	53,0	64,9	93,2	24,0
Sym Bi-Modal	117,9	119,6	81,0	39,2	43,8	25,0	27,0	33,6	15,0	19,9	29,1	7,0	16,1	28,6	2,0
Asym Bi-Modal	1.619,6	1.622,1	1.125,5	1.014,7	1.015,5	708,0	704,7	706,2	489,0	449,0	461,9	307,0	245,0	277,5	157,0
CN	14.927,1	14.851,6	10.399,0	10.444,2	10.480,1	7.241,0	7.689,9	7.678,3	5.330,0	5.092,1	5.076,4	3.547,5	2.982,7	2.997,7	2.066,0
LogN(5,0,5)	1.912,1	1.911,6	1.331,0	502,6	506,2	347,0	229,1	238,5	156,0	107,4	123,5	68,0	38,5	63,6	5,0
LogN(3,0,6)	3.809,9	3.817,7	2.643,0	727,1	729,6	502,0	232,2	241,5	157,0	87,5	102,9	54,0	23,2	43,4	4,0
LogN(1,0,7)	6.555,0	6.539,7	4.561,0	1.473,2	1.479,7	1.019,0	273,3	281,7	186,0	75,1	90,5	45,0	14,9	30,9	3,0

Çizelge 4.24. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,2	370,8	258,0	370,5	373,1	256,0	370,2	376,7	254,0	370,2	382,8	252,0	370,2	394,0	249,0
Gamma(4,1)	555,2	555,6	383,0	330,4	335,7	228,0	235,0	244,2	160,0	159,1	173,5	105,0	93,3	124,8	45,0
Gamma(3,1)	649,2	650,5	450,0	321,8	326,2	221,0	210,0	217,5	143,0	131,7	147,3	85,0	68,7	98,6	25,0
Gamma(2,1)	925,4	926,8	641,0	317,3	321,3	219,0	171,8	180,1	116,0	93,6	109,6	58,0	40,0	66,6	5,0
Gamma(1,1)	1.915,4	1.923,3	1.325,0	380,1	384,0	262,0	116,5	124,8	78,0	44,9	60,3	21,0	10,6	25,2	2,0
Gamma(0.5,1)	3.999,6	4.012,0	2.774,0	24.202,4	24.201,3	16.813,0	104,4	112,8	69,0	17,9	29,7	3,0	2,7	5,6	2,0
t(6)	878,6	880,5	608,0	1.000,8	1.001,3	692,0	977,5	988,1	673,0	907,4	915,3	627,0	791,0	812,7	541,0
t(5)	1.152,6	1.147,7	799,0	1.360,0	1.359,8	940,0	1.333,8	1.339,4	920,0	1.210,4	1.219,4	836,0	1.017,1	1.041,5	699,0
t(4)	1.906,8	1.914,5	1.315,0	2.505,4	2.503,2	1.741,0	2.466,0	2.463,7	1.705,0	2.144,5	2.160,9	1.483,0	1.621,3	1.641,3	1.118,0
t(3)	6.834,2	6.866,1	4.711,0	89,8	94,2	61,0	13.234,6	13.257,1	9.159,0	10.801,4	10.767,6	7.510,0	6.340,5	6.337,7	4.385,0
Uni(0,1)	103,4	105,1	71,0	89,8	94,2	61,0	93,2	100,1	62,0	102,0	114,5	65,0	116,4	139,8	69,0
Tri(0,1,0)	185,5	187,4	128,0	117,2	121,8	79,0	100,5	108,9	67,0	86,1	101,2	53,0	66,9	95,6	26,0
Sym Bi-Modal	123,4	125,3	85,0	40,0	44,6	26,0	27,3	33,9	15,0	20,2	29,1	7,0	16,4	29,0	2,0
Asym Bi-Modal	1.369,7	1.373,8	946,0	1.075,7	1.082,1	743,0	799,4	808,5	551,0	533,4	546,1	367,0	310,1	341,5	202,0
CN	12.734,1	12.700,5	8.853,0	9.500,6	9.442,8	6.597,5	7.157,9	7.186,7	4.957,5	4.848,6	4.869,4	3.355,0	2.894,0	2.913,9	2.005,0
LogN(5,0.5)	1.512,8	1.521,5	1.046,0	535,0	541,0	369,0	250,2	258,6	171,0	117,3	133,5	74,0	44,0	71,1	7,0
LogN(3,0.6)	2.646,8	2.657,9	1.829,0	781,9	785,0	541,0	257,5	265,9	176,0	96,0	112,6	59,0	26,8	49,6	3,0
LogN(1,0.7)	4.202,0	4.204,9	2.904,0	1.613,0	1.624,5	1.115,0	302,1	310,4	207,0	83,2	99,4	51,0	16,9	35,7	2,0

Çizelge 4.25. MM Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	370,3	372,0	256,0	370,7	375,9	255,0	370,1	375,5	256,0	370,2	381,6	254,0	370,4	394,2	249,0
Gamma(4,1)	535,9	538,8	370,0	330,0	334,6	228,0	236,7	243,3	162,0	162,1	177,0	107,0	95,9	127,5	47,0
Gamma(3,1)	616,7	618,7	427,0	322,0	325,1	222,0	211,6	219,4	144,0	133,7	149,5	87,0	70,7	100,7	27,0
Gamma(2,1)	845,9	846,4	584,0	318,8	324,4	218,0	174,3	182,7	118,0	96,8	112,9	60,0	41,6	68,4	5,0
Gamma(1,1)	1.506,9	1.508,5	1.043,0	389,2	392,2	270,0	122,7	131,4	82,0	47,6	63,4	23,0	11,3	27,8	1,0
Gamma(0.5,1)	2.641,9	2.645,5	1.835,0	17.338,8	17.424,9	11.992,5	110,7	119,3	74,0	19,2	31,6	2,0	2,0	6,6	1,0
t(6)	845,6	843,8	589,0	969,1	966,8	673,0	954,3	962,8	656,0	887,4	890,6	615,0	779,2	799,5	534,0
t(5)	1.081,8	1.072,3	753,0	1.307,9	1.304,7	905,0	1.287,7	1.288,1	894,0	1.177,4	1.187,4	813,0	988,3	1.012,8	678,0
t(4)	1.734,5	1.733,5	1.197,0	2.330,5	2.337,6	1.604,0	2.322,1	2.328,6	1.604,0	2.038,6	2.046,9	1.413,0	1.559,5	1.580,8	1.073,0
t(3)	5.736,0	5.760,0	3.967,0	11.261,5	11.256,0	7.824,0	11.994,0	11.951,8	8.346,0	9.977,9	10.021,2	6.890,0	5.962,3	5.983,6	4.115,0
Uni(0,1)	102,9	104,3	70,0	89,8	94,0	61,0	93,1	101,3	61,0	102,1	114,0	65,0	116,4	141,0	69,0
Tri(0,1,0)	185,5	187,4	128,0	117,6	122,3	80,0	100,8	109,0	67,0	86,9	101,1	54,0	66,3	94,8	25,0
Sym Bi-Modal	123,0	123,9	85,0	40,0	44,5	26,0	27,2	33,8	15,0	20,2	29,2	7,0	16,5	29,2	2,0
Asym Bi-Modal	1.381,3	1.387,8	957,0	1.075,4	1.078,9	742,0	798,3	807,6	547,0	533,4	545,5	366,0	310,0	340,8	202,0
CN	8.826,6	8.822,7	6.116,0	7.648,0	7.631,2	5.309,5	5.997,7	5.980,1	4.174,0	4.201,1	4.204,7	2.895,0	2.600,1	2.631,6	1.784,0
LogN(5,0.5)	1.301,1	1.305,1	900,0	539,5	542,6	375,0	255,1	261,8	175,0	124,0	139,6	80,0	47,3	74,6	9,0
LogN(3,0.6)	2.029,9	2.023,7	1.407,0	796,0	796,3	551,0	266,7	274,6	182,0	102,5	118,7	64,0	29,1	53,2	1,0
LogN(1,0.7)	2.946,5	2.968,8	2.023,0	1.643,3	1.659,1	1.135,0	317,8	325,3	219,0	89,7	105,8	55,0	18,4	38,6	1,0

ARL_{δ}^* değerinin $ARL_{0,n,N(0,1)}(\approx 370)$ olarak belirlendiği ve süreçte herhangi bir sapma olmadığı durumdaki TL bazında hesaplanan MSE , MAE ve ME değerleri Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda MM Kontrol Grafiğinin MSE , MAE ve ME Değerleri

Hata	n	$L_t = 2$	$L_t = 3$	$L_t = 4$	TL'siz
MSE	10	54.787.788,5	22.421.467,8	13.893.978,1	7.123.920,0
MAE	10	4.168,7	2.893,1	2.164,6	1.620,4
ME	10	4.069,5	2.809,2	2.082,4	1.538,1
MSE	20	11.163.234,6	58.780.477,5	38.813.448,1	27.479.346,3
MAE	20	1.454,3	3.401,8	2.384,5	2.484,0
ME	20	1.236,8	3.276,2	2.233,1	2.365,6
MSE	30	9.678.626,2	15.567.946,4	12.820.865,2	10.144.962,4
MAE	30	1.356,5	1.662,0	1.526,6	1.369,9
ME	30	999,2	1.386,9	1.267,3	1.116,4
MSE	50	5.593.472,8	9.289.702,0	7.878.856,6	6.564.697,7
MAE	50	1.101,1	1.339,2	1.255,6	1.157,8
ME	50	678,8	964,0	888,5	794,6
MSE	100	1.850.808,7	2.907.740,8	2.667.599,3	2.316.027,6
MAE	100	765,6	883,5	849,6	803,3
ME	100	296,6	444,6	422,5	377,6

Çizelge 4.26'dan da görüleceği üzere kesme limiti kullanılması veya kullanılmaması durumlarının her ikisinde de blok boyutu $n = 100$ olduğunda, hata metrikleri diğer blok boyutlarına göre daha düşüktür. Ancak bunun sebebi, bazı ARL_0 değerlerinin tasarım $ARL_0 \approx 370$ değerinden, hatta 100'den daha küçük olmasıdır. Örneğin Çizelge 4.25'ten görüleceği üzere $n = 100$ olduğunda ve kesme limiti kullanılmadığı durumda dağılımların 10'u için ARL_0 değeri 100'den küçük olup, hatta Gamma (0.5,1) dağılımı 2,0 gibi çok küçük bir ARL_0 değerine sahiptir. Bununla birlikte, aynı blok boyutunda çok yüksek ARL_0 değerleri de (örneğin t(3) dağılımı için 5.962,3) bulunmaktadır. Aynı durum $n = 30$ ve $n = 50$ blok boyutları için de geçerlidir. Örneğin blok boyutu $n = 50$ olduğunda ARL_0 değeri Gamma (0.5,1) dağılımı için 19,2 iken, t(3) dağılımı için 9.977,9'dur. Ancak aynı Gamma (0.5,1) dağılımı için $n = 10$ ve $n = 20$ blok boyutları için ARL_0 değerlerinin oldukça yüksek olduğu ($n = 20$ olduğunda 17.338,8) görülmüştür. Aynı durum özellikle

LogN(1,0.7) dağılımı olmak üzere Log-normal dağılımları için de geçerli olup bu dağılımlarda da $n = 100$ olduğunda düşük olan ARL_0 değerleri blok boyutu azaldıkça artmıştır. Bununla birlikte, tüm blok boyutları için hata metriklerinin değerleri oldukça yüksek olup MA kontrol grafiğinden farklı olarak en düşük sonuçlar $n = 100$ ve $L_t = 2$ olduğunda elde edilmiştir.

MM kontrol grafiğinin kontrol dışı durumdaki performansına yönelik ARL_1 , $SDRL$, ve MRL sonuçları ise Çizelge 4.27 – Çizelge 4.38’de verilmiştir. Bu kapsamda, $L_t = 2, 3, 4$, ve TL ’siz olduğu durumlar için; $\Delta = 1\sigma_0$ olduğundaki sonuçlar Çizelge 4.27 – Çizelge 4.30’da, $\Delta = 2\sigma_0$ olduğundaki sonuçlar Çizelge 4.31 – Çizelge 4.34’te, $\Delta = 3\sigma_0$ olduğundaki sonuçlar Çizelge 4.35 – Çizelge 4.38’de yer almaktadır. Genel itibariyle $SDRL$ değerleri, karşılık gelen ARL_1 değerlerinden daha küçük ve MRL değerleri ise karşılık gelen ARL_1 değerlerine yakındır.

Çizelge 4.27. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	20,9	15,5	16,0	20,3	10,6	19,0	22,8	9,9	22,0	27,8	11,8	28,0	36,8	17,0	37,0
Gamma(4,1)	34,5	28,7	26,0	27,5	16,4	23,0	28,3	12,9	28,0	32,1	15,1	34,0	32,8	25,6	38,0
Gamma(3,1)	37,4	31,5	28,0	28,9	17,6	24,0	29,0	13,6	28,0	31,9	16,0	35,0	29,5	26,0	11,0
Gamma(2,1)	43,6	37,4	32,0	31,5	20,2	25,0	30,1	14,8	29,0	30,9	17,4	35,0	23,3	24,8	8,0
Gamma(1,1)	63,5	56,8	46,0	39,0	27,1	30,0	31,8	18,2	31,0	25,3	19,5	31,0	11,7	15,7	7,0
Gamma(0.5,1)	114,9	108,0	82,0	54,9	41,3	42,0	32,6	20,7	31,0	14,7	15,8	5,0	6,8	4,1	6,0
t(6)	18,4	12,6	14,0	18,4	7,6	18,0	21,5	7,5	21,0	27,0	9,4	27,0	37,1	14,0	37,0
t(5)	17,7	11,7	14,0	18,0	7,1	17,0	21,1	7,0	21,0	26,9	8,9	27,0	37,1	13,4	37,0
t(4)	16,9	10,9	13,0	17,2	6,1	17,0	20,5	6,3	20,0	26,4	8,1	26,0	36,9	12,2	37,0
t(3)	15,2	9,1	12,0	15,8	4,6	15,0	19,3	5,0	19,0	25,5	6,5	26,0	36,7	10,2	37,0
Uni(0,1)	27,5	24,5	20,0	25,5	20,5	21,0	25,9	19,3	24,0	28,0	20,2	27,0	31,8	25,3	29,0
Tri(0,1,0)	41,4	36,5	30,0	34,9	26,2	27,0	33,7	22,3	31,0	34,2	21,9	36,0	32,4	29,6	25,0
Sym Bi-Modal	24,1	21,7	18,0	23,9	25,1	17,0	23,7	28,9	14,0	23,0	34,9	7,0	20,5	38,7	3,0
Asym Bi-Modal	52,5	45,9	38,0	34,8	22,5	27,0	33,7	15,5	30,0	39,4	13,3	40,0	50,8	24,2	56,0
CN	40,7	34,8	30,0	26,1	14,9	21,0	26,0	10,0	25,0	30,7	9,5	31,0	40,6	13,7	41,0
LogN(5,0.5)	41,4	35,0	31,0	28,9	16,8	24,0	28,4	12,1	28,0	30,7	15,3	34,0	24,0	24,2	8,0
LogN(3,0.6)	47,3	41,0	35,0	30,0	17,7	24,0	28,4	11,7	28,0	29,1	15,5	33,0	18,6	21,6	7,0
LogN(1,0.7)	53,8	47,0	39,0	30,7	18,1	24,0	28,0	10,8	28,0	27,3	15,4	32,0	14,2	18,0	6,0

Çizelge 4.28. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	13,5	9,0	11,0	14,4	6,7	14,0	16,6	7,0	17,0	20,2	8,9	20,0	25,8	13,1	26,0
Gamma(4,1)	21,4	16,6	16,0	19,9	10,6	18,0	21,7	8,9	21,0	26,0	10,8	27,0	30,0	19,3	35,0
Gamma(3,1)	23,3	18,5	18,0	21,0	11,5	18,0	22,4	9,3	22,0	26,4	11,5	28,0	28,3	20,5	34,0
Gamma(2,1)	26,8	21,7	20,0	23,0	13,3	20,0	23,8	10,2	23,0	26,7	12,6	29,0	24,1	21,8	26,0
Gamma(1,1)	38,4	33,2	28,0	29,1	18,6	23,0	26,7	13,0	26,0	24,8	15,5	29,0	12,7	18,3	3,0
Gamma(0.5,1)	68,3	62,5	49,0	42,6	30,9	32,0	30,8	16,7	28,0	17,2	15,8	6,0	4,3	5,7	3,0
t(6)	14,0	9,1	11,0	14,6	5,7	14,0	17,1	5,9	17,0	21,4	7,7	22,0	28,5	11,6	29,0
t(5)	14,1	9,0	11,0	14,6	5,5	14,0	17,2	5,7	17,0	21,6	7,3	22,0	29,1	11,2	29,0
t(4)	14,2	9,0	11,0	14,5	5,0	14,0	17,2	5,2	17,0	21,9	6,8	22,0	29,9	10,5	30,0
t(3)	14,1	8,7	11,0	14,2	4,1	14,0	17,2	4,3	17,0	22,4	5,7	23,0	31,7	9,0	32,0
Uni(0,1)	11,7	8,3	10,0	13,4	8,1	13,0	15,0	8,8	15,0	17,5	10,9	17,0	20,9	15,1	20,0
Tri(0,1,0)	18,7	14,9	14,0	19,4	12,3	17,0	20,9	11,4	20,0	23,9	13,3	25,0	26,1	20,1	28,0
Sym Bi-Modal	23,8	20,7	18,0	22,4	21,7	17,0	22,4	25,0	15,0	21,2	29,4	8,0	19,1	33,7	2,0
Asym Bi-Modal	48,1	42,4	35,0	31,1	20,4	24,0	29,7	13,8	27,0	34,5	11,5	35,0	45,6	19,1	49,0
CN	46,0	40,0	34,0	26,4	15,6	21,0	25,6	10,1	24,0	29,9	9,0	30,0	39,2	12,9	39,0
LogN(5,0.5)	27,8	22,6	21,0	22,5	12,2	19,0	23,4	8,8	23,0	27,0	11,3	29,0	25,2	21,4	31,0
LogN(3,0.6)	32,7	27,2	24,0	24,1	13,3	20,0	24,2	9,0	24,0	26,9	11,8	29,0	20,5	21,1	4,0
LogN(1,0.7)	38,6	32,9	28,0	25,7	14,5	21,0	24,7	8,6	24,0	26,2	12,0	29,0	16,0	19,4	4,0

Çizelge 4.29. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	12,6	8,3	10,0	13,8	6,3	13,0	15,9	6,6	16,0	19,4	8,5	20,0	24,9	12,6	25,0
Gamma(4,1)	18,4	13,9	14,0	18,0	9,2	16,0	19,8	7,9	20,0	24,0	10,0	25,0	28,2	17,7	32,0
Gamma(3,1)	19,7	15,1	15,0	18,8	9,9	17,0	20,6	8,3	20,0	24,5	10,5	26,0	26,8	18,9	32,0
Gamma(2,1)	22,3	17,7	17,0	20,5	11,3	18,0	21,6	9,1	21,0	24,8	11,5	26,0	23,2	20,3	28,0
Gamma(1,1)	30,8	26,0	23,0	25,4	15,6	20,0	24,2	11,2	24,0	23,4	14,1	27,0	12,5	18,1	2,0
Gamma(0.5,1)	52,0	46,7	38,0	36,3	25,3	27,0	28,0	14,3	26,0	17,0	15,0	21,0	3,4	6,2	2,0
t(6)	13,1	8,4	10,0	13,9	5,4	14,0	16,3	5,7	16,0	20,4	7,4	21,0	26,9	11,2	27,0
t(5)	13,2	8,4	10,0	13,9	5,2	14,0	16,4	5,5	16,0	20,6	7,1	21,0	27,4	10,9	28,0
t(4)	13,4	8,4	10,0	13,9	4,8	14,0	16,5	5,0	16,0	21,0	6,6	21,0	28,3	10,1	29,0
t(3)	13,6	8,4	11,0	13,4	8,2	13,0	16,6	4,2	17,0	21,6	5,6	22,0	30,4	8,8	31,0
Uni(0,1)	11,8	8,3	10,0	13,4	8,2	13,0	15,0	8,8	15,0	17,5	11,0	17,0	21,1	15,1	20,0
Tri(0,1,0)	15,9	12,0	12,0	17,2	10,4	16,0	19,0	10,0	19,0	22,1	12,1	23,0	24,3	18,6	27,0
Sym Bi-Modal	23,9	20,7	18,0	22,7	21,8	17,0	22,4	24,9	15,0	21,5	29,6	9,0	19,3	34,0	2,0
Asym Bi-Modal	35,9	31,0	26,0	26,0	16,3	20,0	25,9	11,6	24,0	30,6	10,3	31,0	40,5	16,6	42,0
CN	44,6	38,6	33,0	25,9	15,3	21,0	25,0	9,8	24,0	29,2	8,9	29,0	38,1	12,8	38,0
LogN(5,0.5)	23,5	18,6	18,0	20,3	10,7	18,0	21,6	8,0	21,0	25,2	10,4	27,0	24,4	20,0	30,0
LogN(3,0.6)	27,5	22,4	21,0	21,8	11,7	19,0	22,4	8,1	22,0	25,4	10,9	27,0	20,3	20,3	4,0
LogN(1,0.7)	32,6	27,5	24,0	23,3	12,7	20,0	23,1	8,0	23,0	25,1	11,0	27,0	16,0	19,0	3,0

Çizelge 4.30. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	12,5	8,2	10,0	13,8	6,2	13,0	15,9	6,6	16,0	19,4	8,5	19,0	24,7	12,5	25,0
Gamma(4,1)	17,5	13,2	13,0	17,4	8,9	16,0	19,4	7,7	19,0	23,4	9,8	24,0	27,5	17,2	31,0
Gamma(3,1)	18,6	14,2	14,0	18,1	9,4	16,0	19,9	8,1	20,0	23,8	10,1	25,0	26,2	18,4	31,0
Gamma(2,1)	20,7	16,2	16,0	19,4	10,5	17,0	20,8	8,6	21,0	24,0	11,0	26,0	22,8	19,7	28,0
Gamma(1,1)	27,2	22,5	20,0	23,6	14,2	19,0	23,0	10,4	22,0	22,5	13,4	26,0	12,3	17,9	1,0
Gamma(0.5,1)	42,6	37,8	31,0	32,0	21,9	24,0	25,9	12,7	25,0	16,5	14,2	21,0	2,7	6,7	1,0
t(6)	12,9	8,2	10,0	13,7	5,3	13,0	16,1	5,6	16,0	20,1	7,3	20,0	26,4	11,1	27,0
t(5)	12,9	8,2	10,0	13,7	5,1	13,0	16,1	5,4	16,0	20,2	7,0	20,0	26,8	10,7	27,0
t(4)	13,0	8,2	10,0	13,6	4,7	13,0	16,1	5,0	16,0	20,5	6,5	21,0	27,6	10,0	28,0
t(3)	13,3	8,2	10,0	13,4	3,9	13,0	16,2	4,2	16,0	21,0	5,5	21,0	29,4	8,7	30,0
Uni(0,1)	11,8	8,3	10,0	13,5	8,2	13,0	15,0	8,8	15,0	17,5	11,0	17,0	21,1	15,1	20,0
Tri(0,1,0)	16,0	12,2	12,0	17,2	10,3	16,0	19,0	10,0	19,0	22,1	12,1	23,0	24,3	18,6	27,0
Sym Bi-Modal	23,9	20,7	18,0	22,8	21,9	17,0	22,6	25,3	15,0	21,4	29,4	9,0	19,3	34,1	2,0
Asym Bi-Modal	35,9	31,2	26,0	26,0	16,3	20,0	25,9	11,7	24,0	30,5	10,3	31,0	40,6	16,6	43,0
CN	37,7	32,4	28,0	23,7	13,6	19,0	23,4	8,9	22,0	27,4	8,5	27,0	35,4	12,3	36,0
LogN(5,0.5)	21,6	17,0	16,0	19,3	9,9	17,0	20,6	7,6	20,0	24,3	10,0	26,0	23,8	19,2	30,0
LogN(3,0.6)	24,7	20,0	19,0	20,5	10,8	18,0	21,3	7,7	21,0	24,3	10,3	26,0	20,1	19,6	22,0
LogN(1,0.7)	28,6	23,7	21,0	21,7	11,6	18,0	21,8	7,4	21,0	23,9	10,4	26,0	15,9	18,7	1,0

Çizelge 4.31. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	14,0	6,4	13,0	19,0	7,6	19,0	23,2	9,3	23,0	29,7	12,4	30,0	40,4	18,5	41,0
Gamma(4,1)	11,4	4,4	11,0	16,2	5,4	16,0	20,5	7,1	21,0	26,7	11,6	29,0	30,6	22,3	36,0
Gamma(3,1)	11,0	4,1	11,0	15,7	5,1	16,0	19,9	6,9	20,0	25,8	11,8	28,0	27,3	22,5	16,0
Gamma(2,1)	10,3	3,6	10,0	14,9	4,7	15,0	19,3	6,8	20,0	24,3	12,6	27,0	21,6	21,4	8,0
Gamma(1,1)	8,9	2,7	9,0	14,4	4,1	14,0	18,4	7,1	19,0	19,8	13,9	24,0	11,6	14,1	7,0
Gamma(0.5,1)	8,3	2,4	8,0	14,1	3,3	14,0	17,3	7,3	19,0	13,0	12,9	5,0	7,2	4,9	7,0
t(6)	13,5	5,5	13,0	19,6	6,9	19,0	24,7	8,6	24,0	32,9	11,7	33,0	46,2	18,0	46,0
t(5)	13,3	5,3	13,0	19,7	6,8	19,0	25,0	8,5	25,0	33,5	11,5	33,0	47,5	17,7	48,0
t(4)	13,1	5,0	12,0	19,8	6,5	19,0	25,5	8,2	25,0	34,5	11,1	34,0	49,5	17,3	50,0
t(3)	12,6	4,5	12,0	20,0	6,0	20,0	26,4	7,5	26,0	36,6	10,3	36,0	54,0	16,2	54,0
Uni(0,1)	15,1	9,6	14,0	15,8	8,9	15,0	17,0	9,9	17,0	18,6	11,6	18,0	21,3	15,1	21,0
Tri(0,1,0)	12,2	5,6	12,0	14,2	5,7	14,0	17,1	7,5	18,0	21,5	11,6	23,0	24,4	19,4	23,0
Sym Bi-Modal	24,6	21,6	18,0	28,7	28,9	21,0	27,6	31,8	18,0	22,6	29,5	9,0	16,7	24,9	3,0
Asym Bi-Modal	11,9	4,8	11,0	16,5	4,4	16,0	21,1	5,5	21,0	28,8	8,2	29,0	40,3	17,3	45,0
CN	10,2	3,9	10,0	13,9	3,8	14,0	17,3	4,7	17,0	22,8	6,4	23,0	32,2	10,2	32,0
LogN(5,0.5)	10,1	3,4	10,0	15,3	4,5	15,0	20,0	6,4	20,0	25,9	12,2	29,0	23,6	22,7	8,0
LogN(3,0.6)	9,4	2,9	9,0	15,0	4,1	15,0	19,9	6,1	20,0	25,1	12,8	29,0	18,7	21,0	7,0
LogN(1,0.7)	8,9	2,6	9,0	14,8	3,8	15,0	19,9	5,8	20,0	24,4	13,2	29,0	14,8	18,6	7,0

Çizelge 4.32. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	6,8	2,4	7,0	9,8	3,5	10,0	12,1	4,5	12,0	15,5	6,3	16,0	20,7	9,9	21,0
Gamma(4,1)	6,8	2,2	7,0	9,9	2,9	10,0	12,8	3,9	13,0	17,1	6,3	18,0	21,8	13,1	25,0
Gamma(3,1)	6,8	2,1	7,0	9,9	2,8	10,0	12,7	3,9	13,0	17,0	6,5	18,0	20,6	13,9	25,0
Gamma(2,1)	6,7	2,0	7,0	9,8	2,6	10,0	12,7	3,8	13,0	16,9	7,3	18,0	17,7	15,0	20,0
Gamma(1,1)	6,2	1,5	6,0	10,0	2,4	10,0	13,1	4,0	14,0	15,6	8,9	19,0	10,1	13,3	3,0
Gamma(0.5,1)	6,2	1,4	6,0	10,3	2,0	10,0	13,7	4,1	14,0	12,2	10,2	13,0	4,5	6,1	3,0
t(6)	6,7	2,0	7,0	10,1	3,0	10,0	12,8	4,0	13,0	17,1	5,7	17,0	23,8	9,3	24,0
t(5)	6,6	2,0	6,0	10,1	2,8	10,0	13,0	3,8	13,0	17,5	5,5	18,0	24,6	9,0	25,0
t(4)	6,5	1,8	6,0	10,2	2,6	10,0	13,3	3,5	13,0	18,0	5,2	18,0	25,8	8,6	26,0
t(3)	6,3	1,5	6,0	10,3	2,2	10,0	13,7	3,0	14,0	19,2	4,5	19,0	28,2	7,8	29,0
Uni(0,1)	7,6	3,6	7,0	9,3	4,5	9,0	10,5	5,4	11,0	12,1	6,9	12,0	14,4	9,5	14,0
Tri(0,1,0)	7,1	2,9	7,0	8,9	3,4	9,0	10,7	4,4	11,0	13,7	6,8	15,0	16,7	11,9	19,0
Sym Bi-Modal	13,0	9,6	10,0	15,2	12,4	13,0	15,2	14,1	13,0	13,6	15,0	8,0	10,9	15,0	2,0
Asym Bi-Modal	8,4	3,0	8,0	11,8	3,0	12,0	15,1	3,7	15,0	20,5	5,5	21,0	29,5	11,1	31,0
CN	8,2	2,7	8,0	11,4	2,7	11,0	14,3	3,4	14,0	18,9	4,9	19,0	26,7	8,0	27,0
LogN(5,0.5)	6,6	1,8	6,0	10,0	2,5	10,0	13,2	3,5	14,0	18,0	6,8	19,0	19,4	15,5	24,0
LogN(3,0.6)	6,4	1,6	6,0	10,1	2,3	10,0	13,5	3,4	14,0	18,3	7,3	20,0	16,6	16,1	5,0
LogN(1,0.7)	6,2	1,4	6,0	10,2	2,1	10,0	13,9	3,2	14,0	18,4	7,8	21,0	13,6	15,7	4,0

Çizelge 4.33. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	5,6	1,8	6,0	8,2	2,7	8,0	10,2	3,6	10,0	13,0	5,2	13,0	17,4	8,3	18,0
Gamma(4,1)	5,8	1,7	6,0	8,5	2,4	9,0	10,9	3,2	11,0	14,6	5,3	15,0	18,9	11,0	22,0
Gamma(3,1)	5,8	1,7	6,0	8,5	2,3	9,0	10,9	3,2	11,0	14,6	5,5	16,0	18,0	11,9	22,0
Gamma(2,1)	5,7	1,6	6,0	8,5	2,2	9,0	11,0	3,2	11,0	14,7	6,1	16,0	15,8	13,1	20,0
Gamma(1,1)	5,4	1,2	6,0	8,7	2,0	9,0	11,5	3,4	12,0	13,9	7,7	17,0	9,2	12,5	2,0
Gamma(0.5,1)	5,5	1,2	6,0	9,2	1,7	9,0	12,2	3,5	13,0	11,2	9,2	15,0	3,4	6,4	2,0
t(6)	5,7	1,6	6,0	8,7	2,4	9,0	11,1	3,3	11,0	14,7	4,8	15,0	20,2	8,0	21,0
t(5)	5,7	1,5	6,0	8,8	2,3	9,0	11,3	3,2	12,0	15,1	4,7	15,0	21,1	7,9	22,0
t(4)	5,7	1,4	6,0	9,0	2,1	9,0	11,7	3,0	12,0	15,8	4,5	16,0	22,5	7,6	23,0
t(3)	5,7	1,2	6,0	7,0	3,1	7,0	12,5	2,6	13,0	17,3	4,0	18,0	25,5	7,0	26,0
Uni(0,1)	5,4	2,1	5,0	7,0	3,1	7,0	8,1	3,9	8,0	9,5	5,1	10,0	11,4	7,3	12,0
Tri(0,1,0)	5,7	2,1	6,0	7,5	2,7	8,0	9,0	3,6	10,0	11,6	5,5	12,0	14,2	10,0	16,0
Sym Bi-Modal	13,1	9,5	10,0	15,2	12,3	13,0	15,1	14,0	12,0	13,6	15,0	8,0	11,0	15,0	2,0
Asym Bi-Modal	7,3	2,5	7,0	10,3	2,6	10,0	13,1	3,3	13,0	17,7	4,9	18,0	25,3	9,3	27,0
CN	8,0	2,7	8,0	11,1	2,6	11,0	13,8	3,4	14,0	18,3	4,8	18,0	25,6	7,9	26,0
LogN(5,0.5)	5,7	1,5	6,0	8,8	2,1	9,0	11,6	3,0	12,0	15,8	5,8	17,0	17,6	13,6	23,0
LogN(3,0.6)	5,6	1,3	6,0	8,9	1,9	9,0	12,0	2,9	12,0	16,2	6,3	18,0	15,3	14,5	4,0
LogN(1,0.7)	5,6	1,2	6,0	9,1	1,8	9,0	12,4	2,7	13,0	16,7	6,7	19,0	12,8	14,7	3,0

Çizelge 4.34. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	5,5	1,7	5,0	8,0	2,6	8,0	9,9	3,4	10,0	12,7	5,0	13,0	16,9	8,0	17,0
Gamma(4,1)	5,4	1,5	6,0	8,1	2,2	8,0	10,3	3,0	11,0	13,8	5,0	15,0	17,9	10,4	21,0
Gamma(3,1)	5,4	1,5	5,0	8,0	2,1	8,0	10,3	3,0	11,0	13,8	5,1	15,0	17,0	11,2	20,0
Gamma(2,1)	5,4	1,4	5,0	7,9	2,0	8,0	10,3	2,9	11,0	13,8	5,6	15,0	14,9	12,3	19,0
Gamma(1,1)	5,0	1,0	5,0	8,1	1,8	8,0	10,6	3,1	11,0	13,0	7,0	15,0	8,6	12,0	1,0
Gamma(0.5,1)	5,1	1,0	5,0	8,4	1,5	9,0	11,2	3,1	12,0	10,6	8,6	14,0	2,7	6,7	1,0
t(6)	5,5	1,4	5,0	8,4	2,2	9,0	10,7	3,1	11,0	14,1	4,6	14,0	19,4	7,7	20,0
t(5)	5,5	1,4	5,0	8,5	2,2	9,0	10,9	3,0	11,0	14,5	4,6	15,0	20,1	7,6	21,0
t(4)	5,5	1,3	5,0	8,6	2,0	9,0	11,2	2,8	11,0	15,1	4,3	15,0	21,3	7,4	22,0
t(3)	5,5	1,1	6,0	9,0	1,7	9,0	11,9	2,5	12,0	16,6	3,9	17,0	24,2	6,8	25,0
Uni(0,1)	5,4	2,1	5,0	7,0	3,1	7,0	8,0	3,9	8,0	9,4	5,1	10,0	11,5	7,3	12,0
Tri(0,1,0)	5,4	1,9	5,0	7,2	2,5	8,0	8,7	3,3	9,0	11,2	5,3	12,0	13,7	9,5	16,0
Sym Bi-Modal	13,0	9,6	10,0	15,3	12,4	13,0	15,3	14,2	13,0	13,6	15,0	8,0	11,1	15,1	2,0
Asym Bi-Modal	7,3	2,5	7,0	10,3	2,6	10,0	13,1	3,3	13,0	17,7	4,9	18,0	25,3	9,3	27,0
CN	7,4	2,3	7,0	10,3	2,4	10,0	12,8	3,1	13,0	16,7	4,5	17,0	23,2	7,4	24,0
LogN(5,0.5)	5,3	1,3	5,0	8,2	1,8	8,0	10,8	2,7	11,0	14,7	5,4	16,0	16,5	12,7	21,0
LogN(3,0.6)	5,3	1,1	5,0	8,3	1,7	9,0	11,1	2,6	11,0	15,1	5,8	17,0	14,4	13,7	16,0
LogN(1,0.7)	5,2	1,0	5,0	8,4	1,6	9,0	11,5	2,4	12,0	15,5	6,2	17,0	12,3	14,0	1,0

Çizelge 4.35. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 2$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	33,5	16,3	31,0	48,7	21,8	47,0	60,8	27,1	59,0	78,8	36,1	78,0	106,1	53,7	106,0
Gamma(4,1)	33,8	15,7	32,0	55,3	22,2	54,0	73,4	29,9	73,0	97,9	47,6	103,0	107,9	89,4	124,0
Gamma(3,1)	35,5	16,5	33,0	59,0	23,6	58,0	78,0	32,2	78,0	101,7	52,9	109,0	101,2	96,6	59,0
Gamma(2,1)	41,1	19,0	38,0	69,3	27,5	68,0	91,1	38,7	92,0	112,8	67,0	125,0	89,7	109,6	18,0
Gamma(1,1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gamma(0.5,1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t(6)	44,0	20,6	41,0	66,3	27,4	64,0	84,3	33,8	82,0	111,5	45,1	110,0	153,8	67,5	153,0
t(5)	47,4	22,1	44,0	71,7	29,1	69,0	91,5	35,9	89,0	121,9	47,8	120,0	169,3	71,7	169,0
t(4)	53,6	24,6	50,0	82,5	32,3	80,0	106,3	39,9	104,0	142,5	53,0	140,0	201,0	79,8	200,0
t(3)	71,3	32,2	67,0	112,6	41,6	109,0	148,2	51,0	144,0	203,6	67,3	201,0	294,5	101,4	292,0
Uni(0,1)	18,7	10,5	17,0	26,5	15,2	25,0	32,2	19,2	31,0	40,0	25,8	39,0	50,2	36,7	48,0
Tri(0,1,0)	24,0	11,8	23,0	37,8	17,6	37,0	48,2	23,8	49,0	60,7	36,2	64,0	65,1	58,8	58,0
Sym Bi-Modal	49,3	46,5	35,0	29,1	27,6	23,0	20,2	19,4	16,0	15,0	15,9	9,0	11,6	14,1	4,0
Asym Bi-Modal	15,3	5,6	15,0	24,0	7,4	24,0	31,9	9,3	32,0	44,6	13,9	45,0	63,0	29,0	69,0
CN	12,7	4,6	12,0	19,5	6,1	19,0	25,2	7,7	25,0	34,2	10,6	34,0	48,9	16,7	49,0
LogN(5,0.5)	48,2	22,1	45,0	82,1	31,4	80,0	110,2	43,2	110,0	141,2	76,0	154,0	115,6	134,5	21,0
LogN(3,0.6)	71,7	33,2	67,0	125,2	47,1	121,0	168,6	65,4	168,0	208,7	121,6	233,0	132,6	192,1	22,0
LogN(1,0.7)	175,8	82,2	164,0	313,8	115,8	303,0	427,1	161,6	426,0	509,8	317,7	581,0	238,6	429,2	39,0

Çizelge 4.36. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 3$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	9,4	3,9	9,0	14,5	5,7	14,0	18,3	7,5	18,0	23,9	10,3	24,0	32,2	16,0	32,0
Gamma(4,1)	8,2	3,0	8,0	13,6	4,6	13,0	18,2	6,3	18,0	25,0	9,9	26,0	32,2	19,8	37,0
Gamma(3,1)	8,0	3,0	8,0	13,6	4,4	13,0	18,1	6,1	18,0	24,7	10,2	26,0	29,9	20,9	35,0
Gamma(2,1)	7,9	2,8	8,0	13,4	4,3	13,0	18,1	6,1	18,0	24,0	10,8	26,0	24,9	21,8	28,0
Gamma(1,1)	7,5	2,5	7,0	13,3	3,8	13,0	17,7	6,0	18,0	21,0	12,5	25,0	13,1	18,2	4,0
Gamma(0.5,1)	7,1	2,1	7,0	13,1	3,1	13,0	17,4	5,7	18,0	15,5	13,3	16,0	5,1	7,8	4,0
t(6)	9,9	3,8	9,0	15,9	5,6	16,0	20,7	7,3	20,0	27,7	10,2	28,0	38,6	16,0	39,0
t(5)	10,0	3,8	10,0	16,2	5,5	16,0	21,2	7,2	21,0	28,6	10,1	29,0	40,3	15,9	40,0
t(4)	10,1	3,7	10,0	16,8	5,4	16,0	22,1	7,1	22,0	30,2	9,9	30,0	43,2	15,7	43,0
t(3)	10,3	3,6	10,0	17,7	5,2	17,0	23,9	6,7	24,0	33,5	9,4	33,0	49,3	15,0	49,0
Uni(0,1)	8,3	3,8	8,0	11,7	5,8	12,0	14,3	7,6	14,0	17,9	10,4	18,0	22,7	15,3	22,0
Tri(0,1,0)	7,7	3,2	7,0	12,0	5,0	12,0	15,4	6,9	16,0	20,1	10,4	21,0	24,5	17,7	27,0
Sym Bi-Modal	9,8	6,0	9,0	10,1	6,7	10,0	9,2	7,1	8,0	7,9	7,5	6,0	6,5	7,6	2,0
Asym Bi-Modal	6,7	1,8	7,0	10,9	2,6	11,0	14,5	3,5	15,0	20,5	5,4	21,0	30,3	11,4	32,0
CN	6,4	1,5	6,0	10,2	2,2	10,0	13,4	3,1	14,0	18,4	4,7	19,0	26,7	8,0	27,0
LogN(5,0.5)	7,9	2,7	8,0	13,8	4,1	14,0	18,7	5,7	19,0	25,6	10,4	27,0	27,4	22,7	34,0
LogN(3,0.6)	7,8	2,6	7,0	13,7	3,8	14,0	18,9	5,4	19,0	25,4	10,9	28,0	22,5	22,8	5,0
LogN(1,0.7)	7,6	2,4	7,0	13,7	3,6	14,0	19,0	5,1	19,0	25,3	11,2	28,0	18,1	21,9	4,0

Çizelge 4.37. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri ($Lt = 4$)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	5,4	1,7	5,0	8,5	2,8	9,0	10,7	3,9	11,0	14,1	5,6	14,0	19,0	9,0	19,0
Gamma(4,1)	5,3	1,5	5,0	8,9	2,5	9,0	11,8	3,7	12,0	16,2	6,1	17,0	21,2	12,5	24,0
Gamma(3,1)	5,3	1,5	5,0	8,9	2,5	9,0	12,0	3,7	12,0	16,3	6,3	17,0	20,3	13,4	24,0
Gamma(2,1)	5,3	1,5	5,0	9,1	2,5	9,0	12,2	3,7	13,0	16,3	6,9	18,0	17,6	14,6	22,0
Gamma(1,1)	5,3	1,4	5,0	9,4	2,3	10,0	12,6	3,9	13,0	15,3	8,5	18,0	10,1	13,8	2,0
Gamma(0.5,1)	5,3	1,3	5,0	9,8	2,0	10,0	13,2	3,9	14,0	12,1	10,0	16,0	3,6	6,9	2,0
t(6)	5,5	1,5	5,0	8,9	2,5	9,0	11,6	3,5	12,0	15,6	5,2	16,0	21,7	8,6	22,0
t(5)	5,5	1,4	5,0	9,0	2,4	9,0	11,8	3,4	12,0	16,0	5,1	16,0	22,5	8,4	23,0
t(4)	5,5	1,3	5,0	9,2	2,3	9,0	12,2	3,2	12,0	16,6	4,8	17,0	23,7	8,2	24,0
t(3)	5,4	1,1	5,0	7,5	3,3	8,0	12,9	2,8	13,0	18,0	4,3	18,0	26,6	7,4	27,0
Uni(0,1)	5,2	2,0	5,0	7,5	3,3	8,0	9,1	4,5	9,0	11,4	6,3	12,0	14,5	9,4	15,0
Tri(0,1,0)	5,2	1,8	5,0	8,2	3,0	8,0	10,5	4,3	11,0	13,7	6,8	15,0	16,9	11,9	19,0
Sym Bi-Modal	9,3	5,6	8,0	9,7	6,3	9,0	8,9	6,8	8,0	7,6	7,2	6,0	6,4	7,4	2,0
Asym Bi-Modal	5,2	1,2	5,0	8,5	1,8	9,0	11,3	2,6	12,0	15,9	4,1	16,0	23,4	8,4	25,0
CN	5,8	1,2	6,0	9,3	1,9	9,0	12,2	2,7	12,0	16,7	4,2	17,0	24,1	7,3	24,0
LogN(5,0.5)	5,4	1,4	5,0	9,3	2,3	9,0	12,6	3,4	13,0	17,4	6,5	19,0	19,3	15,1	25,0
LogN(3,0.6)	5,3	1,3	5,0	9,5	2,2	10,0	13,0	3,3	13,0	17,7	7,0	19,0	16,7	15,9	4,0
LogN(1,0.7)	5,4	1,2	5,0	9,7	2,0	10,0	13,4	3,1	14,0	18,0	7,4	20,0	13,9	15,9	3,0

Çizelge 4.38. MM Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Dağılımlar	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
N(0,1)	4,5	1,1	5,0	7,1	2,1	7,0	9,0	3,0	9,0	11,8	4,5	12,0	15,9	7,4	16,0
Gamma(4,1)	4,5	1,0	5,0	7,5	1,9	8,0	9,9	2,8	10,0	13,6	4,9	14,0	17,8	10,4	21,0
Gamma(3,1)	4,5	1,0	5,0	7,5	1,9	8,0	10,1	2,8	10,0	13,7	5,1	15,0	17,0	11,2	21,0
Gamma(2,1)	4,5	0,9	5,0	7,7	1,8	8,0	10,3	2,9	11,0	13,8	5,6	15,0	15,0	12,3	19,0
Gamma(1,1)	4,5	0,9	5,0	7,9	1,7	8,0	10,6	3,1	11,0	12,9	7,1	15,0	8,8	12,0	1,0
Gamma(0.5,1)	4,6	0,8	5,0	8,3	1,4	9,0	11,2	3,1	12,0	10,5	8,5	14,0	2,7	6,6	1,0
t(6)	4,7	1,0	5,0	7,7	1,9	8,0	9,9	2,8	10,0	13,3	4,3	14,0	18,5	7,3	19,0
t(5)	4,7	0,9	5,0	7,8	1,8	8,0	10,2	2,7	10,0	13,7	4,2	14,0	19,2	7,2	20,0
t(4)	4,8	0,9	5,0	8,0	1,7	8,0	10,6	2,6	11,0	14,4	4,0	15,0	20,5	7,0	21,0
t(3)	4,9	0,8	5,0	8,5	1,5	9,0	11,5	2,3	12,0	16,0	3,7	16,0	23,5	6,6	24,0
Uni(0,1)	4,1	1,2	4,0	5,9	2,4	6,0	7,2	3,3	7,0	8,9	4,8	9,0	11,4	7,3	12,0
Tri(0,1,0)	4,2	1,1	4,0	6,7	2,2	7,0	8,6	3,3	9,0	11,2	5,3	12,0	13,7	9,6	16,0
Sym Bi-Modal	9,2	5,6	8,0	9,7	6,3	9,0	8,9	6,8	8,0	7,7	7,2	6,0	6,3	7,4	2,0
Asym Bi-Modal	5,2	1,1	5,0	8,4	1,8	9,0	11,2	2,5	11,0	15,7	4,1	16,0	23,0	8,3	24,0
CN	5,4	1,0	5,0	8,6	1,6	9,0	11,2	2,4	11,0	15,2	3,9	15,0	21,6	6,8	22,0
LogN(5,0.5)	4,5	0,9	5,0	7,9	1,7	8,0	10,7	2,7	11,0	14,7	5,4	16,0	16,5	12,7	21,0
LogN(3,0.6)	4,6	0,9	5,0	8,1	1,6	8,0	11,1	2,6	11,0	15,1	5,8	17,0	14,4	13,7	16,0
LogN(1,0.7)	4,6	0,8	5,0	8,3	1,5	9,0	11,5	2,4	12,0	15,5	6,1	17,0	12,3	14,0	1,0

Sürecin kontrol dışı olduğu durumda 3 farklı sapma büyüklüğüne göre elde edilen ARL_1 değerleri kullanılarak hesaplanan MSE , MAE ve ME değerleri Çizelge 4.39’da verilmiştir. Burada, tüm n ve TL ’ler arasında en küçük ARL değerlerine sahip olduğundan, ARL_8^* olarak, her bir sapma büyüklüğü için TL ’siz ve $n = 10$ olan $ARL_{1,10,N(0,1)}$ değerleri seçilmiştir. Böylece; $1\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için $ARL_1^* = 12,51$, $2\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için $ARL_1^* = 5,47$, $3\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için $ARL_1^* = 4,53$ olarak belirlenmiştir. MA kontrol grafiğinde olduğu gibi sapmanın $3\sigma_0$ ve $L_t = 2$ olduğu durumlarda gözlemlerin çoğu kesme limitlerine takıldığından MM istatistiği hesabına katılamamaktadır. Bu sebeple MA kontrol grafiğinde olduğu gibi simülasyon tekrarları makul bir sürede sonlanmadığından ilgili çizelgede buna ilişkin sonuçlar boş bırakılmıştır.

Çizelge 4.39’dan da görüleceği üzere; en düşük hata metrikleri, kesme limitlerinin kullanılmadığı durumlarda, $1\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda $n = 30$ ve $n = 20$ olduğunda, $2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda ise $n = 10$ ve ikinci olarak $n = 20$ olduğunda elde edilmiştir. Ancak, sürecin kontrol altında olduğu durumda, en düşük hata metrik değerlerinin bunlardan tamamen farklı olarak $n = 100$ ve $L_t = 2$ olduğunda elde edildiği belirtilmişti. Sonuç olarak ARL_0 değerleri üzerinden hesaplanan metrikler başta olmak üzere MM kontrol grafiği için hata metrikleri oldukça yüksektir. Ayrıca ARL_0 ve ARL_1 kapsamında düşük sonuç elde edilen tasarımlar birbirinden oldukça farklı olduğundan MM kontrol grafiğinin normallik varsayımına duyarsız olduğu söylenemeyecektir.

Çizelge 4.39. Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumda MM Kontrol Grafiğinin *MSE*, *MAE* ve *ME* Değerleri

Sapma Büyüklüğü	Hata	<i>n</i>	$L_t = 2$	$L_t = 3$	$L_t = 4$	<i>TL</i> 'siz
$1\sigma_0$	<i>MSE</i>	10	1.328,1	473,8	267,3	180,2
	<i>MAE</i>	10	28,1	15,9	11,8	9,9
	<i>ME</i>	10	28,1	15,8	11,7	9,8
	<i>MSE</i>	20	343,3	148,5	95,6	72,9
	<i>MAE</i>	20	16,1	9,8	7,8	6,9
	<i>ME</i>	20	16,1	9,8	7,8	6,9
	<i>MSE</i>	30	235,2	116,2	83,4	69,9
	<i>MAE</i>	30	14,7	9,8	8,3	7,7
	<i>ME</i>	30	14,7	9,8	8,3	7,7
	<i>MSE</i>	50	279,0	160,1	125,8	111,4
	<i>MAE</i>	50	15,9	11,9	10,7	10,0
	<i>ME</i>	50	15,9	11,9	10,7	10,0
	<i>MSE</i>	100	382,5	252,8	209,3	193,7
	<i>MAE</i>	100	16,8	13,8	12,7	12,3
	<i>ME</i>	100	16,0	12,8	11,7	11,1
$2\sigma_0$	<i>MSE</i>	10	56,5	5,5	4,0	3,8
	<i>MAE</i>	10	6,6	1,7	0,9	0,8
	<i>ME</i>	10	6,6	1,7	0,9	0,6
	<i>MSE</i>	20	145,2	26,6	16,5	14,5
	<i>MAE</i>	20	11,5	5,0	3,6	3,3
	<i>ME</i>	20	11,5	5,0	3,6	3,3
	<i>MSE</i>	30	252,3	61,1	40,8	34,2
	<i>MAE</i>	30	15,5	7,7	6,2	5,6
	<i>ME</i>	30	15,5	7,7	6,2	5,6
	<i>MSE</i>	50	444,0	132,0	91,8	78,3
	<i>MAE</i>	50	20,2	11,2	9,3	8,6
	<i>ME</i>	50	20,2	11,2	9,3	8,6
	<i>MSE</i>	100	728,7	232,4	167,8	146,9
	<i>MAE</i>	100	23,2	13,8	11,7	11,0
	<i>ME</i>	100	23,2	13,6	11,5	10,7
$3\sigma_0$	<i>MSE</i>	10	-	15,6	2,0	1,4
	<i>MAE</i>	10	-	3,8	1,1	0,5
	<i>ME</i>	10	-	3,8	1,1	0,4
	<i>MSE</i>	20	-	85,3	20,2	12,1
	<i>MAE</i>	20	-	9,0	4,4	3,4
	<i>ME</i>	20	-	9,0	4,4	3,4
	<i>MSE</i>	30	-	185,2	55,1	34,2
	<i>MAE</i>	30	-	13,2	7,3	5,7
	<i>ME</i>	30	-	13,2	7,3	5,7
	<i>MSE</i>	50	-	376,5	124,1	82,2
	<i>MAE</i>	50	-	18,5	10,8	8,8
	<i>ME</i>	50	-	18,5	10,8	8,8
	<i>MSE</i>	100	-	632,6	214,4	150,6
	<i>MAE</i>	100	-	22,3	13,4	11,1
	<i>ME</i>	100	-	22,3	13,3	10,9

4.3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

MA kontrol grafiğinin kesme limitlerinin kullanılmadığı durumdaki sonuçlarında, Normal dağılımdan çok farklı dağılımlarda bile tasarım $ARL_0 \approx 370$ değerine yaklaşık sonuçlar elde edilirken MM kontrol grafiğinde bu durum farklılaşmıştır. İki yöntemin ARL değerlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla kesme limitlerinin kullanılmadığı durumdaki ARL_0 sonuçları Çizelge 4.40'ta verilmiştir.

Sonuç olarak; MA kontrol grafiğinin kesme limitleri kullanılmadığı durumda ve özellikle blok boyutu $n = 20$ olduğunda gürbüz olduğu söylenebilirken, tasarım $ARL_0 \approx 370$ değerinden çok yüksek ve çok düşük ARL_0 değerleri elde edildiğinden MM kontrol grafiği için aynı şey söylenemeyecektir. MM kontrol grafiğinin performansı ölçümlerin dağılımına büyük oranda bağlı olduğundan, genel bir tasarım önerisi yapılamamakta ve kullanılacaksa dikkatli kullanılması, mümkünse de bunun yerine MA kontrol grafiğinin kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 4.40. MA ve MM Kontrol Grafikleri ARL_0 Sonuçlarının Karşılaştırması (TL'siz)

Dağılımlar	n=10		n=20		n=30		n=50		n=100	
	MA	MM	MA	MM	MA	MM	MA	MM	MA	MM
N(0,1)	370,0	370,3	370,5	370,7	370,4	370,1	370,1	370,2	370,2	370,4
Gamma(4,1)	363,3	535,9	383,6	330,0	384,2	236,7	380,5	162,1	375,2	95,9
Gamma(3,1)	358,6	616,7	389,3	322,0	389,0	211,6	383,1	133,7	377,6	70,7
Gamma(2,1)	345,9	845,9	397,3	318,8	400,4	174,3	388,9	96,8	379,8	41,6
Gamma(1,1)	310,0	1.506,9	413,8	389,2	424,4	122,7	411,2	47,6	393,6	11,3
Gamma(0.5,1)	276,4	2.641,9	419,2	17.338,8	464,5	110,7	451,6	19,2	413,2	2,0
t(6)	325,3	845,6	364,0	969,1	374,1	954,3	378,3	887,4	378,4	779,2
t(5)	317,8	1.081,8	361,5	1.307,9	376,1	1.287,7	384,1	1.177,4	382,2	988,3
t(4)	308,4	1.734,5	366,1	2.330,5	387,3	2.322,1	394,2	2.038,6	394,8	1.559,5
t(3)	324,3	5.736,0	415,4	11.261,5	449,4	11.994,0	466,9	9.977,9	459,0	5.962,3
Uni(0,1)	422,7	102,9	373,1	89,8	368,8	93,1	366,2	102,1	366,2	116,4
Tri(0,1,0)	411,0	185,5	380,7	117,6	376,5	100,8	371,7	86,9	368,9	66,3
Sym Bi-Modal	430,0	123,0	377,8	40,0	369,1	27,2	367,3	20,2	368,7	16,5
Asym Bi-Modal	344,0	1.381,3	382,8	1.075,4	387,7	798,3	384,3	533,4	376,4	310,0
CN	229,7	8.826,6	326,1	7.648,0	371,0	5.997,7	401,9	4.201,1	408,1	2.600,1
LogN(5,0.5)	328,8	1.301,1	400,8	539,5	408,6	255,1	402,3	124,0	388,0	47,3
LogN(3,0.6)	310,1	2.029,9	408,1	796,0	430,3	266,7	420,9	102,5	398,8	29,1
LogN(1,0.7)	291,1	2.946,5	418,2	1.643,3	450,4	317,8	444,2	89,7	415,0	18,4

5. SIFIR-DURUMU VE KARARLI-DURUM ÇALIŞMALARI

5.1. Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler

4. Bölümde sunulan gürbüzlük çalışmaları kapsamında MA kontrol grafiğinin MM kontrol grafiğinden daha iyi özelliklere sahip olduğu ve bunun uygulamalarda daha iyi performansa sahip olacağı gösterilmiştir. Bu bölümde, ortalamadaki farklı sapma zamanları dikkate alınarak hem MA kontrol grafiğinin performansının hem de EWMA kontrol grafiğinin performansının araştırılarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, bu bölümde bahse konu kontrol grafiklerinin sıfır-durumu ve kararlı-durum performanslarının değişken ve sabit kontrol limitleri altında hesaplanarak laboratuvarlardaki uygulamalarda kullanılacak uygun yöntem ve tasarımların belirlenmesi hedeflenmiştir.

5.2. Yöntemler

Çalışmada 3. Bölümde detayları verilen MA ve EWMA kontrol grafikleri kullanılmıştır. Kontrol altındaki sürecin ortalama (μ_0) ve standart sapma (σ_0) parametrelerinin bilindiği varsayılmıştır. MA ve EWMA kontrol grafiklerinin kontrol limitlerinin parametresi olan L değerleri, Standart Normal dağılım modeli altında, sabit ve değişken kontrol limitleri ile ve tasarım $ARL_0 = 500$ değerini verecek şekilde sıfır-durumu ve kararlı-durum ARL değerleri için simülasyon yöntemi (100.000 tekrar) ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kesme limitlerinin parametresi olan L_t değerleri için 2, 3 ve 4 ile birlikte kesme limitinin kullanılmadığı durum ($TL'siz$) ele alınmıştır. Kontrol limitlerinin hesaplanmasında 3. Bölümde detayları verilen alt ve üst kontrol limitleri formülleri kullanılırken, MA kontrol grafiğinin blok boyutu (n) olarak 10, 20, 30, 50 ve 100 değerleri, EWMA kontrol grafiğinin λ parametresi olarak ise 0,01, 0,05, 0,10, 0,20 ve 0,50 değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte, kontrol dışı süreç ortalaması $\mu_1 = \mu_0 + \Delta$ olacak şekilde ve $\Delta = 0,5\sigma_0, 1\sigma_0, 2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ olmak üzere 4 farklı sapma büyüklüğü dikkate alınmıştır.

Gürbüzlük çalışmalarından farklı olarak her iki kontrol grafiğinde de kararlı-durumun en az 200. gözleme kadar devam ettiği varsayılmıştır. Tasarım $ARL_0 = 500$ değerini veren L parametresinin simülasyonla hesaplanması çalışmalarında 201. gözlemle birlikte kontrol limitleri ile sürecin kontrolü başlamıştır. Aynı şekilde, süreçte sapma olduğu durumda, 201. gözlemle birlikte süreçte sapma oluşturulmaya başlanmıştır.

Bu kapsamda gözlemlerin Standart Normal dağılım gösterdiği varsayılarak;

- MA kontrol grafiğinin değişken kontrol limitleri ile sıfır-durumu (*MA ZS-vary_CL*) için tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan blok boyutu bazında parametreleri Çizelge 5.1’de,
- MA kontrol grafiğinin sabit kontrol limitleri ile sıfır-durumu (*MA ZS-cons_CL*) için tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan blok boyutu bazında parametreleri Çizelge 5.2’de,
- MA kontrol grafiğinin sabit kontrol limitleri ile kararlı-durum (*MA SS-cons_CL*) için tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan blok boyutu bazında parametreleri Çizelge 5.3’te,
- EWMA kontrol grafiğinin değişken kontrol limitleri ile sıfır-durumu (*EWMA ZS-vary_CL*) için tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan λ değeri bazında parametreleri Çizelge 5.4’te,
- EWMA kontrol grafiğinin sabit kontrol limitleri ile sıfır-durumu (*EWMA ZS-cons_CL*) için tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan λ değeri bazında parametreleri Çizelge 5.5’te,
- EWMA kontrol grafiğinin sabit kontrol limitleri ile kararlı-durum (*EWMA SS-cons_CL*) için tasarım $ARL_0 = 500$ değerini sağlayan λ değeri bazında parametreleri Çizelge 5.6’da,

verilmiştir.

Çizelge 5.1. MA Kontrol Grafiğinin Değişken Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL (*MA ZS-vary_CL*) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)

L_t	n	L	n	L	n	L	n	L	n	L
TL’siz	10	2,853	20	2,677	30	2,556	50	2,390	100	2,150
4		2,853		2,677		2,556		2,390		2,150
3		2,807		2,640		2,520		2,357		2,121
2		2,471		2,332		2,225		2,082		1,875

Çizelge 5.2. MA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL ($MA\ ZS-cons_CL$) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)

L_t	n	L	n	L	n	L	n	L	n	L
$TL'siz$	10	3,037	20	3,068	30	3,118	50	3,217	100	3,430
4		3,037		3,068		3,118		3,217		3,430
3		2,992		3,028		3,079		3,180		3,387
2		2,644		2,698		2,754		2,852		3,047

Çizelge 5.3. MA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Kararlı-Durum ARL ($MA\ SS-cons_CL$) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)

L_t	n	L	n	L	n	L	n	L	n	L
$TL'siz$	10	2,852	20	2,676	30	2,553	50	2,378	100	2,108
4		2,852		2,676		2,553		2,378		2,108
3		2,807		2,638		2,516		2,344		2,080
2		2,468		2,328		2,222		2,068		1,832

Çizelge 5.4. EWMA Kontrol Grafiğinin Değişken Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL ($EWMA\ ZS-vary_CL$) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)

L_t	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L
$TL'siz$	0,01	2,128	0,05	2,639	0,10	2,824	0,20	2,966	0,50	3,072
4		2,128		2,638		2,822		2,963		3,064
3		2,101		2,599		2,775		2,897		2,923
2		1,857		2,292		2,434		2,501		2,375

Çizelge 5.5. EWMA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Sıfır-Durumu ARL ($EWMA\ ZS-cons_CL$) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)

L_t	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L
$TL'siz$	0,01	1,973	0,05	2,615	0,10	2,814	0,20	2,962	0,50	3,071
4		1,973		2,615		2,814		2,958		3,062
3		1,946		2,577		2,766		2,894		2,923
2		1,718		2,274		2,427		2,500		2,375

Çizelge 5.6. EWMA Kontrol Grafiğinin Sabit Kontrol Limitleri ile Kararlı-Durum ARL ($EWMA SS-cons_CL$) için Parametre Değerleri ($ARL_0 = 500$)

L_t	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L
$TL'siz$	0,01	2,045	0,05	2,631	0,10	2,822	0,20	2,965	0,50	3,072
4		2,043		2,630		2,820		2,962		3,063
3		2,016		2,591		2,773		2,897		2,923
2		1,776		2,282		2,428		2,497		2,373

Yukarıda verilen durumlara ilave olarak, kontrol grafiği tasarımının sıfır-durumuna uygun olarak yapıldığı ancak uygulamanın kararlı-durum şartlarında gerçekleştiği durumun da gerçek laboratuvar uygulamalarında yaşanma olasılığı yüksek olduğundan bu şartlarda da simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. MA kontrol grafiği için Çizelge 5.1’de verilen değişken kontrol limitleri ile sıfır-durumu tasarım parametrelerinin kullanıldığı ancak simülasyonların sabit kontrol limitleri ile kararlı-durum şartlarında yapıldığı uygulama “ $MA SS-cons_CL-ZS_par$ ” ile gösterilmiştir. Burada, tasarımda sıfır-durumunda değişken kontrol limitleri kullanılırken, uygulamada sabit kontrol limitleri kullanılmasının sebebi, gözlem değerinin blok boyutuna ulaşması ile MA kontrol grafiğinin zaten sabit kontrol limitine ulaşmasıdır.

Aynı şekilde, EWMA kontrol grafiği için de, Çizelge 5.5’de verilen sabit kontrol limitleri ile sıfır-durumu tasarım parametrelerinin kullanıldığı, simülasyonların ise buna karşılık gelen sabit kontrol limitleri ile kararlı-durum şartlarında yapıldığı uygulama “ $EWMA SS-cons_CL-ZS_par$ ” ile gösterilmiştir.

Çalışmada, MA ve EWMA kontrol grafiklerinin ARL ve bu kapsamda MRL ve $SDRL$ gibi diğer performans metrikleri hesaplanmıştır.

5.3. Simülasyon Sonuçları

5.3.1. MA Kontrol Grafiği Sonuçları

MA kontrol grafiğinin sıfır-durumu ve kararlı-durum sonuçları; sürecin kontrol altında olduğu durum için Çizelge 5.7’de, süreçte sapma olduğu durumlarda ise sırasıyla $\Delta = 0,5\sigma_0, 1\sigma_0, 2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ sapma büyüklükleri için Çizelge 5.8 – Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. MA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
MA ZS - vary_CL	TL'siz	500,8	501,7	346,0	500,0	507,0	344,0	500,5	510,4	344,0	500,1	524,0	339,0	500,1	568,0	322,0
MA ZS - cons_CL		500,0	781,3	128,0	500,5	1.123,4	2,0	500,2	1.443,4	1,0	500,4	2.120,5	1,0	500,6	4.082,8	1,0
MA SS - cons_CL		500,4	501,0	347,0	500,4	501,7	347,0	500,6	506,1	346,0	500,4	509,5	344,0	500,1	522,4	339,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		502,5	503,7	347,0	498,4	502,3	345,0	505,1	508,4	351,0	517,0	528,3	354,0	548,4	575,1	370,0
MA ZS - vary_CL	L _t =4	500,7	500,5	347,0	500,8	504,6	345,5	500,6	511,9	343,0	500,4	524,5	339,0	500,0	566,8	321,0
MA ZS - cons_CL		500,3	781,0	129,0	500,4	1.122,3	2,0	500,7	1.456,8	1,0	500,0	2.151,8	1,0	500,4	4.074,5	1,0
MA SS - cons_CL		500,5	500,4	346,0	500,4	502,7	347,0	500,4	506,7	345,0	500,8	508,8	344,0	500,4	524,2	340,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		501,6	503,1	348,0	503,3	509,3	347,0	507,3	514,9	350,0	515,8	527,1	355,0	546,5	571,0	370,5
MA ZS - vary_CL	L _t =3	500,3	502,7	346,0	500,4	505,1	345,0	500,3	507,5	344,0	500,2	528,1	337,0	500,2	566,3	323,0
MA ZS - cons_CL		500,3	791,8	119,0	500,6	1.143,1	2,0	500,4	1.472,9	1,0	500,3	2.149,8	1,0	500,4	4.219,1	1,0
MA SS - cons_CL		500,1	500,3	348,0	500,7	504,0	347,0	500,7	505,9	345,0	500,8	510,6	343,0	500,6	521,7	340,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		499,7	499,0	347,0	502,9	505,5	349,0	504,4	508,2	348,0	516,9	525,7	357,0	548,6	570,1	374,0
MA ZS - vary_CL	L _t =2	500,4	497,3	347,0	500,3	500,5	346,0	500,7	505,1	344,0	500,7	517,5	342,0	500,5	567,0	324,0
MA ZS - cons_CL		500,6	815,3	79,0	500,5	1.192,1	2,0	500,5	1.553,8	1,0	500,4	2.290,5	1,0	500,0	4.442,6	1,0
MA SS - cons_CL		500,1	492,5	350,0	500,1	493,1	349,0	500,6	497,6	348,0	500,6	501,1	347,0	500,2	518,3	339,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		507,4	498,8	355,0	508,2	502,5	354,5	503,6	499,3	350,0	518,7	520,2	359,0	555,2	573,2	377,0

Çizelge 5.8. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $0,5\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
MA ZS - vary_CL	TL'siz	39,8	36,1	29,0	28,5	23,4	23,0	24,9	19,9	20,0	21,4	17,4	17,0	17,4	15,5	13,0
MA ZS - cons_CL		26,2	42,3	3,0	11,3	25,0	1,0	6,6	17,6	1,0	3,4	10,5	1,0	1,8	4,4	1,0
MA SS - cons_CL		40,4	35,9	29,0	30,8	22,6	23,0	29,7	18,1	26,0	32,0	15,5	31,0	39,2	19,5	39,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		40,8	36,4	30,0	30,9	22,6	23,0	29,7	18,1	26,0	32,1	15,7	31,0	40,0	19,6	40,0
MA ZS - vary_CL	L _t =4	40,0	36,3	29,0	28,7	23,8	22,0	25,0	19,9	20,0	21,7	17,6	17,0	17,5	15,5	13,0
MA ZS - cons_CL		26,5	42,5	3,0	11,3	25,0	1,0	6,6	17,6	1,0	3,5	10,6	1,0	1,8	4,4	1,0
MA SS - cons_CL		40,7	36,3	30,0	31,0	22,7	23,0	29,7	18,2	26,0	32,0	15,6	31,0	39,2	19,5	39,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		40,9	36,4	30,0	31,0	22,7	23,0	29,8	18,3	26,0	32,2	15,7	32,0	40,1	19,6	40,0
MA ZS - vary_CL	L _t =3	42,1	38,1	31,0	29,9	24,5	23,0	26,0	20,7	21,0	22,5	18,3	18,0	18,0	16,0	14,0
MA ZS - cons_CL		27,8	45,3	3,0	11,9	26,7	1,0	7,0	18,7	1,0	3,6	11,1	1,0	1,8	4,2	1,0
MA SS - cons_CL		43,3	38,3	32,0	32,7	24,1	25,0	31,3	19,0	27,0	33,3	16,1	33,0	40,6	20,0	41,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		43,1	38,0	31,0	32,9	24,0	25,0	31,2	19,0	27,0	33,6	16,2	33,0	41,6	20,0	42,0
MA ZS - vary_CL	L _t =2	58,8	54,2	43,0	40,7	34,2	31,0	34,7	28,2	28,0	30,0	24,3	24,0	23,9	21,3	18,0
MA ZS - cons_CL		40,3	67,7	3,0	16,9	40,2	1,0	9,7	28,1	1,0	4,6	16,8	1,0	2,1	7,2	1,0
MA SS - cons_CL		68,4	54,2	52,0	52,0	33,9	42,0	48,3	26,6	41,0	49,1	21,8	47,0	56,9	24,4	57,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		68,8	54,7	52,0	51,9	33,7	42,0	48,4	26,7	41,0	49,7	22,1	48,0	58,2	24,5	58,0

Çizelge 5.9. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
MA ZS - vary_CL	TL'siz	9,1	6,4	8,0	7,8	5,1	7,0	7,2	4,9	6,0	6,4	4,5	5,0	5,4	4,0	4,0
MA ZS - cons_CL		4,1	6,0	1,0	2,2	3,3	1,0	1,8	2,2	1,0	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8	1,0
MA SS - cons_CL		10,5	5,8	9,0	12,1	4,6	12,0	14,1	5,4	14,0	16,8	7,0	17,0	20,7	9,8	21,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		10,5	5,8	9,0	12,1	4,6	12,0	14,0	5,4	14,0	16,9	7,0	17,0	21,2	9,8	21,0
MA ZS - vary_CL	$L_t=4$	9,2	6,5	8,0	7,9	5,2	7,0	7,2	4,9	6,0	6,4	4,5	5,0	5,4	4,0	4,0
MA ZS - cons_CL		4,2	6,1	1,0	2,2	3,3	1,0	1,8	2,2	1,0	1,5	1,4	1,0	1,3	0,9	1,0
MA SS - cons_CL		10,6	5,8	9,0	12,2	4,6	12,0	14,1	5,4	14,0	16,9	7,0	17,0	20,8	9,9	21,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		10,6	5,9	9,0	12,2	4,6	12,0	14,1	5,4	14,0	17,0	7,0	17,0	21,4	9,9	21,0
MA ZS - vary_CL	$L_t=3$	10,1	7,0	8,0	8,5	5,5	7,0	7,8	5,2	7,0	6,9	4,8	6,0	5,8	4,3	5,0
MA ZS - cons_CL		4,5	6,8	1,0	2,4	3,7	1,0	1,8	2,4	1,0	1,5	1,5	1,0	1,3	0,9	1,0
MA SS - cons_CL		11,9	6,5	10,0	13,4	4,9	13,0	15,4	5,7	15,0	18,4	7,4	18,0	22,6	10,5	23,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		11,9	6,5	10,0	13,5	5,0	13,0	15,4	5,7	15,0	18,5	7,4	19,0	23,1	10,4	23,0
MA ZS - vary_CL	$L_t=2$	16,1	11,8	13,0	13,1	8,5	11,0	12,0	7,8	10,0	10,5	7,2	9,0	8,7	6,4	7,0
MA ZS - cons_CL		7,6	12,3	2,0	3,5	6,5	1,0	2,5	4,3	1,0	1,9	2,4	1,0	1,6	1,4	1,0
MA SS - cons_CL		26,5	11,7	24,0	26,9	8,1	26,0	29,3	8,4	29,0	33,2	10,5	33,0	38,8	14,5	39,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		26,6	11,7	24,0	26,9	8,1	26,0	29,4	8,4	29,0	33,3	10,5	33,0	39,7	14,6	40,0

Çizelge 5.10. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
MA ZS - vary_CL	TL'siz	2,7	1,4	2,0	2,5	1,3	2,0	2,3	1,3	2,0	2,1	1,2	2,0	1,9	1,0	2,0
MA ZS - cons_CL		1,2	0,6	1,0	1,1	0,4	1,0	1,1	0,3	1,0	1,1	0,3	1,0	1,0	0,2	1,0
MA SS - cons_CL		5,0	1,6	5,0	6,5	2,2	6,0	7,4	2,7	7,0	8,8	3,5	9,0	10,8	4,9	11,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		5,0	1,6	5,0	6,4	2,2	6,0	7,4	2,7	7,0	8,9	3,5	9,0	11,1	4,9	11,0
MA ZS - vary_CL	L _t =4	2,9	1,5	3,0	2,6	1,4	2,0	2,4	1,3	2,0	2,2	1,2	2,0	2,0	1,1	2,0
MA ZS - cons_CL		1,3	0,7	1,0	1,1	0,5	1,0	1,1	0,4	1,0	1,1	0,3	1,0	1,1	0,3	1,0
MA SS - cons_CL		5,2	1,7	5,0	6,8	2,3	7,0	7,8	2,9	8,0	9,3	3,7	9,0	11,4	5,1	11,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		5,2	1,7	5,0	6,8	2,4	7,0	7,8	2,9	8,0	9,3	3,7	9,0	11,6	5,2	12,0
MA ZS - vary_CL	L _t =3	3,9	2,0	4,0	3,5	1,9	3,0	3,3	1,8	3,0	3,0	1,7	3,0	2,6	1,6	2,0
MA ZS - cons_CL		1,5	1,1	1,0	1,4	0,8	1,0	1,3	0,7	1,0	1,3	0,6	1,0	1,3	0,6	1,0
MA SS - cons_CL		7,2	2,4	7,0	9,2	3,2	9,0	10,5	3,9	10,0	12,5	4,9	12,0	15,2	6,8	15,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		7,2	2,4	7,0	9,2	3,2	9,0	10,6	3,9	11,0	12,5	4,9	12,0	15,5	6,8	16,0
MA ZS - vary_CL	L _t =2	9,6	5,2	9,0	8,7	4,8	8,0	8,0	4,5	7,0	7,3	4,3	6,0	6,0	3,9	5,0
MA ZS - cons_CL		3,2	3,5	2,0	2,5	2,2	2,0	2,3	1,9	2,0	2,2	1,7	2,0	2,2	1,6	2,0
MA SS - cons_CL		23,1	6,3	23,0	27,4	7,8	27,0	30,3	9,1	30,0	34,2	11,2	34,0	39,9	15,1	40,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		23,1	6,3	23,0	27,4	7,8	27,0	30,3	9,1	30,0	34,4	11,3	34,0	40,7	15,2	41,0

Çizelge 5.11. MA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
MA ZS - vary_CL	TL'siz	1,5	0,7	1,0	1,4	0,6	1,0	1,4	0,6	1,0	1,3	0,5	1,0	1,2	0,5	1,0
MA ZS - cons_CL		1,0	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0
MA SS - cons_CL		3,5	1,1	4,0	4,5	1,5	4,0	5,2	1,8	5,0	6,1	2,3	6,0	7,5	3,2	7,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		3,5	1,1	4,0	4,5	1,5	4,0	5,1	1,8	5,0	6,1	2,3	6,0	7,6	3,2	8,0
MA ZS - vary_CL	L _t =4	2,0	1,0	2,0	1,8	1,0	2,0	1,7	0,9	1,0	1,6	0,9	1,0	1,5	0,8	1,0
MA ZS - cons_CL		1,2	0,5	1,0	1,2	0,5	1,0	1,2	0,5	1,0	1,2	0,5	1,0	1,2	0,5	1,0
MA SS - cons_CL		4,5	1,6	4,0	5,8	2,2	6,0	6,7	2,6	7,0	7,9	3,2	8,0	9,7	4,4	10,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		4,5	1,6	4,0	5,8	2,2	6,0	6,7	2,6	7,0	7,9	3,3	8,0	9,9	4,4	10,0
MA ZS - vary_CL	L _t =3	4,4	2,6	4,0	3,9	2,5	3,0	3,6	2,4	3,0	3,3	2,3	3,0	2,9	2,1	2,0
MA ZS - cons_CL		2,1	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,4	2,0	2,0	1,4	2,0
MA SS - cons_CL		9,5	4,0	9,0	12,1	5,1	12,0	13,9	5,9	13,0	16,4	7,2	16,0	20,0	9,6	20,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		9,5	4,0	9,0	12,1	5,1	12,0	13,9	5,9	13,0	16,5	7,3	16,0	20,4	9,6	20,0
MA ZS - vary_CL	L _t =2	21,1	12,5	19,0	19,1	11,9	17,0	17,9	11,7	15,0	16,4	10,7	14,0	13,7	10,0	11,0
MA ZS - cons_CL		7,1	6,9	5,0	6,7	6,2	5,0	6,6	6,1	5,0	6,5	6,0	5,0	6,4	5,9	5,0
MA SS - cons_CL		45,0	17,0	43,0	56,1	21,7	54,0	63,8	25,2	62,0	73,9	30,7	72,0	88,6	40,7	87,0
MA SS - cons_CL - ZS_par		45,1	17,1	43,0	56,2	21,7	54,0	63,7	25,3	62,0	74,3	30,8	73,0	90,5	40,8	89,0

Çizelge 5.8 – Çizelge 5.11’de yer alan tablolar incelendiğinde; en düşük ARL_1 değerlerinin, TL kullanılmadığı durumlardaki sonuçlar olduğu ve $L_t = 4$ olduğu durumdaki sonuçların ise bu sonuçlara çok yakın olduğu görülmektedir. Blok boyutu bazında ise $n = 10$ ’dan itibaren blok boyutu arttıkça ARL_1 değerleri iyileşmektedir (“ $MA\ SS-cons_CL$ ” yönteminin $2\sigma_0$ ve 3σ büyüklüğündeki sapmalardaki performansı hariç). Yöntemler arasında en iyi sonuçların ise kontrol limitlerinin sabit olduğu ve sıfır-durumu ARL değerleri ($MA\ ZS-cons_CL$) ile elde edildiği görülmektedir. Ancak bu yöntemle elde edilen RL değerlerinde oldukça fazla değişkenlik bulunmakta ve bu kapsamda $SDRL$ değerleri çok yüksek iken MRL değerleri ise oldukça düşük olmaktadır. Her ne kadar ARL_1 değerleri düşük olsa da bu yöntemin kararlı bir yapıya sahip olduğunu söylemek zordur. Bununla birlikte, değişken kontrol limitlerine sahip kontrol grafiğinin sıfır-durumu ARL_1 değerleri, sabit kontrol limitli kontrol grafiğinin kararlı-durum ARL_1 değerlerinden daha düşüktür.

Yukarıda verilen yöntemler dışında, “ $MA\ SS-cons_CL-ZS_par$ ” sonuçları ise sadece bu sonuçların tasarım kontrol grafiği olan “ $MA\ ZS-vary_CL$ ” ile karşılaştırılmıştır. “ $MA\ SS-cons_CL-ZS_par$ ” ile elde edilen ARL sonuçlarının “ $MA\ ZS-vary_CL$ ” ile elde edilen sonuçlardan yüzde olarak farkları blok boyutu bazında Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. MA Kontrol Grafiği - “MA SS-cons_CL-ZS_par” ARL Sonuçlarının “MA ZS-vary_CL” Sonuçlarından Yüzde Olarak Farkları

ARL	TL	n=10	n=20	n=30	n=50	n=100
<i>ARL₀</i>	<i>TL'siz</i>	0,3%	-0,3%	0,9%	3,4%	9,7%
	<i>L_r=4</i>	0,2%	0,5%	1,3%	3,1%	9,3%
	<i>L_r=3</i>	-0,1%	0,5%	0,8%	3,3%	9,7%
	<i>L_r=2</i>	1,4%	1,6%	0,6%	3,6%	10,9%
<i>ARL_{1(0.5)}</i>	<i>TL'siz</i>	2,4%	8,1%	19,2%	49,8%	129,8%
	<i>L_r=4</i>	2,1%	7,9%	19,4%	48,7%	129,6%
	<i>L_r=3</i>	2,5%	10,0%	20,2%	49,2%	131,0%
	<i>L_r=2</i>	16,9%	27,5%	39,5%	65,4%	143,3%
<i>ARL₁₍₁₎</i>	<i>TL'siz</i>	14,9%	56,4%	95,7%	165,3%	296,1%
	<i>L_r=4</i>	15,6%	55,1%	96,6%	164,4%	297,2%
	<i>L_r=3</i>	17,9%	57,7%	97,2%	166,5%	297,8%
	<i>L_r=2</i>	65,0%	105,6%	145,5%	216,1%	358,1%
<i>ARL₁₍₂₎</i>	<i>TL'siz</i>	83,8%	159,3%	218,3%	313,9%	484,9%
	<i>L_r=4</i>	82,8%	159,7%	220,3%	315,1%	489,1%
	<i>L_r=3</i>	83,1%	159,8%	223,1%	322,6%	507,3%
	<i>L_r=2</i>	140,2%	214,8%	279,7%	373,6%	574,3%
<i>ARL₁₍₃₎</i>	<i>TL'siz</i>	129,7%	214,0%	275,1%	370,3%	523,1%
	<i>L_r=4</i>	131,2%	219,9%	286,8%	388,0%	561,7%
	<i>L_r=3</i>	116,8%	209,2%	284,5%	402,7%	605,7%
	<i>L_r=2</i>	114,1%	193,8%	256,0%	352,9%	559,7%

Sonuçlardan görüleceği üzere, MA kontrol grafiği sıfır-durumu tasarımı ile kararlı-durum şartlarında kullanıldığında özellikle blok boyutu arttıkça daha fazla olmak üzere, genel itibariyle *ARL* değerlerinin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte sapma oldukça ve sapma boyutu büyüdükçe *ARL* değerlerindeki artış da iyice yükselmekte hatta 6 katına çıkan durumlarla karşılaşılabilir.

5.3.2. EWMA Kontrol Grafiği Sonuçları

EWMA kontrol grafiğinin sıfır-durumu ve kararlı-durum sonuçları; sürecin kontrol altında olduğu durum için izelge 5.13’de, süreçte sapma olduğu durumlarda ise sırasıyla $\Delta = 0,5\sigma_0, 1\sigma_0, 2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ sapma büyüklükleri için izelge 5.14 – izelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.14 – izelge 5.17’de yer alan tablolar incelendiğinde; MA kontrol grafiğinde olduğu gibi, en düşük ARL_1 değerlerinin, TL kullanılmadığı durumlardaki sonuçlar olduğu ve $L_t = 4$ olduğu durumdaki sonuçların ise bu sonuçlara çok yakın olduğu görülmektedir. Yöntemler arasında en iyi sonuçların ise kontrol limitlerinin değerken olduğu ve sıfır-durumu ARL değerleri ($EWMA\ ZS-vary_CL$) ile elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemde aynı zamanda tüm sapma büyüklükleri için λ parametresi arttığında ARL_1 değerleri de artmaktadır. Diğer yöntemlerde ise, genel itibariyle, küçük ve orta büyüklükteki ($0,5\sigma_0$ ve $1\sigma_0$) sapmalarda λ değer arttıa ARL_1 değerleri de artmakta, büyük sapmalarda ($2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$) ise λ değer arttıa ARL_1 değerleri azalmaktadır.

Çizelge 5.13. EWMA Kontrol Grafiği - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	$\lambda=0,01$			$\lambda=0,05$			$\lambda=0,10$			$\lambda=0,20$			$\lambda=0,50$		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
EWMA ZS - vary_CL	<i>TL'siz</i>	500,3	617,2	282,0	500,1	515,8	341,0	500,5	505,1	346,0	500,2	496,8	347,0	500,6	498,6	349,0
EWMA ZS - cons_CL		500,3	458,8	360,0	500,3	484,9	352,0	500,5	491,3	350,0	500,3	495,7	348,0	500,3	499,5	346,0
EWMA SS - cons_CL		500,1	529,3	335,0	500,5	504,4	345,0	500,5	501,8	345,0	500,6	499,8	347,0	500,1	500,6	346,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		425,5	454,9	283,0	480,3	484,4	332,0	489,0	494,5	336,0	495,2	493,1	345,0	499,0	500,4	343,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=4</i>	500,2	619,8	281,0	500,6	513,8	343,0	500,1	507,1	345,0	500,5	500,8	347,0	500,5	499,8	347,0
EWMA ZS - cons_CL		500,5	461,4	359,0	500,3	485,4	353,0	500,2	490,9	349,0	500,2	498,3	348,0	500,4	496,4	351,0
EWMA SS - cons_CL		500,0	531,1	336,0	500,1	504,2	346,0	500,5	500,9	348,0	500,1	501,0	346,0	500,7	498,1	348,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		426,8	457,1	285,0	484,6	489,6	334,0	493,4	494,4	341,0	495,1	494,3	343,0	498,3	494,9	347,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=3</i>	500,6	618,7	283,0	500,5	516,4	340,0	500,2	503,4	346,0	500,6	500,6	348,0	500,7	500,9	346,0
EWMA ZS - cons_CL		500,3	462,9	357,0	500,0	486,9	351,0	500,3	492,6	349,0	500,4	496,2	349,0	500,5	497,6	346,0
EWMA SS - cons_CL		500,4	528,9	337,0	500,5	501,7	348,0	500,3	501,3	346,0	500,5	499,4	348,0	500,2	498,8	347,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		427,2	456,9	284,0	483,9	490,6	333,0	488,6	491,3	338,0	497,3	495,4	347,0	503,1	501,8	349,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=2</i>	500,6	617,8	281,0	500,6	511,5	343,0	500,0	501,6	346,0	500,2	499,2	347,0	500,0	496,5	348,0
EWMA ZS - cons_CL		500,6	459,1	361,0	500,6	484,3	353,0	500,3	491,7	350,0	500,5	494,9	349,0	500,6	499,4	348,0
EWMA SS - cons_CL		500,0	523,9	337,0	500,0	494,6	350,0	500,4	491,1	349,0	500,2	491,2	352,0	500,2	489,2	349,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		434,5	458,8	291,0	490,4	485,1	342,0	500,6	493,2	350,0	504,3	495,9	352,0	508,8	500,1	354,0

Çizelge 5.14. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $0,5\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	$\lambda=0,01$			$\lambda=0,05$			$\lambda=0,10$			$\lambda=0,20$			$\lambda=0,50$		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
EWMA ZS - vary_CL	TL'siz	16,3	14,3	12,0	23,7	17,8	20,0	28,7	23,2	23,0	40,4	36,4	30,0	88,1	86,4	62,0
EWMA ZS - cons_CL		33,7	13,2	31,0	28,7	16,6	25,0	31,3	22,4	25,0	41,8	36,5	31,0	88,8	86,8	62,0
EWMA SS - cons_CL		33,1	18,9	32,0	28,1	17,8	24,0	30,7	22,8	25,0	41,3	36,6	30,0	88,8	87,1	62,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		31,5	18,6	30,0	27,8	17,5	24,0	30,5	22,9	24,0	41,2	36,3	30,0	88,4	86,7	62,0
EWMA ZS - vary_CL	L _t =4	16,4	14,3	13,0	23,7	17,8	20,0	29,0	23,5	23,0	40,7	36,7	30,0	88,5	86,7	62,0
EWMA ZS - cons_CL		33,6	13,1	31,0	28,9	16,6	25,0	31,4	22,5	25,0	41,8	36,3	31,0	89,2	86,8	63,0
EWMA SS - cons_CL		33,0	18,8	32,0	28,2	17,8	25,0	30,8	23,0	25,0	41,5	36,6	30,0	88,5	86,5	62,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		31,6	18,5	30,0	27,8	17,6	24,0	30,6	22,9	25,0	40,9	36,1	30,0	88,4	86,3	62,0
EWMA ZS - vary_CL	L _t =3	17,0	14,7	13,0	24,7	18,6	21,0	30,1	24,2	24,0	42,5	38,2	31,0	89,3	87,0	63,0
EWMA ZS - cons_CL		34,6	13,5	32,0	29,9	17,4	26,0	32,5	23,4	26,0	43,6	37,8	32,0	89,1	86,8	63,0
EWMA SS - cons_CL		34,4	19,4	33,0	29,6	18,4	26,0	32,4	24,0	26,0	43,3	37,7	32,0	89,8	87,1	63,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		32,9	19,0	31,0	29,2	18,2	26,0	32,2	23,7	26,0	43,2	37,4	32,0	90,0	88,0	63,0
EWMA ZS - vary_CL	L _t =2	22,2	19,4	17,0	32,6	24,7	27,0	40,1	32,7	31,0	57,0	51,4	41,0	115,0	112,9	80,0
EWMA ZS - cons_CL		42,3	17,6	39,0	37,9	23,3	32,0	42,7	32,3	33,0	58,2	51,4	42,0	115,5	112,5	81,0
EWMA SS - cons_CL		50,6	24,6	48,0	46,3	24,6	41,0	51,2	32,9	42,0	66,2	51,3	51,0	123,7	112,1	89,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		48,7	24,2	47,0	46,1	24,6	41,0	51,1	32,8	42,0	66,8	51,7	52,0	124,4	112,9	90,0

Çizelge 5.15. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	$\lambda=0,01$			$\lambda=0,05$			$\lambda=0,10$			$\lambda=0,20$			$\lambda=0,50$		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
EWMA ZS - vary_CL	TL'siz	5,2	3,9	4,0	7,3	4,7	6,0	8,2	5,2	7,0	9,6	6,6	8,0	17,2	15,4	13,0
EWMA ZS - cons_CL		15,9	4,2	15,0	11,4	4,2	11,0	10,3	4,8	9,0	10,6	6,4	9,0	17,4	15,1	13,0
EWMA SS - cons_CL		15,8	8,0	16,0	11,2	5,2	11,0	10,1	5,2	9,0	10,3	6,5	9,0	17,4	15,4	13,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		15,2	7,9	15,0	11,1	5,2	11,0	10,1	5,2	9,0	10,3	6,5	9,0	17,3	15,3	13,0
EWMA ZS - vary_CL	L _t =4	5,3	3,9	4,0	7,3	4,8	6,0	8,3	5,2	7,0	9,7	6,7	8,0	17,4	15,5	13,0
EWMA ZS - cons_CL		16,0	4,3	15,0	11,5	4,3	11,0	10,4	4,8	9,0	10,6	6,4	9,0	17,6	15,4	13,0
EWMA SS - cons_CL		15,9	8,0	16,0	11,3	5,2	11,0	10,2	5,2	9,0	10,4	6,6	9,0	17,5	15,5	13,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		15,3	7,9	15,0	11,2	5,2	11,0	10,2	5,2	9,0	10,4	6,6	9,0	17,4	15,3	13,0
EWMA ZS - vary_CL	L _t =3	5,6	4,2	5,0	8,0	5,1	7,0	9,0	5,6	8,0	10,6	7,2	9,0	18,8	16,5	14,0
EWMA ZS - cons_CL		16,9	4,5	16,0	12,2	4,5	11,0	11,1	5,1	10,0	11,5	7,0	10,0	19,0	16,5	14,0
EWMA SS - cons_CL		17,4	8,5	17,0	12,6	5,6	12,0	11,5	5,7	11,0	11,8	7,2	10,0	19,3	16,5	14,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		16,7	8,4	17,0	12,5	5,6	12,0	11,4	5,6	10,0	11,8	7,1	10,0	19,4	16,6	14,0
EWMA ZS - vary_CL	L _t =2	8,4	6,3	7,0	12,0	7,5	10,0	13,7	8,5	12,0	16,4	11,5	13,0	30,5	27,5	22,0
EWMA ZS - cons_CL		23,0	6,5	22,0	17,1	6,8	16,0	16,1	8,0	14,0	17,3	11,3	14,0	31,0	27,8	22,0
EWMA SS - cons_CL		32,3	12,3	32,0	26,2	8,7	25,0	25,2	9,1	24,0	26,4	11,9	24,0	40,0	27,7	32,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		31,5	12,1	31,0	26,1	8,7	25,0	25,1	9,1	24,0	26,4	11,9	24,0	40,0	27,5	32,0

Çizelge 5.16. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	$\lambda=0,01$			$\lambda=0,05$			$\lambda=0,10$			$\lambda=0,20$			$\lambda=0,50$		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
EWMA ZS - vary_CL	<i>TL'siz</i>	1,9	1,0	2,0	2,4	1,3	2,0	2,7	1,4	2,0	2,9	1,5	3,0	3,4	2,1	3,0
EWMA ZS - cons_CL		7,8	1,4	8,0	5,2	1,3	5,0	4,4	1,3	4,0	3,7	1,3	4,0	3,6	2,0	3,0
EWMA SS - cons_CL		7,9	3,7	8,0	5,2	2,0	5,0	4,3	1,6	4,0	3,7	1,5	4,0	3,6	2,1	3,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		7,6	3,6	8,0	5,2	2,0	5,0	4,3	1,6	4,0	3,7	1,5	3,0	3,6	2,0	3,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=4</i>	1,9	1,1	2,0	2,5	1,4	2,0	2,8	1,5	3,0	3,0	1,6	3,0	3,6	2,2	3,0
EWMA ZS - cons_CL		8,2	1,5	8,0	5,5	1,3	5,0	4,6	1,3	4,0	3,9	1,4	4,0	3,9	2,1	3,0
EWMA SS - cons_CL		8,3	3,9	8,0	5,5	2,1	5,0	4,5	1,7	4,0	3,9	1,6	4,0	3,8	2,2	3,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		8,0	3,8	8,0	5,4	2,1	5,0	4,5	1,7	4,0	3,9	1,6	4,0	3,8	2,2	3,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=3</i>	2,5	1,6	2,0	3,4	1,9	3,0	3,8	2,0	3,0	4,2	2,1	4,0	5,1	3,1	4,0
EWMA ZS - cons_CL		10,7	2,2	10,0	7,1	1,9	7,0	6,0	1,9	6,0	5,2	2,0	5,0	5,3	3,0	4,0
EWMA SS - cons_CL		11,3	5,1	11,0	7,6	3,0	7,0	6,4	2,5	6,0	5,6	2,3	5,0	5,7	3,2	5,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		10,9	5,1	11,0	7,6	3,0	7,0	6,4	2,5	6,0	5,6	2,3	5,0	5,7	3,2	5,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=2</i>	5,9	3,9	5,0	8,4	4,7	7,0	9,3	5,0	8,0	10,1	5,4	9,0	13,0	9,0	11,0
EWMA ZS - cons_CL		22,5	5,9	22,0	15,3	5,2	15,0	13,0	5,0	12,0	11,7	5,3	11,0	13,3	9,0	11,0
EWMA SS - cons_CL		32,0	11,9	32,0	24,6	7,5	24,0	22,3	6,7	22,0	20,9	6,5	20,0	22,5	9,5	21,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		31,2	11,9	31,0	24,5	7,5	24,0	22,3	6,7	22,0	20,9	6,5	20,0	22,5	9,5	21,0

Çizelge 5.17. EWMA Kontrol Grafiği - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri

Yöntem	TL	$\lambda=0,01$			$\lambda=0,05$			$\lambda=0,10$			$\lambda=0,20$			$\lambda=0,50$		
		<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
EWMA ZS - vary_CL	<i>TL'siz</i>	1,2	0,4	1,0	1,4	0,6	1,0	1,5	0,7	1,0	1,6	0,7	1,0	1,7	0,8	2,0
EWMA ZS - cons_CL		5,3	0,8	5,0	3,5	0,7	3,0	2,9	0,7	3,0	2,4	0,6	2,0	1,9	0,8	2,0
EWMA SS - cons_CL		5,4	2,4	5,0	3,5	1,2	3,0	2,9	1,0	3,0	2,4	0,8	2,0	1,9	0,8	2,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		5,2	2,4	5,0	3,5	1,2	3,0	2,8	1,0	3,0	2,3	0,8	2,0	1,9	0,8	2,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=4</i>	1,5	0,8	1,0	1,8	1,0	2,0	1,9	1,0	2,0	2,1	1,1	2,0	2,2	1,2	2,0
EWMA ZS - cons_CL		6,9	1,5	7,0	4,5	1,2	4,0	3,7	1,1	4,0	3,1	1,1	3,0	2,6	1,2	2,0
EWMA SS - cons_CL		7,0	3,3	7,0	4,5	1,8	4,0	3,7	1,5	4,0	3,1	1,3	3,0	2,5	1,2	2,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		6,8	3,2	7,0	4,5	1,8	4,0	3,7	1,5	4,0	3,1	1,3	3,0	2,5	1,2	2,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=3</i>	2,9	2,1	2,0	3,8	2,5	3,0	4,3	2,6	4,0	4,7	2,7	4,0	5,1	3,0	4,0
EWMA ZS - cons_CL		13,9	4,0	13,0	9,2	3,3	9,0	7,5	3,1	7,0	6,3	2,9	6,0	5,4	3,0	5,0
EWMA SS - cons_CL		14,7	7,3	14,0	9,7	4,4	9,0	8,0	3,7	8,0	6,7	3,2	6,0	5,9	3,2	5,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		14,2	7,2	14,0	9,6	4,4	9,0	8,0	3,7	7,0	6,7	3,2	6,0	5,9	3,2	5,0
EWMA ZS - vary_CL	<i>L_t=2</i>	13,4	9,9	11,0	18,6	11,7	16,0	20,6	12,4	18,0	22,0	13,0	19,0	24,4	15,7	21,0
EWMA ZS - cons_CL		57,5	18,5	55,0	38,3	15,4	36,0	31,9	14,2	30,0	27,0	13,5	25,0	25,3	15,7	22,0
EWMA SS - cons_CL		67,3	31,5	65,0	47,5	19,5	45,0	40,9	16,6	39,0	36,1	14,9	34,0	34,3	16,2	31,0
EWMA SS - cons_CL_ZS_par		65,2	31,1	63,0	47,4	19,5	45,0	40,9	16,6	39,0	36,1	14,9	34,0	34,4	16,3	31,0

Yukarıda verilen yöntemler dışında, MA kontrol grafiğinde olduğu gibi, “EWMA SS-cons_CL-ZS_par” sonuçları ise sadece bu sonuçların tasarım kontrol grafiği olan “EWMA ZS-cons_CL” ile karşılaştırılmıştır. “EWMA SS-cons_CL-ZS_par” ile elde edilen ARL sonuçlarının “EWMA ZS-cons_CL” ile elde edilen sonuçlardan yüzde olarak farkları blok boyutu bazında Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. EWMA Kontrol Grafiği - “EWMA SS-cons_CL-ZS_par” ARL Sonuçlarının “EWMA ZS-cons_CL” Sonuçlarından Yüzde Olarak Farkları

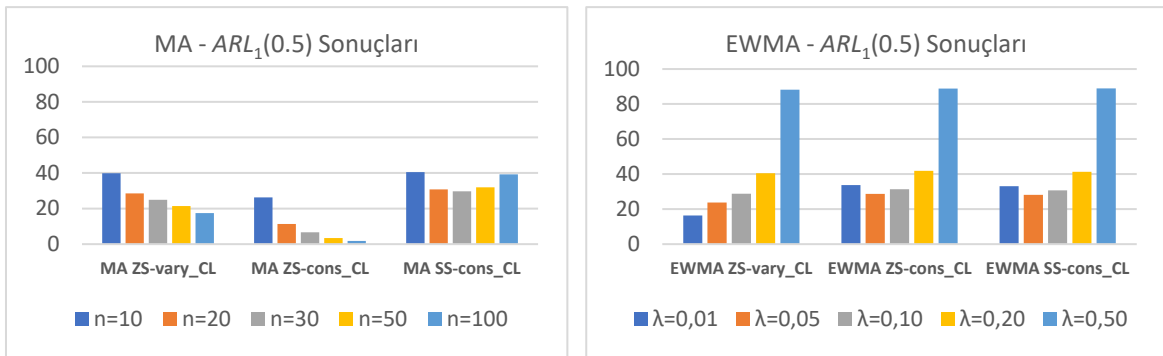
ARL	TL	$\lambda=0,01$	$\lambda=0,05$	$\lambda=0,10$	$\lambda=0,20$	$\lambda=0,50$
ARL ₀	TL'siz	-14,9%	-4,0%	-2,3%	-1,0%	-0,3%
	L _r =4	-14,7%	-3,1%	-1,4%	-1,0%	-0,4%
	L _r =3	-14,6%	-3,2%	-2,4%	-0,6%	0,5%
	L _r =2	-13,2%	-2,0%	0,1%	0,8%	1,6%
ARL ₁ (0.5)	TL'siz	-6,4%	-3,0%	-2,8%	-1,6%	-0,4%
	L _r =4	-5,9%	-3,6%	-2,7%	-2,1%	-0,8%
	L _r =3	-4,9%	-2,2%	-0,9%	-0,8%	1,0%
	L _r =2	15,3%	21,5%	19,8%	14,9%	7,7%
ARL ₁ (1)	TL'siz	-4,1%	-2,1%	-2,2%	-2,6%	-0,7%
	L _r =4	-4,2%	-2,2%	-2,3%	-1,5%	-0,9%
	L _r =3	-1,3%	2,3%	2,2%	2,9%	2,0%
	L _r =2	36,6%	52,8%	56,4%	52,6%	29,1%
ARL ₁ (2)	TL'siz	-2,5%	-1,2%	-1,3%	-1,9%	-1,5%
	L _r =4	-2,4%	-0,9%	-1,1%	-1,3%	-1,0%
	L _r =3	2,2%	6,0%	7,4%	8,4%	8,7%
	L _r =2	39,1%	60,1%	71,0%	79,6%	69,6%
ARL ₁ (3)	TL'siz	-1,7%	-0,6%	-0,9%	-1,4%	-0,5%
	L _r =4	-1,4%	-0,4%	-1,2%	-0,2%	-1,0%
	L _r =3	1,7%	4,5%	6,8%	6,7%	7,8%
	L _r =2	13,4%	23,5%	28,3%	33,8%	35,8%

Sonuçlardan görüleceği üzere, EWMA kontrol grafiği sıfır-durumu tasarımı ile kararlı-durum şartlarında kullanıldığında özellikle küçük λ parametrelerinde daha fazla olmak üzere, genel itibariyle ARL değerlerinin azaldığı görülmüştür (sapma olması durumundaki

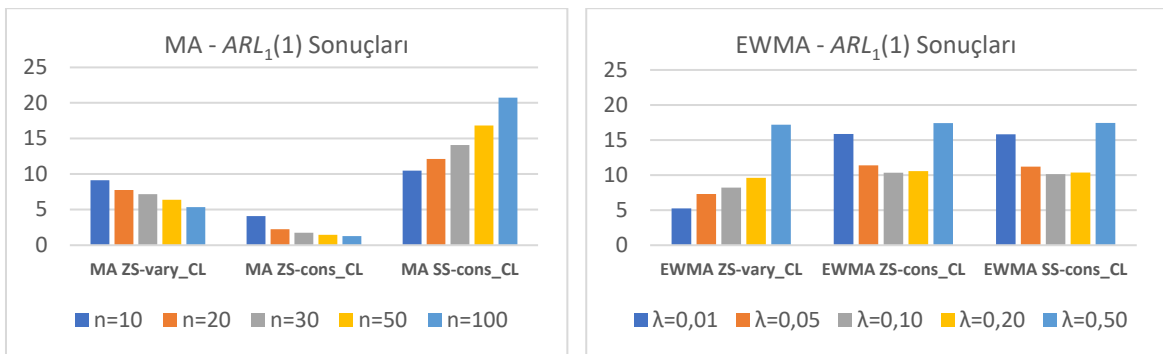
$L_t = 2$ durumu ve büyük sapmalardaki $L_t = 3$ durumu hariç). $L_t = 2$ ve bazı koşullarda $L_t = 3$ durumu hariç genel itibariyle sıfır-durumu ARL değerleri ile buradaki tasarım kullanılarak uygulanan kararlı-durum ARL değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

5.3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

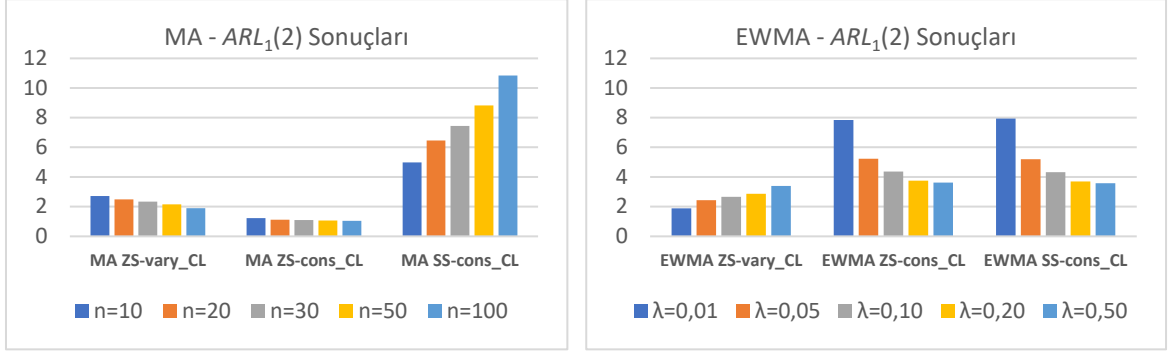
MA ve EWMA kontrol grafiklerinin en iyi sonuçları kesme limitlerinin kullanılmadığı uygulamalarda elde edildiğinden, $ARL_0 = 500$ için tasarlanan kontrol grafiklerinin sürecin kontrol dışında olduğu durumdaki ARL performansları (TL 'siz durum) aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır. Süreçte $0,5\sigma_0$ büyüklüğünde bir sapma olması durumdaki ARL_1 değerlerinin karşılaştırması Şekil 5.1'de, $1\sigma_0$ büyüklüğünde bir sapma olması durumdaki değerler Şekil 5.2'de, $2\sigma_0$ büyüklüğünde bir sapma olması durumdaki değerler Şekil 5.3'te ve $3\sigma_0$ büyüklüğünde bir sapma olması durumdaki değerler ise Şekil 5.4'te verilmiştir.



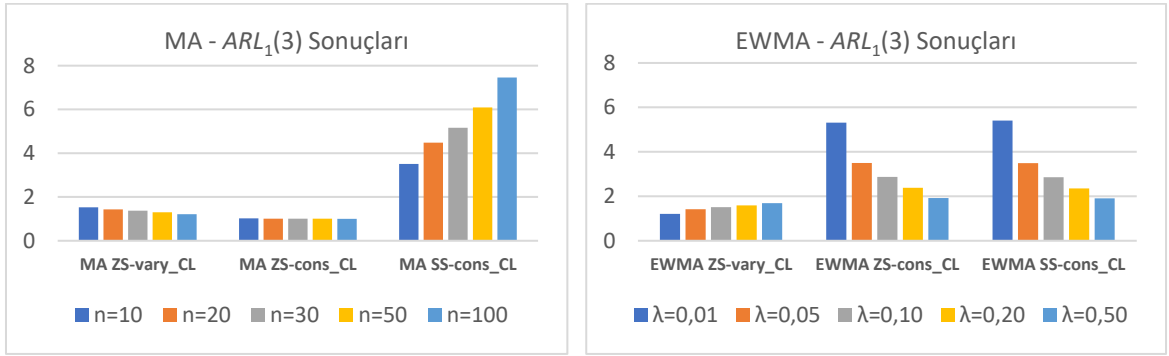
Şekil 5.1. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(0.5)$ Sonuçları



Şekil 5.2. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(1)$ Sonuçları



Şekil 5.3. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(2)$ Sonuçları



Şekil 5.4. MA ve EWMA Kontrol Grafikleri $ARL_1(3)$ Sonuçları

Karşılaştırma grafikleri incelendiğinde;

- $0,5\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda, en düşük ARL_1 değerinin “*MA ZS-cons_CL*” yönteminin $n = 100$ blok boyutunda elde edildiği görülmüştür. Ancak daha önce de belirtildiği üzere bu yöntemde değişkenlik oldukça fazla olduğundan bu yöntemin kullanımına ilişkin bazı çekinceler bulunmaktadır. Bu yöntem dışında (tüm blok boyutları ile) en düşük ARL_1 değerinin elde edildiği yöntem $\lambda = 0,01$ parametrelili “*EWMA ZS-vary_CL*” yöntemidir.
- $1\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda, $0,5\sigma_0$ sapma büyüklüğü ile benzer şekilde en düşük ARL_1 değerinin, “*MA ZS-cons_CL*” yönteminin $n = 100$ blok boyutunda elde edildiği görülmüştür. Aynı şekilde, bu yöntem dışında en düşük ARL_1 değerinin elde edildiği yöntem $\lambda = 0,01$ parametrelili “*EWMA ZS-vary_CL*” yöntemidir.
- $2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ büyüklüğündeki sapmalarda ise, diğer sapma büyüklükleri ile benzer şekilde en düşük ARL_1 değerinin, “*MA ZS-cons_CL*” yönteminin $n = 100$ blok

boyutunda elde edildiği görülmüştür. Aynı şekilde, bu yöntem dışında en düşük ARL_1 değerinin elde edildiği yöntemler ise $\lambda = 0,01$ parametrelili “EWMA ZS-vary_CL” ve $n = 100$ blok boyutlu “MA ZS-vary_CL” yöntemleridir.

Yukarıda verilen yöntemlere ilave olarak MA ve EWMA kontrol grafiklerinin sıfır-durumu tasarımı ile kararlı-durum şartlarında kullanıldığındaki (*MA SS-cons_CL-ZS_par* ve *EWMA SS-cons_CL-ZS_par*) sonuçları karşılaştırıldığında ise;

- *MA SS-cons_CL-ZS_par* uygulamasında özellikle kesme limitlerinin kullanılmadığı veya $L_t = 3$ ve 4 olduğu durumlar ile blok boyutunun küçük olduğu (10, 20, 30) durumlarda, ARL_0 değerleri tasarım değerine yakın olmakla birlikte, ARL_1 değerleri daha yüksek çıkmıştır.
- *EWMA SS-cons_CL-ZS_par* uygulamasında ise genel itibariyle kesme limiti katsayılarının $L_t = 2$ ve 3 olduğu bazı durumlar hariç ARL_1 değerleri daha düşük olmakla birlikte tasarım ve uygulama sonuçları arasında çok fark bulunmamaktadır. ARL_1 değerlerinin düşük olmasına ARL_0 değerlerinin daha düşük olmasının da etki ettiği söylenebilecektir.

Sonuç olarak; her iki kontrol grafiğinin PBRTQC uygulamalarında kullanılabileceği, uygulamalarda sıfır-durumu ve kararlı-durum performanslarının dikkate alınarak kontrol grafiği tasarımının yapılmasının önemli olduğu ve özellikle MA kontrol grafiği tasarımlarının gerçek uygulamaya daha yakın olduğu düşünülen kararlı-durum şartlarında yapılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, MA kontrol grafiği uygulamalarında değişken kontrol limitlerinin kullanılmasının, değişkenliği az ve daha kararlı sonuçlar vermesi açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

6. GERÇEK HASTA VERİLERİ İLE ÇALIŞMALAR

Bu bölümün 1. kısmında MA kontrol grafiğinin gürbüzlük çalışmalarının doğrulanması amacıyla gerçek hasta verileri ile uygulama yapılmış ve çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. 2. kısmında ise 1. kısımdaki veriler ve parametreler kullanılarak MA kontrol grafiğinin analit bazında muhtemel performansının tahmin edilmesine yönelik regresyon analizi çalışması yapılmıştır.

6.1. Gerçek Hasta Verisi ile Kontrol Grafiği Uygulaması

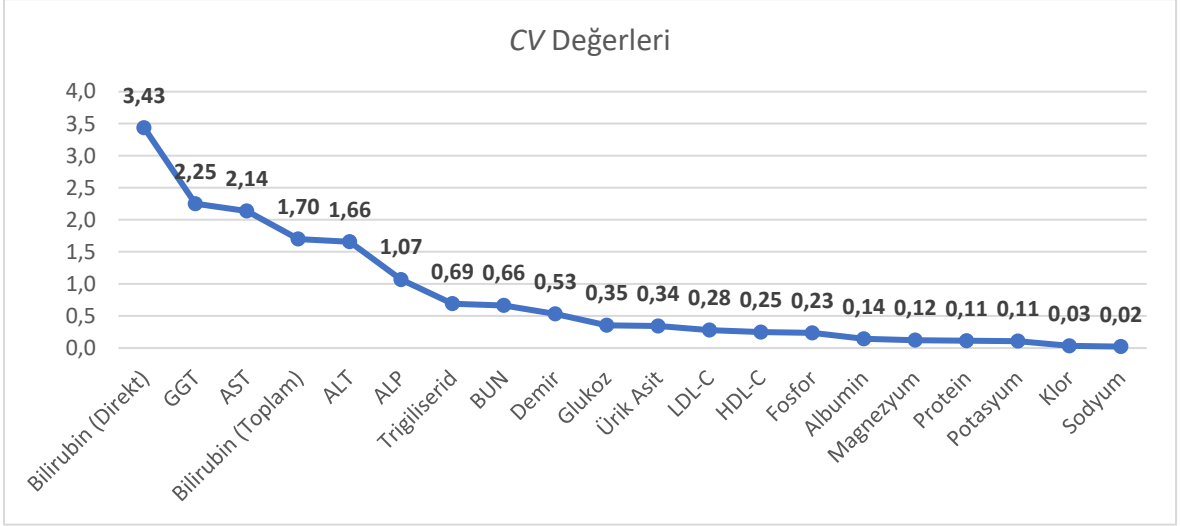
6.1.1. Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler

4. Bölümde yer alan MA ve MM kontrol grafiklerinin gürbüzlük çalışmalarında, MA kontrol grafiğinin, kesme limitlerinin kullanılmadığı ve blok boyutunun $n = 20$ olduğu durumda gürbüzlük bakımından en iyi sonuçları elde edilmişti. Bu bölümde ise elde edilen bu sonucun gerçek hasta verileri kullanılarak doğrulanması amaçlanmıştır.

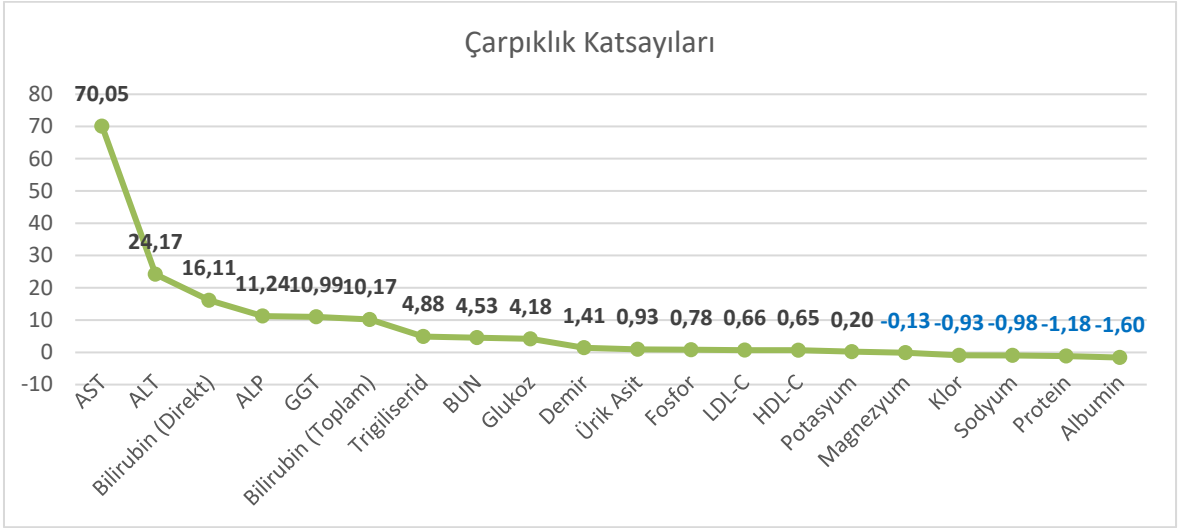
Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Merkez Laboratuvarındaki hasta test sonuçlarına ait bilgiler ve veri dağılımını gösteren grafikler tezin 4. Bölümünde Şekil 4.1’de verilmişti. Bu kapsamda incelenen analitlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Burada Değişkenlik Katsayısı (Coefficient of Variation, *CV*) değerleri katsayı olarak verilmiş olup yüzde değerine çevrilmemiştir. Gerçek hasta sonuçlarındaki analitlerin *CV* değerlerindeki değişimler Şekil 6.1’de, çarpıklık katsayılarındaki (moment) değişimler Şekil 6.2’de, basıklık katsayılarındaki değişimler ise Şekil 6.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Analitlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

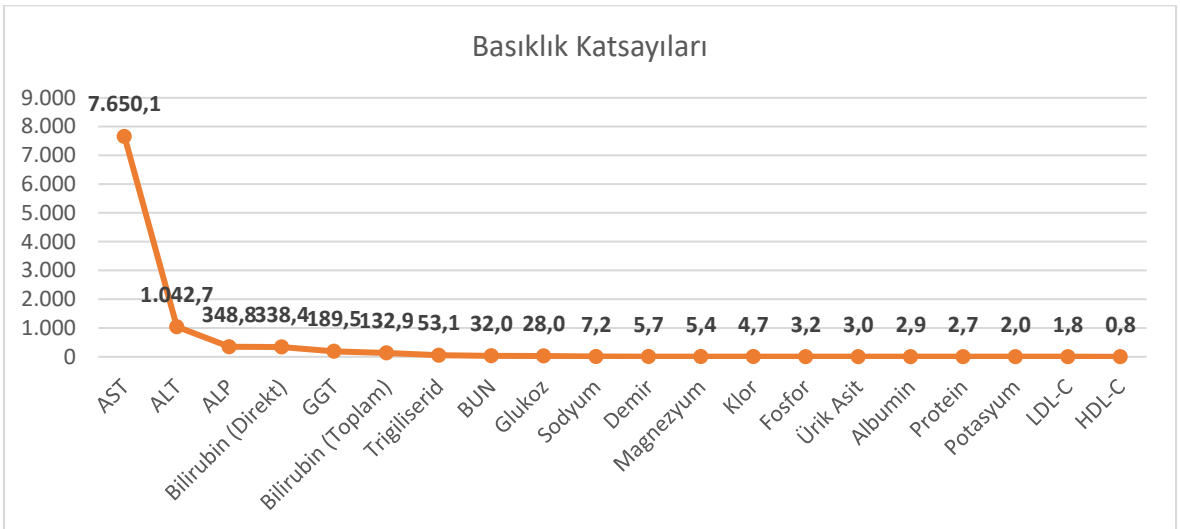
Test Adı	Veri Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	CV	Medyan	Mod	Çarpıklık (Moment)	Basıklık
Sodyum	93.545	139,78	2,93	0,02	140	140	-0,98	7,17
Glukoz	70.362	97,48	34,44	0,35	89	86	4,18	28,04
Trigiliserid	35.318	136,68	94,35	0,69	114	90	4,88	53,10
ALT	100.839	24,21	40,11	1,66	17	13	24,17	1.042,73
AST	97.710	27,05	57,76	2,14	21	18	70,05	7.650,14
Potasyum	92.753	4,32	0,46	0,11	4,3	4,3	0,20	2,00
Magnezyum	60.518	1,99	0,24	0,12	2,01	2,03	-0,13	5,44
BUN	96.727	15,47	10,26	0,66	13,2	12,2	4,53	31,99
Ürik Asit	91.148	4,98	1,70	0,34	4,8	4,4	0,93	2,96
Klor	78.567	104,08	3,38	0,03	104	105	-0,93	4,73
Fosfor	86.891	3,69	0,87	0,23	3,59	3,58	0,78	3,17
HDL-C	34.444	53,95	13,30	0,25	52	52	0,65	0,85
LDL-C	35.777	125,72	35,03	0,28	123	116	0,66	1,82
Protein	83.316	7,06	0,79	0,11	7,2	7,26	-1,18	2,68
Albumin	91.448	4,13	0,59	0,14	4,27	4,32	-1,60	2,93
Bilirubin (Toplam)	80.074	0,79	1,34	1,70	0,55	0,44	10,17	132,90
Bilirubin (Direkt)	78.335	0,19	0,65	3,43	0,1	0,08	16,11	338,45
ALP	82.908	116,69	124,43	1,07	82	67	11,24	348,75
GGT	83.494	43,59	98,08	2,25	21	13	10,99	189,46
Demir	35.137	75,37	40,01	0,53	71	59	1,41	5,67



Şekil 6.1. Verilerin Analit Bazında CV Değerleri



Şekil 6.2. Verilerin Analit Bazında Çarpıklık Katsayıları (Moment)



Şekil 6.3. Verilerin Analit Bazında Basıklık Katsayıları

6.1.2. Yöntemler

Gerçek veri ile yapılan simülasyon çalışmalarında bazı durumlarda veriye en uygun dağılım ve parametreleri belirlenebilmekte, bazı durumlarda ise teorik bir dağılım yerine gerçek verilerle üretilen ampirik dağılımlar kullanılabilir. Bu bölümde ampirik dağılımlar kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmış olup, ampirik dağılım fonksiyonu ve bu kapsamda rastgele değişkenlerin üretimine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

Gerçek hastaların sonuçları X_1, X_2, \dots, X_n ile gösterilsin. X_i ($i = 1, \dots, n$)'lerin küçükten büyüğe doğru sıralaması ile F fonksiyonu elde edilir. Sıralı sonuçları $X_{(i)}$ ile gösterelim, $X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(n)}$, F fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir (Law, 2015):

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < X_{(1)} \\ \frac{i-1}{n-1} + \frac{x - X_{(i)}}{(n-1)(X_{(i+1)} - X_{(i)})}, & X_{(i)} \leq x < X_{(i+1)} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \\ 1, & X_{(n)} \leq x \end{cases}$$

Aşağıda verilen ters-dönüşüm yöntemi ile F fonksiyonundan bağımsız rastgele değişkenler üretilmektedir. Bunun için;

- 1) Öncelikle $U \sim Uni(0,1)$ sayı üretilir ve $P = (n-1)U$ ile $I = \lfloor P \rfloor + 1$ hesaplanır,
- 2) Sonrasında ise $X = X_{(I)} + (P - I + 1)(X_{(I+1)} - X_{(I)})$ hesaplanır.

Ampirik dağılımların bir özelliği dağılımdan elde edilen rastgele değerlerin $X_{(1)}$ 'den küçük, $X_{(n)}$ 'den ise daha büyük olamamasıdır (Law, 2015).

Uygulamaya yönelik yapılan simülasyon çalışmasında her bir analit verisine uygun olarak 100.000 adet veri içeren ampirik dağılımlar üretilmiş ve bu veriler uygulamada rastgele olacak şekilde kullanılmıştır. Simülasyonların içerisindeki ampirik dağılımların üretimi ise yine R yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

MA kontrol grafiğinin uygulamasında, gözlemlerin Standart Normal dağılım gösterdiği varsayılarak $ARL_0 = 370$ değerinin elde edildiği parametre değerleri olan ve Çizelge 4.2'de verilen parametre değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte, gerçek veri uygulamasındaki

kontrol dışı süreç durumları mevcut veriye $1\sigma_0$, $2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ olmak üzere 3 farklı sapma büyüklüğü eklenerek üretilmiştir.

Gerçek veriler ile yapılan çalışmada, analit bazında tüm verilerin sırası her çevrimde rastgele olarak değiştirilmiş ve her bir çevrim için ayrı bir *RL* değeri hesaplanmıştır. Bu işlem simülasyonda 100.000 defa tekrarlanmıştır.

6.1.3. Çalışma Sonuçları

MA kontrol grafiğinin kararlı-durum performansları; sürecin kontrol altında olduğu durum için Çizelge 6.2’de, süreçte sapma olduğu durumlarda ise sırasıyla $\Delta = 1\sigma_0$, $2\sigma_0$ ve $3\sigma_0$ sapma büyüklükleri için Çizelge 6.3 – Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; süreçte sapma olmadığı durumda, *SDRL* değerlerinin, karşılık gelen *ARL*₀ değerlerine yaklaşık olarak eşit olduğu, blok boyutu arttıkça *SDRL* değerlerinin düşük oranlarda da olsa daha fazla arttığı, *MRL* değerlerinin ise karşılık gelen *ARL*₀ değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Süreçte sapma olduğu durumda ise, *SDRL* değerlerinin, karşılık gelen *ARL*₁ değerlerinden küçük, *MRL* değerlerinin ise karşılık gelen *ARL*₀ değerlerine yaklaşık olarak eşit olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Analitler	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
Sodyum	317,2	318,0	219,0	401,7	406,5	278,0	380,7	387,1	262,0	387,8	397,3	266,0	400,4	425,5	268,0
Glukoz	245,5	248,5	169,0	401,6	406,8	276,0	478,2	487,2	328,0	469,5	484,6	321,0	452,5	480,4	302,0
Trigiliserid	288,5	292,1	200,0	423,3	434,5	289,0	479,5	490,1	329,0	554,7	570,3	378,0	512,0	540,2	344,0
ALT	500,0	503,9	345,0	633,0	644,2	435,0	725,5	741,4	498,0	864,1	892,9	590,5	1.106,5	1.157,0	753,0
AST	785,8	784,8	549,0	1.275,2	1.284,5	886,0	1.652,2	1.655,9	1.146,0	2.342,7	2.335,0	1.626,0	3.042,3	3.036,9	2.121,0
Potasyum	335,7	335,3	234,0	355,6	358,5	245,0	378,0	381,5	262,0	386,5	397,1	265,0	369,2	391,8	247,0
Magnezyum	328,5	329,0	227,0	355,0	359,5	244,0	371,0	375,3	256,0	382,3	395,8	261,0	389,5	412,5	262,0
BUN	237,1	241,6	163,0	354,6	360,8	244,0	562,0	573,2	385,0	507,7	526,3	345,0	446,8	475,0	300,0
Ürik Asit	349,3	350,4	241,0	381,1	385,9	262,0	371,5	377,5	255,0	384,2	398,2	262,0	378,9	404,2	252,0
Klor	323,6	325,3	224,0	354,4	358,4	245,0	387,0	393,5	266,0	386,9	398,1	264,0	393,7	419,7	263,0
Fosfor	338,2	339,1	236,0	380,2	385,3	261,0	390,7	395,3	269,0	382,8	393,3	262,0	381,1	407,4	254,0
HDL-C	358,0	359,0	248,0	380,2	382,9	262,0	369,8	374,6	254,0	383,4	391,8	264,0	367,4	391,3	246,0
LDL-C	363,0	365,8	250,0	381,5	387,5	261,0	393,7	399,0	272,0	371,4	382,0	254,0	380,0	402,0	255,0
Protein	346,2	347,8	239,0	377,1	380,8	260,0	407,5	414,5	279,0	391,4	402,9	267,0	377,9	404,7	252,0
Albumin	335,9	337,8	233,0	390,8	393,9	271,0	408,8	415,6	281,0	416,3	428,9	285,0	376,2	401,5	250,0
Bilirubin (Toplam)	226,6	231,9	156,0	371,7	382,1	255,0	485,8	499,3	333,0	638,6	661,6	436,0	1.014,3	1.052,8	689,0
Bilirubin (Direkt)	312,5	319,2	214,0	504,5	518,6	346,0	603,2	620,3	412,0	676,1	709,2	456,0	742,7	790,8	499,0
ALP	318,0	322,6	220,0	452,3	461,1	311,0	598,7	610,8	413,0	786,6	808,5	538,0	717,3	748,9	488,0
GGT	273,5	279,2	188,0	448,2	460,3	306,0	518,2	533,2	355,0	605,6	626,1	414,0	958,0	995,2	650,0
Demir	340,5	341,2	237,0	390,8	394,5	270,0	386,6	394,9	265,0	395,5	405,9	270,0	385,4	412,2	257,0

Çizelge 6.3. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Süreçte $1\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Analitler	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
Sodyum	9,5	4,6	9,0	11,4	4,5	11,0	13,3	5,4	13,0	15,7	6,9	16,0	19,0	9,6	19,0
Glukoz	11,1	7,2	9,0	11,7	4,3	12,0	13,6	5,3	14,0	15,9	6,8	16,0	19,5	9,5	20,0
Trigiliserid	10,6	6,3	9,0	11,7	4,2	12,0	13,6	5,2	14,0	16,4	6,7	17,0	20,0	9,3	21,0
ALT	10,7	5,2	10,0	11,9	3,3	13,0	13,8	4,1	15,0	16,5	5,5	18,0	20,3	8,1	22,0
AST	9,3	2,0	10,0	12,1	2,4	13,0	14,0	3,0	15,0	16,7	3,9	18,0	20,8	5,9	22,0
Potasyum	9,9	5,3	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	16,0	7,0	16,0	18,6	9,6	19,0
Magnezyum	9,8	5,1	9,0	11,4	4,5	11,0	13,4	5,4	13,0	15,7	7,0	16,0	19,1	9,6	19,0
BUN	11,0	7,0	10,0	11,6	4,4	12,0	13,9	5,1	14,0	15,9	6,8	17,0	19,6	9,6	20,0
Ürik Asit	10,0	5,6	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,7	6,9	16,0	19,2	9,7	19,0
Klor	9,7	4,9	9,0	11,5	4,5	11,0	13,2	5,4	13,0	15,7	7,0	16,0	19,0	9,7	19,0
Fosfor	10,0	5,5	9,0	11,6	4,5	12,0	13,4	5,3	14,0	15,9	6,9	16,0	19,5	9,7	20,0
HDL-C	10,0	5,5	9,0	11,6	4,5	12,0	13,3	5,4	13,0	15,7	6,9	16,0	19,7	9,8	20,0
LDL-C	10,1	5,6	9,0	11,7	4,5	12,0	13,6	5,3	14,0	15,9	7,0	16,0	19,4	9,7	20,0
Protein	9,6	4,8	9,0	11,5	4,6	11,0	13,2	5,4	13,0	15,6	7,0	15,0	19,2	9,8	19,0
Albumin	9,5	4,7	9,0	11,5	4,6	11,0	13,3	5,4	13,0	15,4	6,9	15,0	19,2	9,8	19,0
Bilirubin (Toplam)	11,3	6,5	10,0	11,8	4,0	13,0	13,7	4,9	15,0	16,3	6,4	18,0	20,9	8,9	22,0
Bilirubin (Direkt)	9,8	3,4	10,0	12,1	3,4	13,0	13,8	4,4	16,0	16,4	5,9	19,0	19,3	9,0	22,0
ALP	11,1	6,6	10,0	11,8	3,9	12,0	13,7	4,8	15,0	16,6	6,2	17,0	20,0	9,0	21,0
GGT	11,9	7,7	10,0	11,8	3,8	13,0	13,7	4,8	15,0	16,1	6,4	17,0	20,4	8,8	22,0
Demir	10,1	5,8	9,0	11,6	4,5	12,0	13,5	5,4	14,0	16,1	6,9	16,0	19,5	9,7	20,0

Çizelge 6.4. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Süreçte $2\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Analitler	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
Sodyum	4,8	1,6	5,0	6,1	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,0	4,8	10,0
Glukoz	4,8	1,5	5,0	6,2	2,1	7,0	7,2	2,6	7,0	8,3	3,4	9,0	10,2	4,8	10,0
Trigiliserid	4,8	1,5	5,0	6,2	2,1	6,0	7,2	2,6	7,0	8,6	3,3	9,0	10,4	4,6	11,0
ALT	4,9	1,1	5,0	6,3	1,6	7,0	7,3	2,0	8,0	8,6	2,7	9,0	10,5	4,0	11,0
AST	4,8	0,8	5,0	6,3	1,2	7,0	7,3	1,5	8,0	8,7	1,9	9,0	10,7	2,9	11,0
Potasyum	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	9,8	4,8	10,0
Magnezyum	4,8	1,6	5,0	6,1	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,0	4,8	10,0
BUN	4,8	1,5	5,0	6,2	2,2	7,0	7,3	2,6	8,0	8,4	3,4	9,0	10,2	4,8	11,0
Ürik Asit	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Klor	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,0	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,0	4,8	10,0
Fosfor	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	10,2	4,8	10,0
HDL-C	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,0	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,3	4,8	10,0
LDL-C	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,2	2,7	7,0	8,4	3,5	8,0	10,2	4,8	10,0
Protein	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,0	2,7	7,0	8,3	3,5	8,0	10,1	4,8	10,0
Albumin	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,1	2,7	7,0	8,1	3,4	8,0	10,1	4,9	10,0
Bilirubin (Toplam)	4,9	1,3	5,0	6,3	1,9	7,0	7,2	2,4	8,0	8,5	3,2	9,0	10,8	4,5	12,0
Bilirubin (Direkt)	4,8	1,0	5,0	6,3	1,6	7,0	7,3	2,2	8,0	8,5	2,9	10,0	10,0	4,5	11,0
ALP	4,9	1,3	5,0	6,3	1,9	7,0	7,2	2,4	8,0	8,6	3,1	9,0	10,4	4,5	11,0
GGT	4,9	1,3	5,0	6,3	1,9	7,0	7,2	2,4	8,0	8,4	3,2	9,0	10,6	4,4	11,0
Demir	4,8	1,6	5,0	6,2	2,2	6,0	7,2	2,7	7,0	8,5	3,5	9,0	10,2	4,8	10,0

Çizelge 6.5. MA Kontrol Grafiği Uygulaması - Süreçte $3\sigma_0$ Oranında Sapma Olduğu Durumda *ARL*, *SDRL* ve *MRL* Değerleri (*TL*'siz)

Analitler	n=10			n=20			n=30			n=50			n=100		
	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>	<i>ARL</i>	<i>SDRL</i>	<i>MRL</i>
Sodyum	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
Glukoz	3,4	1,0	4,0	4,3	1,4	5,0	5,0	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Trigiliserid	3,4	1,0	4,0	4,3	1,4	4,0	5,0	1,7	5,0	5,9	2,2	6,0	7,2	3,1	7,0
ALT	3,5	0,7	4,0	4,4	1,1	5,0	5,0	1,3	5,0	5,9	1,8	6,0	7,2	2,6	8,0
AST	3,5	0,7	4,0	4,4	0,8	5,0	5,0	1,0	5,0	5,9	1,3	6,0	7,3	1,9	8,0
Potasyum	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	6,7	3,2	7,0
Magnezyum	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
BUN	3,4	1,0	4,0	4,3	1,4	5,0	5,0	1,7	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Ürik Asit	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
Klor	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
Fosfor	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
HDL-C	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	7,1	3,2	7,0
LDL-C	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	5,0	1,8	5,0	5,8	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Protein	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,7	2,3	6,0	6,9	3,2	7,0
Albumin	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	4,9	1,8	5,0	5,6	2,3	6,0	7,0	3,2	7,0
Bilirubin (Toplam)	3,5	0,9	4,0	4,3	1,3	5,0	5,0	1,6	6,0	5,9	2,1	6,0	7,4	3,0	8,0
Bilirubin (Direkt)	3,6	0,8	4,0	4,4	1,1	5,0	5,0	1,4	6,0	5,9	1,9	7,0	6,9	2,9	8,0
ALP	3,4	0,9	4,0	4,4	1,3	5,0	5,0	1,6	5,0	5,9	2,1	6,0	7,1	3,0	7,0
GGT	3,4	0,8	4,0	4,4	1,3	5,0	5,0	1,6	5,0	5,8	2,1	6,0	7,3	2,9	8,0
Demir	3,4	1,1	3,0	4,3	1,5	4,0	5,0	1,8	5,0	5,9	2,3	6,0	7,1	3,2	7,0

Çizelge 6.2'deki ARL_0 sonuçları incelendiğinde;

- Genel itibariyle blok boyutu arttıkça ARL_0 değerlerinin de arttığı ($n = 50$ 'den $n = 100$ 'e geçişte bu durum daha az gözlemlenmiştir),
- Blok boyutunun $n = 10$ olduğu durumda ALT ve AST analitleri hariç diğer tüm analitlerin ARL_0 değerlerinin tasarım değeri olan 370'in altında olduğu,
- Blok boyutunun $n = 20$ olduğu durumda ARL_0 değerleri 354 ve 356 arasında değişen dört analitin 370'in altında olduğu,
- Blok boyutunun $n = 50$ olduğu durumda tüm analitler için ARL_0 değerlerinin 370'in üstünde olduğu,
- Blok boyutunun $n = 30$ olduğu durumda bir, $n = 100$ olduğu durumda ise sadece iki analitin 370'in altında olduğu ve bu değerlerin 370'e çok yakın olduğu,
- Çarpıklık katsayısı ile CV değerlerinin yüksek olduğu durumlarda, genellikle ARL_0 değerlerinin de yüksek olduğu ($n = 10$ olduğu durum hariç)

tespit edilmiştir.

Blok boyutunun $n = 20, 30, 50$ ve 100 olduğu durumlarda;

- Çarpıklık katsayıları düşük olduğunda, (mutlak değer olarak 1'den küçük) ARL_0 değerlerinin 370'e yakın olduğu ve en fazla 400'lerde olduğu,
- Çarpıklık katsayıları 4-5 arasında olduğunda (Glukoz, BUN, Trigiliserid), ARL_0 değerlerinin genel itibariyle 400-550 arasında olduğu,
- Çarpıklık katsayıları 10-20 arasında olduğunda (Bilirubin (Toplam ve Direkt), GGT, ALP), ARL_0 değerlerinin genel itibariyle 450-1000 arasında olduğu,
- Çarpıklık katsayıları 20'den fazla olduğunda (ALT, AST) ise ARL_0 değerlerinin genel itibariyle 600-3000 arasında olduğu

görülmüştür.

Bununla birlikte, çarpıklık katsayısı (mutlak değeri) ve CV değerlerinin birbirine yakın olduğu analitlerin (Magnezyum ve Potasyum ile HDL-C, LDL-C ve Fosfor gibi) ARL_0 değerlerinin de birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

4. Bölümde olduğu gibi, sürecin kontrol altında olduğu durumda (ARL_0^* değerinin $ARL_{0,n,N(0,1)}(\approx 370)$ olarak belirlendiği durumdaki) MSE , MAE ve ME değerleri (kesme

limitlerinin kullanılmadığı durum için) Çizelge 6.1’de verilen 20 analit için hesaplanmıştır. Süreçte sapma olduğu durumda ise; $n = 10$ olan $ARL_{1,10,N(0,1)}$ değerleri, tüm blok boyutları arasında en küçük ARL değerlerine sahip sonuçlar olup bu durumda en düşük ARL_1 sonuçları; $1\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için AST’de $ARL_1^* = 9,32$, $2\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için Sodyumda $ARL_1^* = 4,76$ ve $3\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için Klorda $ARL_1^* = 3,36$ olarak belirlenmiş ve hata metrikleri bu değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Hem sürecin kontrol altındaki durum için, hem de süreçte sapma olduğu durum için hesaplanan hata metrik değerleri Çizelge 6.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6’da verilen sonuçlardan da görüleceği üzere hata metrikleri blok boyutu arttıkça artmaktadır. Bu kapsamda en düşük hata metrikleri, blok boyutunun $n = 10$ olduğu durumda elde edilmiştir. Ancak daha önce de belirtildiği üzere çarpıklık katsayısı çok yüksek olan ve diğer blok boyutlarında da yüksek ARL_0 değeri elde edilen iki analit hariç kalan diğer 18 analitin tamamında tasarım $ARL_0 \approx 370$ değerinden daha küçük sonuçlar elde edilmiştir. Bu sebeple ME değeri olarak da -423,5 gibi negatif bir değer hesaplanmıştır. Bu da 4. Bölümde belirtildiği üzere, $n = 10$ olduğunda birçok analit için süreçte yanlış alarm sayısının daha fazla olabileceği anlamına gelmekte olup kalite kontrol uygulamalarında istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 6.6. Uygulamada Kullanılan MA Kontrol Grafiğinin *MSE*, *MAE* ve *ME* Değerleri
(*TL* Kullanılmadığı Durumda – 20 Analit)

<i>ARL</i>	Sapma Büyüküğü	<i>n</i>	<i>MSE</i>	<i>MAE</i>	<i>ME</i>
<i>ARL</i> ₀	0	10	274.813,4	1.515,1	-423,5
		20	925.572,7	1.701,7	1.581,0
		30	1.977.523,2	2.938,4	2.937,9
		50	4.597.930,6	4.296,2	4.296,2
		100	8.738.549,0	5.768,7	5.761,7
<i>ARL</i> ₁	1σ ₀	10	27,2	18,5	18,5
		20	107,2	45,0	45,0
		30	340,2	80,3	80,3
		50	856,1	127,4	127,4
		100	2.030,9	196,1	196,1
<i>ARL</i> ₁	2σ ₀	10	0,1	1,3	1,3
		20	40,1	27,6	27,6
		30	109,3	45,5	45,5
		50	253,7	69,4	69,4
		100	573,1	104,2	104,2
<i>ARL</i> ₁	3σ ₀	10	0,1	1,2	1,2
		20	18,0	18,5	18,5
		30	48,8	30,4	30,4
		50	113,8	46,5	46,5
		100	258,9	70,1	70,1

*ARL*₀ değerleri ve hata metrikleri değerlendirildiğinde, tasarım *ARL*₀ ≈ 370 değerine en yakın sonuçlar, başta *n* = 20 blok boyutu olmak üzere blok boyutunun *n* = 20 ve *n* = 30 olduğu durumlardır.

Süreçte sapma olduğu durumdaki hata metrikleri değerlendirildiğinde ise en düşük hata metrikleri yine blok boyutunun *n* = 10 olduğu durumda elde edilmiş olup blok boyutu arttıkça hata metriklerinin değerleri artmaktadır. Blok boyutunun *n* = 10 olduğu durumdaki *ARL*₁ değerlerinin ve dolayısıyla hata metriklerinin düşük olmasının sebebinin *ARL*₀

değerlerinin tasarım $ARL_0 = 370$ değerinden çok daha düşük olması ve bununla ilişkili olarak ME değerinin negatif olmasıdır.

Belirtildiği üzere ALT ve AST analitlerinin ARL sonuçları diğer analitlere oranla oldukça yüksek çıkmış ve bu yüksek sonuçlar blok boyutu arttıkça daha da artmıştır. Bu sonuçların başta MSE değerleri olmak üzere hata metriklerini çok fazla artırdığını göstermek amacıyla Çizelge 6.7 oluşturulmuştur. Çizelge 6.7, blok boyutu bazında ALT ve AST analitlerine yönelik uygulamanın ARL , MSE ve MSE değerlerinin farklarını göstermektedir. Çizelgede “Fark” olarak belirtilen sütun; o analit için MSE değerinin, en küçük MSE değerlerine sahip olan $n = 10$ blok boyutunun MSE değerinden farkını göstermektedir.

Çizelge 6.7. ALT ve AST Uygulama Sonuçlarının ARL ve MSE Değerleri

	ALT			AST		
	ARL	MSE	Fark	ARL	MSE	Fark
n=10	500,0	16.898,2	0,0	785,8	172.918,3	0,0
n=20	633,0	69.158,9	52.260,8	1.275,2	819.307,0	646.388,7
n=30	725,5	126.380,7	109.482,5	1.652,2	1.643.984,8	1.471.066,5
n=50	864,1	244.157,8	227.259,6	2.342,7	3.891.403,8	3.718.485,5
n=100	1.106,5	542.492,2	525.594,0	3.042,3	7.141.182,6	6.968.264,3

Çizelge 6.7’den de görüleceği üzere, sadece AST analiti için; $n = 20$ ile $n = 10$ blok boyutu arasında 646.388,7 MSE değer farkı bulunmaktadır. Bu değer, $n = 20$ ile $n = 10$ arasındaki 20 analit için toplam MSE değer farkı olan 650.759,2 değerinin %99,33’üne denk gelmektedir. Buna ilaveten, yukarıda da belirtildiği üzere, en düşük sonuçların elde edildiği $n = 10$ blok boyutu sonuçlarında bu iki sonuç (ALT ve AST) hariç kalan 18 analit için ME değerleri negatif olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, bu iki analitin sonuçları, diğer değerleri maskeleyen olup bu çalışma için aykırı değer olarak kabul edilebilecektir. Bahse konu iki analit çıkarılarak kalan 18 analit için sürecin kontrol altında olduğu ve süreçte sapma olduğu durumlar için MSE , MAE ve ME değerleri tekrar hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 6.8’de verilmiştir. Aynı şekilde, ARL_{δ}^* değeri, sürecin kontrol altında olduğu durumda $ARL_{0,n,N(0,1)}(\approx 370)$ olarak alınmış, süreçte sapma olduğu durumda ise tüm blok boyutları

arasında en küçük ARL değerlerine sahip olan $n = 10$ blok boyutu $ARL_{1,10,N(0,1)}$ değerleri kullanılmıştır. Bu durumda en düşük ARL_1 sonuçları; $1\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için Sodyumda $ARL_1^* = 9,46$, $2\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için Sodyumda $ARL_1^* = 4,76$ ve $3\sigma_0$ büyüklüğünde sapma için Klorda $ARL_1^* = 3,36$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.8. Uygulamada Kullanılan MA Kontrol Grafiğinin MSE , MAE ve ME Değerleri (TL Kullanılmadığı Durumda – 18 Analit)

ARL	Sapma Büyüklüğü	n	MSE	MAE	ME
ARL_0	0	10	84.997,0	969,3	-969,3
		20	37.106,7	533,6	412,8
		30	207.157,7	1.300,7	1.300,2
		50	462.369,0	1.829,4	1.829,4
		100	1.054.874,2	2.359,8	2.352,9
ARL_1	$1\sigma_0$	10	20,7	14,6	14,6
		20	82,1	37,3	37,3
		30	278,3	68,7	68,7
		50	717,9	110,4	110,4
		100	1.730,1	171,3	171,3
ARL_1	$2\sigma_0$	10	0,1	1,1	1,1
		20	35,4	24,5	24,5
		30	96,8	40,6	40,6
		50	223,8	61,6	61,6
		100	505,1	92,6	92,6
ARL_1	$3\sigma_0$	10	0,1	0,9	0,9
		20	15,9	16,4	16,4
		30	48,8	30,4	30,4
		50	100,6	41,3	41,3
		100	228,6	62,3	62,3

Çizelge 6.8’de verilen sonuçlardan da görüleceği üzere, ALT ve AST analitleri çıkarıldığında, sürecin kontrol altında olduğu durumda en düşük hata metrikleri blok boyutunun $n = 20$ olduğu durumda elde edilmiştir. Bir sonraki düşük sonuçlar $n = 10$ olduğunda elde edilmekle birlikte bu durumda ME değerinin negatif olma durumu da artarak

devam etmektedir. Sonrasında ise hata metriklerinin düşükten yükseğe doğru sıralaması $n = 30$, $n = 50$ ve $n = 100$ olarak devam etmektedir.

Süreçte sapma olduğu durumdaki (ARL_1) hata metrikleri değerlendirildiğinde ise en düşük hata metrikleri yine, tasarım $ARL_0 = 370$ değerinden daha düşük ARL_0 değerlerinin elde edildiği blok boyutunun $n = 10$ olduğu durumdur.

Sonuç olarak, bu bölümde yapılan uygulama çalışması ile 4. Bölümdeki gürbüzlük çalışmasında benzer sonuçlar elde edilmiş, geliştirilmiş tasarım önerisi gerçek veri ile doğrulanmıştır.

6.2. Regresyon Analizi Uygulaması

6.2.1. Çalışmanın Amacı ve Genel Bilgiler

Yapılan çalışmalarda, analitlerin bazı tanımlayıcı istatistikleri ile analitlerin uygulama çalışmasında elde edilen ARL_0 değerleri arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda, uygulama verisi bulunmayan bir analitin, Normal dağılım varsayımı ile tasarlanan bir MA kontrol grafiğindeki muhtemel performansının analitin tanımlayıcı istatistikleri kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

6.2.2. Yöntemler

Değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemek ve analitlerin ARL_0 değerlerini tahmin etmek için Regresyon Analizi kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan çoklu regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

Buradaki;

y : Bağımlı değişkeni (tahmin edilen yanıt değişkenini),

x_j : Bağımsız değişkenleri ($j = 1, 2, \dots, k$),

β_0 : Kesişim noktasını (sabit değeri),

β_j : Bağımsız değişkenin değişim katsayısını (x_j 'deki bir birim değişim sonucunda y 'nin ortalamasındaki değişim)

ϵ : Rastgele hata bileşenini

göstermektedir.

Modelin verilere tam olarak uymamasını açıklayan rastgele bir değişken olan ϵ rastgele hata bileşeni $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$ dağılımına uymaktadır (Montgomery, Peck ve Vining, 2012). Regresyon modelinin matris gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$y = \mathbf{X} \beta + \epsilon$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_0 \\ \epsilon_1 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

Buradaki;

n : Gözlem sayısını,

k : Bağımsız değişken sayısını,

y : Bağımlı değişkeni,

x_{ij} : Bağımsız değişken j 'nin i . gözlem değerini

göstermektedir.

Regresyon katsayılarının (β_0 ve β_j) kestirimi için En Küçük Kareler Yöntemi kullanılmıştır.

En küçük kareler fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$S(\beta) = S(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2$$

$S(\beta)$ fonksiyonu, β katsayılarına göre minimize edilir ve bu kapsamda hata kareler toplamının en küçük olması amaçlanır. Hata karelerinin toplamlarını minimize eden en küçük kareler tahmini aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y}$$

Tahmin edilen $\hat{\beta}$ katsayıları ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) ile regresyon modeli oluşturulur. Oluşturulan regresyon modelinin yeterliliği ve anlamlılığı bazı metrikler kullanılarak ölçülebilmektedir. Bu kapsamda y bağımlı değişkeni ile x_i bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek için regresyonun anlamlılık testi yapılmaktadır.

Aşağıda verilen hipotez testinde;

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ (en az bir } j \text{ için)}$$

H_0 hipotezinin reddedilmesi bağımsız değişkenlerden en az birinin modele anlamlı katkısının olduğunu göstermektedir. Hipotezler kapsamında Varyans Analizi (ANOVA) yapılarak değişimi gösteren kareler toplamları (SS) ve kareler ortalamaları (MS) hesaplanır. Kareler ortalamaları ile F_0 test istatistiği hesaplanarak H_0 hipotezi test edilir. $F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$ olması durumunda H_0 hipotezi reddedilir ve modelin anlamlı olduğu sonucuna varılır. Burada n gözlem sayısını, k ise bağımsız değişken sayısını göstermektedir. F_0 test istatistiği aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$F_0 = \frac{MS_R}{MS_E}$$

Formüldeki, MS_R regresyonun kareler ortalamasını, MS_E ise hataların kareler ortalamasını göstermektedir.

Aynı şekilde p değerinin kullanılan α değerinden küçük olması regresyonun veya ilgili bağımsız değişkenin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Modelin yeterliliğini ölçmek için diğer bir yöntem R^2 ve düzeltilmiş R^2 (R_{adj}^2) değerleridir. R^2 ve R_{adj}^2 değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanır. R^2 ve R_{adj}^2 değerleri yüzde olarak da verilebilir.

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T}$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SS_E / (n - p)}{SS_T / (n - 1)}$$

Formüllerdeki;

SS_R : Regresyon kareler toplamını,

SS_E : Hata kareler toplamını,

SS_T : Toplam kareler toplamını,

n : Gözlem sayısını,

p : Terim sayısını

göstermektedir.

R^2 ve R_{adj}^2 değerlerinin yüksek olması açıklayıcılık oranının da yüksek olması anlamına geldiğinden oluşturulan modelin bu değerlerinin yüksek olması istenir. Ancak çoklu regresyon analizinde, modele bağımsız değişken eklendikçe R^2 değeri yeni değişkenin katkısı olsun olmasın azalmaz. Bu sebeple, bu gibi durumlarda modele değişken eklendikçe bunu cezalandıran R_{adj}^2 değeri kullanılabilir.

Modelin yeterli olduğuna karar verildikten sonra model kullanılarak y değerleri tahmin edilir.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

Tezin 4. ve 6.1. Bölümlerinde yapılan gürbüzlük çalışmaları kapsamında MA kontrol grafiği için blok boyutunun $n = 20$ olduğu ve kesme limitlerinin kullanılmadığı durumun gürbüz olduğu değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise 6.1. Bölümdeki uygulamada kullanılan analitlerin tanımlayıcı istatistikleri ve ARL_0 sonuçları kullanılarak Regresyon Analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmada öncelikle, tanımlayıcı istatistiklerden; çarpıklık katsayısının (moment) mutlak değeri, basıklık katsayısı ve CV değerlerinin, bağımlı değişken olan ARL_0 sonuçları ile korelasyonu araştırılmış ve bu kapsamda korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. ARL_0 sonuçları ile; çarpıklık ve basıklık katsayıları arasındaki korelasyon katsayıları 0,98 iken, CV değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,51 olarak bulunmuştur. Bu kapsamda, korelasyon katsayıları yüksek olan çarpıklık katsayısının (moment) mutlak değeri ile basıklık katsayısının bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı Regresyon Analizi çalışması yapılmış ve $n = 20$ olduğu ve kesme limitlerinin kullanılmadığı durumda herhangi bir analitin MA kontrol grafiği ARL_0 değerlerinin tahmin edilmesini sağlayan regresyon modeli oluşturulmuştur.

6.2.3. Çalışma Sonuçları

Regresyon Analizi sonuçları Çizelge 6.9’da özetlenmiştir.

Çizelge 6.9. Regresyon Analizi Sonuçları

	Sonuç
Sabit değer (β_0)	366,07
Çarpıklık katsayısı (β_1)	6,81
Basıklık katsayısı (β_2)	0,06
R^2	%98,52
Düzeltilmiş R^2 (R_{adj}^2)	%98,35
F	567,38
p	0,00

Regresyon Analizi çalışmasında bağımlı değişken (ARL_0) tahmin formülü aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\widehat{ARL}_0 = 366,07 + 6,81x_1 + 0,06x_2$$

Regresyon Analizi sonrası y bağımlı değişkeni ile bağımsız değişkenlerden biri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek için regresyon anlamlılık testi uygulanmıştır. Bu kapsamda bulunan regresyon modeli için hipotezler aşağıda verilmiştir.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ (en az bir } j \text{ için)}$$

Çalışmada $\alpha = 0,05$ olarak alınmış olup $F_{\alpha,k,n-k-1} = F_{0,05,3,16} = 3,24$ olarak hesaplanmıştır. $F_0 = 567,38 > 3,24$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve regresyonun anlamlı olduğu sonucuna varılır. Aynı şekilde $p = 0,00 < 0,05$ olması regresyonun anlamlı olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte R_{adj}^2 yüzdesinin yüksek olması (%98,35) regresyon açıklayıcılık oranının da yüksek olduğunu göstermektedir.

Regresyon Analizi sonucunda elde edilen formül kullanılarak tahmin edilen ARL_0 değerleri ile bu değerlerin mevcut sonuçlardan farkları Çizelge 6.10'da verilmiştir. Hataların (ϵ) dağılımı beklendiği üzere ortalaması 0 olan Normal dağılıma uymaktadır.

Çizelge 6.10. Regresyon Analizi Sonucundaki Tahmin Değerleri ve Bu Değerlerin Mevcut Değerlerden Farkları

	ARL_0	x_1 (Çarpıklık*)	x_2 (Basıklık)	Tahmin ARL_0	Hata (Fark)
Sodyum	402	0,98	7,17	373	29
Glukoz	402	4,18	28,04	396	5
Trigiliserid	423	4,88	53,10	402	21
ALT	633	24,17	1.042,73	590	43
AST	1.275	70,05	7.650,14	1.280	-4
Potasyum	356	0,20	2,00	368	-12
Magnezyum	355	0,13	5,44	367	-12
BUN	355	4,53	31,99	399	-44
Ürik Asit	381	0,93	2,96	373	9
Klor	354	0,93	4,73	373	-18
Fosfor	380	0,78	3,17	372	9
HDL-C	380	0,65	0,85	371	10
LDL-C	381	0,66	1,82	371	11
Protein	377	1,18	2,68	374	3
Albumin	391	1,60	2,93	377	14
Bilirubin (Toplam)	372	10,17	132,90	443	-71
Bilirubin (Direkt)	505	16,11	338,45	495	9
ALP	452	11,24	348,75	463	-10
GGT	448	10,99	189,46	452	-4
Demir	391	1,41	5,67	376	15

* Momente dayalı çarpıklık değerlerinin mutlak değeri kullanılmıştır.

Yukarıda verilen regresyon modeli kullanılarak blok boyutunun $n = 20$ olduğu, kesme limitinin kullanılmadığı ve tasarım $ARL_0 = 370$ durumda herhangi bir analit için elde edilecek ARL_0 değeri tahmin edilebilecektir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, birçok avantajı olmasına rağmen uygulamada yaşanan bazı zorluklar sebebiyle günümüzde çok kullanılmayan PBRTQC yöntemlerinin farklı parametrelerle performansları incelenmiş ve uygulayıcılar tarafından tıbbi laboratuvarlarda kullanılabilecek yöntemlerden en uygun olanların seçilebilmesine yönelik cevaplar aranmıştır.

PBRTQC yöntemlerinin yaygın olarak kullanılmamasının en önemli nedenlerinden biri PBRTQC sisteminin laboratuvarda kurulumu aşamasında zorluklar yaşanabilmesidir. Nitekim, analitlerin incelenmesi, dağılımlarının ve özelliklerinin belirlenmesi ve ayrıca hem yanlış alarm vererek alarm yorgunluğuna sebebiyet vermeyecek hem de kısa sürede sapmayı tespit edebilecek uygun kontrol grafiğinin ve parametrelerinin seçilmesi süreci özellikle istatistik eğitimi olmayan personel için zordur. Tezin ilgili bölümlerinde verilen analit dağılım grafiklerinden ve tanımlayıcı istatistiklerinden de görüldüğü üzere birçok analit çarpık ve birbirinden farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu analitlerin birçoğu Normal dağılım modeline uymadığı için bahse konu tasarım ve kurulum faaliyetleri daha da zorlaşabilmekte, her bir analit için farklı yöntem ve parametrelerin kullanılması gereği ortaya çıkabilmektedir. Bu doğrultuda, laboratuvar personeli tarafından analitlerin dağılımlarının analizi konularına çok girilmeden, Normal dağılım varsayımı ile tasarlanan yöntemlerin farklı analitler için de kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, birbirinden farklı ve genellikle Normal dağılım özelliği göstermeyen analitler kapsamında farklı dağılımlara sahip gözlemlerle Standart Normal dağılım varsayımı ile tasarlanmış MA ve MM kontrol grafiklerinin gürbüzlük çalışmaları yapılmıştır. Literatürde EWMA kontrol grafiklerine yönelik bu kapsamda çalışmalar bulunurken, incelenen literatür kapsamında özellikle kesme limitlerinin kullanıldığı durumlar olmak üzere MA ve MM kontrol grafiklerinin gürbüzlük çalışmalarının ilk defa bu çalışma ile yapıldığı değerlendirilmektedir. Çalışmalar sonucunda MA kontrol grafiğinin gürbüz olduğu değerlendirilmiş ancak bunun MM kontrol grafiği için geçerli olmadığı sonucuna varılmıştır. Kesme limitlerinin kullanılmadığı ve blok boyutunun $n = 20$ olduğu MA kontrol grafiğinin diğer parametre kombinasyonlarına kıyasla normallik varsayımına duyarsız olduğu tespit edilmiştir. PBRTQC yöntemlerinin üretim ve hizmet sektöründe kullanılan yöntemlerden en büyük farkının özellikle MA kontrol grafiğinde olmak üzere kesme limitlerinin kullanılması olmakla birlikte yapılan gürbüzlük çalışmasında MA kontrol grafiğinde kesme limitlerinin

kullanılmadığı durumlarda en başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak burada önerilen parametrelerin süreçteki olası bir sapmayı en hızlı tespit eden parametre olarak değil, normallik varsayımına en duyarsız ve yanlış alarm oranı daha düşük olanlar olduğu unutulmamalıdır.

İleriki çalışmalarda, gürbüzlük çalışmalarının kesme limitlerinin kullanıldığı EWMA ve CUSUM ile MovSD gibi farklı yöntemler için genişletilebileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, gürbüzlük çalışmasında kullanılan dağılımlara, analitlerin dağılımına benzerlik gösteren farklı dağılımlar da ilave edilerek çalışmalar genişletilebilecektir. Ayrıca tez çalışmasının uygulama bölümünde olduğu gibi gerçek hasta verisi ile üretilen ampirik dağılımlar kullanılarak da PBRTQC uygulamaları için gürbüzlük çalışmalarının yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Uygulayıcıların tasarım tercihlerine yönelik olarak kullanımı kolaylaştırmak amacıyla MA kontrol grafiğinin farklı tasarım ARL_0 değerleri ile farklı blok boyutları için L değerleri Çizelge 7.1’de verildiği şekilde hesaplanmış ve uygulamada bu çizelgenin tıbbi laboratuvarlara fayda sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.1. MA Kontrol Grafiğinin Tasarım Parametreleri (TL 'siz)

Tasarım ARL_0	n	L	ARL	$SDRL$	MRL
200	10	2,514	200,3	201,2	139,0
	20	2,309	200,1	203,3	138,0
	30	2,168	200,2	206,8	136,0
	50	1,974	200,1	212,2	135,0
	100	1,689	200,3	224,8	129,0
370	10	2,746	370,0	371,8	257,0
	20	2,559	370,5	374,6	254,0
	30	2,431	370,4	375,5	256,0
	50	2,248	370,1	381,3	252,0
	100	1,973	370,2	394,9	248,0
500	10	2,852	500,0	500,8	347,0
	20	2,676	500,5	502,1	348,0
	30	2,553	500,0	505,4	345,0
	50	2,378	500,2	508,6	345,0
	100	2,108	500,0	524,3	338,0
1000	10	3,087	1.000,0	997,2	694,0
	20	2,929	1.000,2	1.002,9	693,0
	30	2,818	1.000,3	1.005,3	691,0
	50	2,659	1.000,2	1.009,4	691,0
	100	2,410	1.000,6	1.024,1	687,0

Gürbüzlük çalışmalarında kullanılan MA ve MM kontrol grafiklerinin yanı sıra EWMA kontrol grafiği ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. PBRTQC uygulamasındaki EWMA kontrol grafikleri, üretim ve hizmet sektöründeki uygulamalardan farklı olarak kesme limitleri kullanılarak tasarlanmıştır. Bu çalışmalarda hem MA hem de EWMA kontrol grafiklerinin $ARL_0 = 500$ tasarımında farklı parametre değerleri ile performansları incelenmiştir. Aynı şekilde, üretim ve hizmet sektörüne yönelik kontrol grafiği çalışmalarında kullanılan, ancak PBRTQC çalışmalarında dikkate alınmayan sıfır-durumu ve kararlı-durum ARL performansları ile uygulayıcılar için en uygun tasarımların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre MA ve EWMA kontrol grafiklerinin farklı parametrelerinin küçük, orta ve büyük boyuttaki sapmalarda kullanımına yönelik

önerilerde bulunulmuştur. En düşük ARL_1 sonuçları, MA kontrol grafiği için blok boyutunun yüksek olduğu, EWMA kontrol grafiği için ise λ değerinin düşük olduğu ve kesme limitlerinin kullanılmadığı tasarımlarla elde edilmiştir. Başta küçük sapmaların tespiti olmak üzere, sapmaların hızlı tespiti için MA kontrol grafiğinde blok boyutu yüksek, EWMA kontrol grafiğinde ise λ değeri düşük olan kontrol grafikleri kullanılabilir olmakla birlikte, Normal dağılımdan farklı özellik gösteren analitlere yönelik uygulamalarda kontrol grafiklerinin gürbüzlük durumlarının da dikkate alınması oldukça önemlidir. Bununla birlikte, sıfır-durumu şartlarında kontrol grafiğinin tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve belirlenen bu parametrelerin kararlı-durum şartlarında uygulanmasına yönelik simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak yapılan bir tasarımın gerçek laboratuvar uygulamalarına yakın şartlarda denenmesinin gerçek hayatta karşılaşılabilecek bir durum olabileceği değerlendirilmektedir. Tasarım ve uygulamanın farklı olma durumunda; MA kontrol grafiğinin ARL_0 sonuçları çok etkilenmezken ARL_1 sonuçları oldukça kötüleşmektedir. EWMA kontrol grafiği ise tasarıma yakın ARL_1 sonuçları verdiği için bu uygulama için daha kararlı bir yöntem olarak değerlendirilmiştir. Kontrol grafiği tasarımlarında uygulayıcılar tarafından bu durumun dikkate alınmasının önemli olduğu gösterilmiştir. Bu kapsamda, özellikle MA kontrol grafiğinde olmak üzere, kontrol grafiği tasarımlarının gerçek durumu daha fazla yansıttığı düşünülen kararlı-durum şartlarında yapılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, gürbüzlük çalışmaları kapsamında yapılan öneriye benzer şekilde, çalışmanın kesme limitlerinin kullanıldığı MM ve CUSUM ile MovSD gibi farklı yöntemler için genişletilebileceği değerlendirilmektedir.

Diğer taraftan, Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Merkez Laboratuvarı gerçek hasta sonuçlarıyla elde edilen ampirik dağılımlar kullanılarak gürbüzlük çalışmaları kapsamında kullanılan MA kontrol grafiğinin $ARL_0 = 370$ tasarımındaki parametre değerleri ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Dağılımları birbirinden farklı özelliklerdeki 20 analit ile yapılan çalışma sonunda tez çalışmasında gürbüzlük çalışmasını doğrular nitelikte, kesme limitlerinin kullanılmadığı ve blok boyutunun $n = 20$ olduğu durumdaki MA kontrol grafiğinin diğer parametrelere göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, analitlerin çarpıklık ve basıklık katsayıları gibi tanımlayıcı istatistiklerinin normallik varsayımına duyarlılıkları ve bu kapsamda ARL performansları arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüş, bu kapsamda analitlerin ARL performanslarının tahminine yönelik bir regresyon modeli oluşturulmuştur. 20 analit kapsamında ve blok boyutu $n = 20$ olduğu durum için yapılan bu çalışmada modelin farklı özelliklerdeki analitler eklenerek

genişletilebileceği ve diğer blok boyutları ve farklı tasarım ARL_0 değerleri için de yeni modellerin oluşturulabileceği değerlendirilmektedir.

Hem düşük maliyetli olması, hem de etkinliğinin yüksek olması nedenleriyle PBRTQC yöntemlerinin tıbbi laboratuvarlarda İç Kalite Kontrol protokolüne girmesi ve bu tip yöntemlerin kullanımının yaygınlaşmasının elzem olduğu değerlendirilmektedir. Bu noktada PBRTQC yöntemleri laboratuvarın mevcut geleneksel İç Kalite Kontrol yöntemine entegre edilerek birlikte uygulanabileceği gibi uygulamada belli bir olgunluk seviyesine ulaşıldıktan sonra yöntem tek başına da kullanılabilir.

Tez çalışması sonucunda, tıbbi laboratuvarlarda PBRTQC kurulması ve uygulanmasına yönelik olarak önerilen çalışmalar adımlar halinde aşağıda verilmiştir.

1) Analit özelliklerinin incelenmesi: Bu aşamada öncelikle, takip edilecek analitlerin geçmiş verileri çıkarılır. Geçmiş veri sayısının fazla olması analitlerin özelliklerinin belirlenmesi açasından bir avantaj iken verilerin güncel popülasyon değerlerini göstermesi de önemlidir. Bu kapsamda en az 6 ay olmak üzere güncel popülasyonu yansıtacak süreyi içerecek şekilde bir veri döneminin kullanılması önemlidir. Geçmiş veriler doğrultusunda analitlerin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanır ve dağılım grafikleri çizilir. Çarpıklık (mutlak değer olarak) ve basıklık katsayıları ile CV değeri yüksek olan analitlerin normallik varsayımına duyarlı olabileceği ve bu tür analitlerde uygun yöntemin belirlenme sürecinin zor olabileceği unutulmamalıdır. Bu tip analitlerin PBRTQC kapsamında izlenip izlenmeyeceğine karar verilir. İzlenecekse bu analitler için uygun yöntem ve parametrelerinin belirlenmesi aşamasında verilecek kararlarda (kesme limitlerinin kullanılması, takip için yaş, cinsiyet gibi alt dağılımlarının kullanması vb.), bu değerlerinin dikkate alınması gerekir.

2) PBRTQC yönteminin belirlenmesi: Murat, Testik ve Pınar (2024) özellikle blok boyutunun $n = 20$ olduğu durumlar için MA kontrol grafiğinin, Borror, Montgomery ve Runger (1999) ise özellikle $\lambda = 0,05$ olduğunu durumlar için EWMA kontrol grafiğinin normallik varsayımına duyarsız olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple uygulamada bu iki yöntemden birinin tercih edilebileceği değerlendirilmektedir.

3) Genel esaslara karar verilmesi: Bu aşamada uygulamada aykırı değerler kapsamında kesme limitlerinin kullanıp kullanılmayacağına karar verilir. Kesme limitleri kullanılacaksa limit sınırlarının nasıl belirleneceğine (verilerin belirli bir yüzdesi, standart sapmanın belirli bir katı, biyolojik varyasyona göre vb.) karar verilir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda MA ve EWMA kontrol grafikleri için kesme limitlerinin kullanılmadığı durumlarda en iyi sonuçlar elde edilmiş olup, bu doğrultuda kesme limitlerinin kullanılmaması yönünde karar alınabileceği değerlendirilmektedir. Kesme limitlerinin kullanım durumunun, çarpıklık katsayısı mutlak değer olarak yüksek olan analitler ve dağılım grafiğinde uzun kuyruk olan analitler için dikkate alınabileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda diğer bir alternatif olarak veri dönüşümü yapılması durumu da değerlendirilebilecektir.

4) Temel parametrelerin belirlenmesi: Bu aşamada kontrol limitlerini belirlemek için L parametresinin değerine ve tek taraflı mı (örneğin sadece UCL), iki taraflı mı kontrol limiti kullanılacağına karar verilir. Bununla birlikte, kullanılan yöntemin ilgili parametresine (örneğin MA kontrol grafiği ise hangi blok boyutunun kullanılacağına, EWMA kontrol grafiği ise λ parametresinin kaç olacağına) karar verilir. Blok boyutunun yüksek olması ve λ parametresinin düşük olması durumunda geçmiş verilere daha çok ağırlık verilmekte olup bu kapsamda küçük sapmalarda tespit performansının daha iyi olabileceği, tersi durumlarda ise büyük sapmalarda performansın daha iyi olabileceği bilinmektedir. Normal dağılıma uyan analitlerin izlenmesi durumunda, kararlı-durum ARL_0 koşullarında tasarlanmış ve MA kontrol grafiği için blok boyutu yüksek ($n = 100$ gibi) ve EWMA kontrol grafiği için λ değeri düşük ($\lambda = 0,01$ gibi) parametreler kullanılabilir. Ancak, farklı dağılım özelliklerindeki analitlerin izlenmesi söz konusu ise ve normal dağılıma uygun olarak tasarlanan bir kontrol grafiği kullanılıyorsa, MA için $n = 20$ blok boyutunun, EWMA için $\lambda = 0,05$ değerinin kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, MA kontrol grafiğinin farklı tasarım ARL_0 değerleri ile farklı blok boyutları için Çizelge 7.1’de verilen L değerleri kullanılabilir.

5) Pilot uygulama yapılması: Yukarıda verilen işlemlerden sonra uygulamaya geçiş öncesi pilot uygulama yapılması faydalı olacaktır. Uygulamaya başlamadan önce ilgili personele eğitim verilmesi ve uygulama için yeterli dokümantasyonun oluşturulması oldukça önemlidir. Pilot uygulama sonucunda uygulamada yanlış alarmların olup olmadığı, yanlış

alarmlar varsa sıklığı ve sebebi tespit edilmeye çalışılır. Bu kapsamda parametrelerde ve yöntemde iyileştirme olanakları araştırılır.

6) Uygulamanın gerçekleştirilmesi: Uygulama gerçekleştirilir ve takip edilen istatistiğin kontrol limitinin dışına çıkması durumu “alarm durumu” olarak değerlendirilerek ilgili cihazdaki test faaliyetleri ve raporlaması durdurulur. Alarm durumu incelenerek herhangi bir yanlış alarm olup olmadığı araştırılır. Yanlış alarm durumlarının tespiti için kalite kontrol numuneleri kullanılabilir veya örnekler başka bir cihazda çalıştırılabilir. Yanlış alarm sayısının fazla olması durumunda yöntem ve parametrelerine ilişkin iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilir. Alarm durumunda, 8D (8 Disiplin) gibi problem çözme teknikleri kullanılabilir olmakla birlikte, hatanın kök nedeninin tespiti ve bu kapsamda tekrarı önleyecek düzeltici faaliyetlerin gerçekleştirilmesi önemlidir.

7) Uygulamanın periyodik kontrolü: Uygulama esnasında yanlış alarm durumunun kayıt ve takip edilmesi önemli konulardan bir tanesidir. Yanlış alarm sayısının veya oranının artması durumunda veya belirlenen periyodik bir zaman aralığında yöntem ve parametrelerinin gözden geçirilmesi ve sürekli iyileştirilmesi önemlidir.

Sonuç olarak; PBRTQC yöntemlerinde öncelikle takip edilecek analitin istatistiksel davranışının tespit edilmesi ve bu doğrultuda kullanılacak PBRTQC yönteminin ve bu yönteme ilişkin parametrelerin seçilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında etkin bir PBRTQC yönteminin seçilmesi ve bunu sağlayan parametrelerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmış olup bu kapsamda uygulayıcılar için hem bunların seçimi ve belirlenmesine ilişkin yöntem ortaya koyulmuş hem de iyi performans gösteren yöntemlere ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Bunun yanı sıra, yukarıda, bölümlerle ilgili sonuçların son kısımlarında verilen önerilere ilave olarak gelecek çalışmalara ilişkin diğer öneriler aşağıda sıralanmıştır;

- Çalışmanın farklı analitler ve bu kapsamda farklı dağılımlar, farklı kontrol grafikleri (PBRTQC yöntemleri) ve parametreler kapsamında genişletilebileceği,
- Veri dönüşümünün yapılması ve farklı kesme limitlerinin (yüzde olarak, biyolojik varyasyon dikkate alınarak vb.) kullanımı gibi uygulamaların performansa etkisinin incelenebileceği,

- Tez çalışmasında süreçteki sapma durumlarının pozitif olması öngörülmele birlikte negatif sapmaların da gelecek çalışmalarda kullanılabilceği ve özellikle dağılımları sola çarpık olan analitlerde kullanımının araştırılmasının faydalı olabileceği

değerlendirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında kesme limitlerinin kullanılmadığı durumların performansının yüksek olacağına yönelik sonuçlar elde edilmekle birlikte, çarpıklığı fazla ve dağılımları uzun kuyruklu olan analitlerde iki farklı kontrol grafiğinin birlikte kullanıldığı çalışmaların da denenebileceği düşünölmektedir. Bu doğrultuda, bir yandan, kesme limiti kullanılan bir kontrol grafiği ile rutin PBRTQC uygulaması yapılması; diğer yandan kesme limitleri dolayısıyla ilgili istatistik hesaplamasına katılmayan gözlem sayısı veya oranın üretim ve hizmet sektöründe kullanılan Shewhart tipi nitel kontrol grafikleri ile takip edilmesi şeklinde bir uygulamanın da araştırılabileceği değerlendirilmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Amador, E., Hsi, B.P., Massod, M.F., An Evaluation of the "Average of Normals" and Related Methods of Quality Control, *The American Journal of Clinical Pathology*, 50:3 (1968) 369-378.
- Badrick, T., Cervinski, M., Loh, T.P., A primer on patient-based quality control techniques, *Clinical Biochemistry*, 64 (2019) 1-5.
- Badrick, T., Bietenbeck, A., Cervinski, M.A., Katayev A., van Rossum, H.H., Loh, T.P., Patient-based real-time quality control: Review and recommendations, *Clinical Chemistry*, 65:8 (2019) 962-971.
- Badrick, T., Bietenbeck, A., Katayev, A., van Rossum, H.H., Loh, T.P., Cervinski, M.A., Implementation of patient-based real-time quality control, *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 57:8 (2020) 532-547.
- Badrick, T., Loh, T.P., Developing an evidence-based approach to quality control, *Clinical Biochemistry*, 114 (2023) 39-42.
- Begtrup, H., Leroy, S., Thyregod, P., 'Average of Normals' used as control of accuracy, and a comparison with other controls, *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 27:3 (1971) 247-253.
- Bietenbeck, A., Cervinski, M.A., Katayev, A., Loh, T.P., van Rossum, H.H., Badrick, T., on behalf of the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine Committee on Analytical Quality, Understanding Patient-Based Real-Time Quality Control Using Simulation Modeling, *Clinical Chemistry*, 66:8 (2020) 1072-1083.
- Borror, C.M., Montgomery, D.C., Runger, G.C., Robustness of the EWMA Control Chart to non-normality, *Journal of Quality Technology*, 31:3 (1999) 309-316.
- Carey, R.N., Patient population controls, *Clinics in Laboratory Medicine*, 33:1 (2013) 139-146.

- Cembrowski, G.S., Chandler, E.P., Westgard, J.O., Assessment of “average of normals” quality control procedures and guidelines for implementation, *American Journal of Clinical Pathology*, 81:4 (1984) 492-499.
- Coskun, A., Cavusoglu, C., Serteser, M., Serdar, M., Kilercik, M., Aksungar, F., Ünsal, İ., Truncation limits of patient-based real-time quality control: a new model derived from between-subject biological variations, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 59:4 (2020) e133-e136.
- Duan, X., Wang, B., Zhu, J., Shao, W., Wang, H., Shen, J., Wu, W., Jiang, W., Yiu, K.L., Pan, B., Guo, W., Assessment of patient-based real-time quality control algorithm performance on different types of analytical error, *Clinica Chimica Acta*, 511 (2020) 329-335.
- Duan, X., Wang, B., Zhu, J., Zhang, C., Jiang, W., Zhou, J., Shao, W., Zhao, Y., Yu, Q., Lei, L., Yiu, K.L., Chin, K.T., Pan, B., Guo, W., Regression-Adjusted Real-Time Quality Control, *Clinical Chemistry*, 67:10 (2021) 1342-1350.
- Fleming, J.K., Katayev, A., Changing the paradigm of laboratory quality control through implementation of realtime test results monitoring: for patients by patients, *Clinical Biochemistry*, 48 (2015) 508-513.
- Haeckel R., Wosniok W., Observed, unknown distributions of clinical chemical quantities should be considered to be log-normal: a proposal, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 48:10 (2010) 1393-1396.
- Haq, A., Woodall, W.H., A note on an average run length calculation for the EWMA and other charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 38 (2022) 4351-4355.
- He, Y., Gu, D., Kong, X., Feng, Z., Lin, W., Cai, Y., A study of the moving rate of positive results for use in a patient-based real-time quality control program on a procalcitonin point-of-care testing analyzer, *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36:4 (2022) e24320.
- Hoffmann, R.G., Waid, M.E., The “average of normals” method of quality control, *The American Journal of Clinical Pathology*, 43:2 (1965) 134-141.

- Human, S.W., Kritzinger, P., Chakraborti, S., Robustness of the EWMA control chart for individual observations, *Journal of Applied Statistics*, 38:10 (2011) 2071-2087.
- Kazmierczak, S.C., Laboratory quality control: Using patient data to assess analytical performance, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 41:5 (2003) 617-627.
- Kilgariff, M., Owen, J.A., An assessment of the “average of normals” quality control method, *Clinica Chimica Acta*, 19:2 (1968) 175-179.
- Knoth, S., Fast initial response features for EWMA control charts, *Statistical Papers*, 46 (2005) 47-64.
- Knoth, S., The steady-state behavior of multivariate exponentially weighted moving average control charts, *Sequential Analysis*, 37:4 (2018) 511-529.
- Knoth, S., Steady-state average run length(s): Methodology, formulas, and numerics, *Sequential Analysis*, 40:3 (2021) 405-426.
- Knoth, S., Saleh, N.A., Mahmoud, M.A., Woodall, W.H., Tercero-Gómez, V.G., A critique of a variety of “memory-based” process monitoring methods, *Journal of Quality Technology*, 55:1 (2023) 18-42.
- Law, A.M., *Simulation Modeling and Analysis*, 5th ed., McGraw-Hill Education, USA, 2015.
- Levey, S., Jennings, E.R., The use of control charts in the clinical laboratory, *American Journal of Clinical Pathology*, 20:11 (1950) 1059-1066.
- Li, Y., Yu, Q., Zhang, X., Chen, X., Comparison and optimization of various moving patient-based real-time quality control procedures for serum sodium, *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 35:10 (2021) e23985.
- Li, Y., Chen, X., Zhao, Y., The effect of ratios upon improving patient-based real-time quality control (PBRTQC) performance, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 62:4, (2024) 646-656.

- Lim, C.Y., Badrick, T., Loh, T.P., Patient-based quality control for glucometers: using the moving sum of positive patient results and moving average, *Biochem Med (Zagreb)*, 30:2 (2020) 020709.
- Liu J., Tan C.H., Badrick T., Loh T.P., Moving sum of number of positive patient result as a quality control tool, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 55:11 (2017) 1709-1714.
- Liu, J., Tan C.H., Badrick T., Loh, T.P, Moving standard deviation and moving sum of outliers as quality tools for monitoring analytical precision, *Clinical Biochemistry*, 52 (2018) 112–116.
- Loh, T.P., Cervinski, M.A., Katayev, A., Bietenbeck, A., van Rossum, H., Badrick, T., Recommendations for laboratory informatics specifications needed for the application of patient-pased real time quality control, *Clinica Chimica Acta*, 495 (2019) 625-629.
- Loh, T.P., Bietenbeck, A., Cervinski, M.A., van Rossum, H.H., Katayev, A., Badrick, T., Recommendation for performance verification of patient-based real-time quality control, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 58:8 (2020) 1205-1213.
- Loh, T.P, Lim, C.Y., Sethi, S.K., Tan, R.Z., Markus, C., Advances in internal quality control, *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 60:7 (2023) 502-517.
- Lu, Y., Yang, F., Wen, D., Shi, K., Gu, Z., Lu, Q., Wang, X., Dong, D., Assessment of patient based real-time quality control on comparative assays for common clinical analytes, *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36:9 (2022) e24651.
- Lucas, J.M., Saccucci, M.S., Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements, *Technometrics*, 32:1 (1990) 1-12.
- Lukić V., Ignjatović S., Optimizing moving average control procedures for small-volume laboratories: can it be done?, *Biochem Med (Zagreb)*, 29:3 (2019) 030710.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining G.G., *Introduction to Linear Regression Analysis*, 5th ed., John Wiley & Sons, USA, 2012.

- Montgomery, D.C., Introduction to Statistical Quality Control, 7th ed., John Wiley & Sons, USA, **2013**.
- Murat, U., Faz I Uygulamalarının Poisson-Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (PEWMA) Kontrol Grafiklerinin Faz II Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2019**.
- Murat, U., Testik, M.C., Pınar, A., Patient-based real-time quality control in medical laboratories: On the design and robustness of the moving average control chart with truncation limits, *Quality and Reliability Engineering International*, 40 (**2024**) 1935-1959.
- Ng, D., Polito, F.A., Cervinski, M.A., Optimization of a moving averages program using a simulated annealing algorithm: The goal is to monitor the process not the patients, *Clinical Chemistry*, 62:10 (**2016**) 1361-1371.
- Owen, J.A., Campbell, D.G., Laboratory quality control using patients' results, *Clinica Chimica Acta*, 20:2 (**1968**) 327-334.
- Özgür, N., Klinik Laboratuvar Süreçlerinde İstatistiksel Kalite Kontrol, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2019**.
- Poh, D.K.H., Lim, C.Y., Tan, R.Z., Markus, C., Loh, T.P., Internal quality control: Moving average algorithms outperform Westgard rules, *Clinical Biochemistry*, 98 (**2021**) 63-69.
- Reed, A.H., Use of patient data for quality control of clinical laboratory tests, *Clinical Chemistry*, 16:2 (**1970**) 129-134.
- Roberts, S.W., Control chart tests based on geometric moving averages, *Technometrics*, 1 (**1959**) 239-250.
- Rosenbaum, M.W., Flood, J.G., Melanson, S.E.F., Baumann, N.A., Marzinke, M.A., Rai, A.J., Hayden, J., Wu, A.H.B., Lador, M., Lifshitz, M.S., Scott, M.G., Peck-Palmer, O.M., Bowen, R., Babic, N., Sobhani, K., Giacherio, D., Bocsi, G.T., Herman, D.S., Wang, P., Toffaletti, J., Handel, E., Kelly, K.A., Albeiroti, S., Wang, S., Zimmer, M., Driver, B., Yi X., Wilburn, C., Lewandrowski, K.B., *Quality Control Practices for*

- Chemistry and Immunochemistry in a Cohort of 21 Large Academic Medical Centers, *American Journal of Clinical Pathology*, 150:2 (2018) 96-104.
- Song, C., Zhou, J., Xia, J., Ye, D., Chen, Q., Li, W., Optimization and validation of patient-based real-time quality control procedure using moving average and average of normals with multi-rules for TT3, TT4, FT3, FT3, and TSH on three analyzers, *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 34:8 (2020) e23314.
- Testik, M.C., Runger, G.C., Borrór, C.M., Robustness properties of multivariate EWMA control charts. *Quality and Reliability Engineering International*, 19:1 (2003) 31-38.
- Topcu, D.İ., Çubukçu, H.C., Optimization of patient-based real-time quality control based on the Youden index, *Clinica Chimica Acta*, 534 (2022) 50-56.
- van Andel, E., Henricks, L.M., Giliams, A.P.M., Noordervliet, R.M., Mensink, W.J., Filippo, D., van Rossum, H.H., Cobbaert, C.M., Gillis, J.M.E.P., Schenk, P.W., den Elzen, W.P.J., Moving average quality control of routine chemistry and hematology parameters – a toolbox for implementation, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 60:11 (2022) 1719-1728.
- van Rossum, H.H., Kemperman, H., A method for optimization and validation of moving average as continuous analytical quality control instrument demonstrated for creatinine, *Clinica Chimica Acta*, 457 (2016) 1-7.
- van Rossum, H.H., Kemperman, H., Implementation and application of moving average as continuous analytical quality control instrument demonstrated for 24 routine chemistry assays, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 55:8, (2017a) 1142-1151.
- van Rossum, H.H., Kemperman, H., Optimization and validation of moving average quality control procedures using bias detection curves and moving average validation charts, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 55:2 (2017b) 218-224.
- van Rossum, H.H., Moving average quality control: principles, practical application and future perspectives, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 57:6 (2019) 773-782.

- van Rossum, H.H., van den Broek D., Design and implementation of quality control plans that integrate moving average and internal quality control: incorporating the best of both worlds, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 57:9 (2019) 1329-1338.
- van Rossum, H.H., Huijsman M.N., Meeues C., van den Broek D., Optimization and validation of moving average quality control for the INR and aPTT coagulation tests, *Journal of Laboratory and Precision Medicine*, 5:27 (2020).
- Wei, C., The markov chain approach for performance evaluation of control charts - a tutorial. *Process Control: Problems, Techniques and Applications* (2011) 205-228.
- Westgard, J.O., Barry P.L., Hunt, M.R., Groth, T., A multi-rule Shewhart chart for quality control in clinical chemistry, *Clinical Chemistry*, 27:3 (1981) 493–501.
- Ye J.J., Ingels, S.C., Parvin, C.A., Performance evaluation and planning for patient-based quality control procedures, *American Journal of Clinical Pathology*, 113:2 (2000) 240-248.
- Zhou, Q., Loh, T.P., Badrick, T., Lim, C.Y., Impact of combining data from multiple instruments on performance of patient-based real-time quality control, *Biochemia Medica*, 31:2 (2021) 1-7.
- Zwetsloot, I.M., Woodall, W.H., A review of some sampling and aggregation strategies for basic statistical process monitoring, *Journal of Quality Technology*, 53:1 (2021) 1-16.

EKLER

EK 1 - Tezden Türetilmiş Yayınlar

Murat, U., Testik, M.C., Pınar, A. (2024). Patient-based real-time quality control in medical laboratories: On the design and robustness of the moving average control chart with truncation limits, *Quality and Reliability Engineering International*, 40, 1935-1959. DOI: 10.1002/qre.3502 **(Basıldı)**