



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

**DİNAMİK KALİTE KONTROL YAKLAŞIMI ile İSTATİSTİKSEL
SÜREÇ İZLEME ve AYARLAMA**

Didem GÜLERYÜZ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Şükrü Alp BARAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma, 13.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Ş. Alp BARAY (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi




Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Şakir ESNAF
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Sevilce GÜLSEÇEN
İstanbul Üniversitesi
Enformatik Bölümü



Doç. Dr. Hüseyin BERSAM BOLAT
İstanbul Teknik Üniversitesi
İşletme Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması dinamik kalite kontrol yaklaşımıyla bir sürecin izlenmesi ve ayarlanmasını kapsamaktadır. Endüstri Mühendisliği için önemli alanlardan biri olan kalite ve kalitenin sürdürülebilir olması ancak sürecin hedef değer etrafında çıktılar üretmesiyle mümkündür. Bu nedenle çalışmada Bütünleşik İstatistiksel Süreç Kontrol (İSK), Mühendislik Süreç Kontrol (MSK) sistemi tasarlanmıştır. Bütünleşik İSK/MSK sisteminin amacı İSK ile sürecin izlenmesi, MSK ile ise sürecin hedef değer etrafında çıktılar üretmesini sağlamaktır. Önerilen Bütünleşik İSK/MSK sistemiyle yapılan ayarlamalar sonucunda, sistemin sonuçları incelendiğinde sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu ve süreç değerlerinin hedef değer etrafına çekilebildiği görülmüştür. Bu çalışmamı somut bir şekilde sunabilme sürecimde katkıları olan hocalarıma ne kadar teşekkür etsem azdır.

Doktora başvuru mülakatına gittiğim ilk günden bugüne kadar mesleki ve insani olarak hiçbir konuda desteğini eksik etmeyen, bilgi birikimini ve tecrübesini paylaşan, daima yol gösteren ve meslek hayatım boyunca öğrencisi olmanın sorumluluğunu taşıyacağım çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Alp BARAY'a büyük bir minnetle teşekkür ederim. Ders dönemim boyunca danışmanlığımı yapan, üzerimde büyük emeği olan, kaygılandığım zamanlarda kendi öğrencilik dönemlerinden örnekler vererek beni cesaretlendiren çok değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY'e sonsuz teşekkür ederim. Eğitimime başladığım ilk gün "Bayburt'tan İstanbul'a derse gelmeyi göze aldıysan doktoranın yarısını bitirdin sayılır." diyerek bu yolda geri adım atmama engelleyen, o günden itibaren akademik ve psikolojik olarak desteğini eksik etmeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Şakir ESNAF'a tüm saygı ve içtenliğimle teşekkür ederim. Lisans, yüksek lisans, doktora eğitimlerimi farklı üniversitelerde tamamlamış olmak, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün akademik hayatımda bir dönüm noktası olmasını sağlamıştır. Değerli hocalarımla engin bilgi birikimleri tartışılmazken, özveri, mütevazilik ve insani değerlerin her şeyin önünde tutulması gerekliliği üç değerli hocamdan öğrendiğim ve hayatıma yön verecek ortak etkidir. Ayrıca tez aşaması boyunca değerli önerileriyle çalışmamı katkıda bulunan tez izleme komitesi ve İTÜ İşletme Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Hür Bersam BOLAT'a teşekkür ederim.

Uygulama çalışması için verilere ulaşmamı sağlayan canım kardeşim Kimya Mühendisi Sinem GÜLERYÜZ'e, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CİHAN'a, her an koşulsuz desteğini hissettiğim Erdemalp ÖZDEN'e ve sonsuz sevgileriyle yaşamıma anlam katan, eğitim hayatım boyunca hep desteklerini hissettiğim, her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim

Ocak 2020

Didem GÜLERYÜZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	9
2.1. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL (İSK).....	9
2.1.1. Süreç Kontrol Diyagramları	14
2.1.2. Süreç Kontrol Diyagramı Çeşitleri.....	16
2.1.3. Süreç Kontrol Diyagramlarına Otokorelasyon Etkisi.....	22
2.2. MÜHENDİSLİK SÜREÇ KONTROL (MSK).....	24
2.2.1. Dinamik Süreç Kontrolü	26
2.2.2. Stokastik Modeller	27
2.2.2.1. <i>Stokastik Model Tasarımı ve Box-Jenkins yöntemi</i>	28
2.2.2.2. <i>ARIMA (0 1 1): Bütünleşik Hareketli Ortalama</i>	28
2.2.2.3. <i>Transfer Fonksiyon Analizi Problemleri</i>	29
2.2.3. Süreç Bozulmalarında Zaman Serileri Modellemesi	30
2.2.3.1. <i>Durağan Zaman Serisi Modelleri</i>	31
2.2.3.2. <i>Durağan Olmayan Zaman Serisi Modelleri</i>	31
2.2.4. Dinamik ve Statik Modellerin Karşılaştırılması	32
2.2.5. Optimum Geri Besleme Kontrolü Yöntemleri	33
2.2.6. Süreç ayarlama problemleri.....	33
2.2.7. Geri Besleme ile Süreç Kontrolü: Bütünleşik Kontrol.....	34
2.2.8. EWMA Denetleyicisi.....	36
2.2.9. Bütünleşik Kontrol ve EWMA Denetleyicisi Arasındaki İlişki	36
2.2.10. Sınırlandırılmış Geri Besleme ile Süreç Ayarlama	37
2.2.11. Ayar Diyagramları ve Ayar Diyagramların Varyasyonu.....	37

2.2.12. MSK'nın Ekonomik Yönleri.....	38
2.3. BÜTÜNLEŞİK İSK/MSK SİSTEMİ	39
2.3.1. Bütünleşik İSK/MSK Literatür Araştırması.....	43
2.3.2. Literatürde Görülen Boşluklar.....	51
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	53
3.1. UYGULAMA ALANI VE SÜRECİN TANIMLANMASI	53
3.2. ÇEVİRİM DIŞI SÜRECİN İZLENMESİ.....	56
3.2.1. Süreç Verilerinin Otokorelasyonu ve Normal Dağılıma Uygunluğu.....	59
3.3. ÇEVİRİM İÇİ SÜREÇ İZLEME VE ÖLÇME.....	62
3.3.1. MSK için Teorik Denklem Önerisi.....	64
3.3.2. Sürecin EWMA Kontrol Diyagramı ile İzlenmesi.....	67
3.3.3. Dinamik Süreçler için Tahmin	68
3.3.3.1. Neden EWMA Tahmin Yöntemi?.....	68
3.3.4. EWMA Tahmin Yöntemi Uygulama Adımları	70
3.3.5. Bütünleşik Kontrol ile Ayar Miktarının Hesaplanması.....	75
3.3.6. İzleme Sinyali Analizi.....	77
4. BULGULAR.....	79
4.1. $\lambda=0,1$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	79
4.2. $\lambda=0,2$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	81
4.3. $\lambda=0,3$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	83
4.4. $\lambda=0,4$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	85
4.5. $\lambda=0,5$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	87
4.6. $\lambda=0,6$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	90
4.7. $\lambda=0,7$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	91
4.8. $\lambda=0,8$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	94
4.9. $\lambda=0,9$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI	95
4.10. FARKLI DÜZELTİM SABİTİ VE SÜREÇ KAZANCI DEĞERLERİ İÇİN ORTAK BULGULAR.....	97
4.10.1. İzleme Sinyali Analizi	98
4.10.2. Ayarlanmış Değerlerin Hedefe Olan Uzaklıklarının Ortalaması	100
4.10.3. Standart Hataların Ortalaması.....	100
4.10.4. Standart Sapma	101
4.10.5. Toplam Ayar Sayısı.....	101
4.10.6. Ayarlanmış Sürecin İzlenmesi	102
4.11. BÜTÜNLEŞİK İSK/MSK SİSTEMİNİN FARKLI PARTİLER İÇİN ÇALIŞTIRILMASI	103
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	104

KAYNAKLAR.....	111
EKLER.....	117
EK 1. Uygulama 1'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	117
EK 2. Uygulama 1'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	118
EK 3. Uygulama 2'nin gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	119
EK 4. Uygulama 2'nin gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	120
EK 5. Uygulama 3'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	121
EK 6. Uygulama 3'n gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	122
EK 7. Uygulama 4'n gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	123
EK 8. Uygulama 4'n gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	124
EK 9. Uygulama 5'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	125
EK 10. Uygulama 5'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	126
EK 11. Uygulama 6'nın gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	127
EK 12. Uygulama 6'nın gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	128
EK 13. Uygulama 7'nin gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	129
EK 14. Uygulama 7'nin gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	130
EK 15. Uygulama 8'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	131
EK 16. Uygulama 8'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	132
EK 17. Uygulama 9'un gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	133
EK 18. Uygulama 9'un gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	134
EK 19. Uygulama 10'un gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	135
EK 20. Uygulama 10'un gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	136
EK 21. Uygulama 11'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	137
EK 22. Uygulama 11'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	138
EK 23. Uygulama 12'nin gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	139
EK 24. Uygulama 12'nin gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	140
EK 25. Uygulama 13'n gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	141
EK 26. Uygulama 13'n gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	142
EK 27. Uygulama 14'n gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	143
EK 28. Uygulama 14'n gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	144
EK 29. Uygulama 15'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.	145
EK 30. Uygulama 15'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.	146
ZGEMİş.....	147

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Süreç kontrol diyagramlarının seçim kriterleri (Baray, 2008:82).	16
Şekil 2.2: Geri bildirim kontrolü ile bir süreç (Huang ve Lin, 2002).	25
Şekil 2.3: Gürültülü transfer fonksiyonu (Castillo, 2002:45).	30
Şekil 2.4: Zaman serileri analizi problemi (Castillo, 2002:44).	30
Şekil 2.5: Süreç ayar problemi: geri besleme kontrolü (Castillo, 2002:46).	34
Şekil 2.6: İSK ve MSK bütünleşmesi.	42
Şekil 2.7: Bütünleşik İSK/MSK yöntemleri (Montgomery ve diğ., 1994).	47
Şekil 3.1: Önerilen bütünleşik İSK/MSK sistemi.	54
Şekil 3.2: TA. HDi 500 tekstür cihazı (Ertaş ve Doğruer, 2010).	56
Şekil 3.3: Üretim süreci akışı.	57
Şekil 3.4: TPA değeri dalgalanmaları.	58
Şekil 3.5: Seçilen girdi verileri ve çıktı değeri için otokorelasyon testi sonuçları.	60
Şekil 3.6: Seçilen girdi verileri için normallik testi sonuçları.	61
Şekil 3.7: Girdi verilerinin EWMA diyagramları.	62
Şekil 3.8: Süreç ayarlama faaliyetleri akış şeması.	63
Şekil 3.9: Karakteristiğin gerçek ve teorik değeri arasındaki fark.	66
Şekil 3.10: Gerçek süreç çıktıları EWMA kontrol diyagramı.	67
Şekil 4.1: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,1$).	80
Şekil 4.2: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,1$).	80
Şekil 4.3: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,2$).	82
Şekil 4.4: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,2$).	83
Şekil 4.5: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,3$).	85
Şekil 4.6: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,3$).	85
Şekil 4.7: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,4$).	87
Şekil 4.8: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,4$).	87
Şekil 4.9: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,5$).	89
Şekil 4.10: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,5$).	89
Şekil 4.11: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,6$).	91
Şekil 4.12: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,6$).	91
Şekil 4.13: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,7$).	93
Şekil 4.14: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,7$).	93
Şekil 4.15: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,8$).	95
Şekil 4.16: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,8$).	95
Şekil 4.17: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,9$).	97
Şekil 4.18: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,9$).	97
Şekil 4.19: İzleme sinyali değerleri.	100
Şekil 5.1: Bütünleşik İSK/MSK Sistemi Özet Akışı.	107

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1.1: İSK ve MSK karşılaştırması (Messina, 1992).	4
Tablo 2.1: EWMA kontrol diyagramı için merkez çizgi ve kontrol limitleri.	21
Tablo 2.2: EWMA kontrol diyagramı için kararlı durum kontrol limitleri.....	21
Tablo 2.3: MSK ve İSK karşılaştırması (Messina, 1992).	47
Tablo 3.1: Süreç izleme öncesi ve esnasındaki faaliyetler.....	55
Tablo 3.2: TA. HDi 500 tekstür cihazı ön hazırlık ayarları.	56
Tablo 3.3: TPA değerleri.....	59
Tablo 3.4: Gerçek ve teorik TPA değerleri.	65
Tablo 3.5: Gerçek süreçten alınan TPA gözlem değerleri.	67
Tablo 3.6: TPA gözlem değerlerine ait temel istatistik değerleri.....	67
Tablo 3.7: $\lambda=0,1$ değeri ile süreç ayarlama.	76
Tablo 4.1: $\lambda=0,2$ değeri ile süreç ayarlama.	81
Tablo 4.2: $\lambda=0,3$ değeri ile süreç ayarlama.	83
Tablo 4.3: $\lambda=0,4$ değeri ile süreç ayarlama.	86
Tablo 4.4: $\lambda=0,5$ değeri ile süreç ayarlama.	88
Tablo 4.5: $\lambda=0,6$ değeri ile süreç ayarlama.	90
Tablo 4.6: $\lambda=0,7$ değeri ile süreç ayarlama.	92
Tablo 4.7: $\lambda=0,8$ değeri ile süreç ayarlama.	94
Tablo 4.8: $\lambda=0,9$ değeri ile süreç ayarlama.	96
Tablo 4.9: Farklı düzeltme sabitleri için EWMA tahmin değerleri.....	98
Tablo 4.10: EWMA tahminlerinin izleme sinyali değerleri.....	99
Tablo 4.11: Süreçlerin performans ölçütü değerleri.	100
Tablo 4.12: Standart hataların ortalaması.	101
Tablo 4.13: Standart sapma değerleri.	101
Tablo 4.14: Toplam ayar sayısı.	101
Tablo 4.15: EWMA kontrol diyagramı sonuçları.....	102
Tablo 4.16: Özet sonuç değerleri.....	102
Tablo 5.1: Süreci kontrol altında tutan λ değerleri.	108
Tablo 5.2: Farklı partilere ait sonuçlar.....	109

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: 1.tip hata olasılığı
β	: 2.tip hata olasılığı
Y_t	: t anındaki ölçüm değeri
S_n	: n. örneğin CUSUM değeri
μ_0	: Hedef değer
n	: Alt örnek hacmi
m	: Alt örnek sayısı
μ	: Ortalama
k	: Standart sapma cinsinden orta çizgiden uzaklık miktarı
k	: CUSUM diyagramı için referans değeri
μ_0	: Kontrol altındaki sürecin ortalaması
μ_1	: Kontrol dışı olan sürecin ortalaması
Δ	: Ortalamadan kayma miktarı
$SH(i)$: i. periyot için bir taraflı üst CUSUM
$SL(i)$: i. periyot için bir taraflı alt CUSUM
δ	: Kaymanın σ cinsinden değeri
H	: CUSUM diyagramlarında karar aralığı sabiti
Λ	: Düzeltim sabiti
g	: Süreç kazancı
G	: Oransal sabit
N_t	: Gürültü faktörü
T	: Hedef değer
a_t	: Beyaz gürültü
e_t	: t zamanı için tahmin hatası
σ	: Sürecin standart sapması
β_0	: Bağımsız değişkenin katsayısı
L	: Sınır değer

Kısaltmalar	Açıklama
MSK	: Mühendislik Süreç Kontrol
İSK	: İstatistiksel Süreç Kontrol
EWMA	: Üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama
TPA	: Tekstür Profil Analizi
SPC	: Statistical Process Control
EPC	: Engineering Process Control
GM	: G kuvveti x Metre
CUSUM	: Kümülatif Toplam
OÇ	: Orta Çizgi
AKL	: Alt Kontrol Limiti
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti
SL	: Spesifikasyon Limiti
ASL	: Alt Spesifikasyon Limiti
ÜSL	: Üst Spesifikasyon Limiti
ARIMA	: Otoregresif bütünlük hareketli ortalama
AR(1)	: 1.Seviyeden Otoregresif Süreç
MA(1)	: 1.Seviyeden Hareketli Ortalamalar
IMA(1)	: 1.Seviyeden Hareketli Ortalamalar
MSD	: Ortalama hataların karesi
MSV	: Minimum Varyans Denetleyicileri
AİSK	: Algoritmik İstatistiksel Süreç Kontrol
PID	: Oransal-İntegral-Diferansiyel
OSK	: Otomatik Süreç Kontrol
TS	: İzleme Sinyali
MAD	: Ortalama Mutlak Sapma
MPC	: Manuel Süreç Kontrolü
U1	: 1. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU1	: 1. uygulamanın Ayarlanmış Süreç verileri
U2	: 2. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU2	: 2. uygulamanın Ayarlanmış Süreç verileri
U3	: 3. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU3	: 3. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U4	: 4. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri

AU4	: 4. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U5	: 5. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU5	: 5. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U6	: 6. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU6	: 6. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U7	: 7. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU7	: 7. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U8	: 8. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU8	: 8. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U9	: 9. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU9	: 9. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U10	: 10. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU10	: 10. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U11	: 11. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU11	: 11. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U12	: 12. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU12	: 12. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U13	: 13. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU13	: 13. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U14	: 14. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU14	: 14. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri
U15	: 15. Uygulamanın Ayarlanmamış Süreç Verileri
AU15	: 15. Uygulamanın Ayarlanmış Süreç Verileri

ÖZET

DİNAMİK KALİTE KONTROL YAKLAŞIMI ile İSTATİSTİKSEL SÜREÇ İZLEME ve AYARLAMA

DOKTORA TEZİ

Didem GÜLERYÜZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Alp BARAY

Kalitenin istatistiksel takibinde kullanılan kontrol diyagramları özellikle sürekli süreçlerin izlenmesi sırasında etkinliğini kaybedebilmekte, bazı gerekli durumlarda geç sinyal verebilmektedir. Buna alternatif olarak geliştirilen mühendislik süreç kontrolü yaklaşımı ise hatalı model oluşturulması halinde sistemin bütünüyle kontrol dışı kalmasına yol açabilmektedir. İstatistiksel Süreç Kontrolün (İSK) ve Mühendislik Süreç Kontrolün (MSK) bütünleşik şekilde kullanılmasının temel nedeni süreç ortalamasındaki varyasyondur ve bu nedenle, sürecin sık sık değişen bir ortalaması varsa bu tür süreçlere sahip endüstriler tarafından kullanılabilirler. İSK ve MSK, sürekli süreçlerde başarıyla kullanılmaktadır. İSK ve MSK'yi bütünleştirmek kalite kontrolünde çok etkili bir yoldur, çünkü hem İSK hem de MSK'nin özellikleri birbirini tamamlayıcı bir performans sergileyebilmektedirler. Bu çalışma, İSK ve MSK'yi tek bir metodolojide birleştiren bir çerçeve sunmaktadır.

Çalışmada 2014 yılı sonuna kadar Türkiye talebini yurtdışından karşılayan ve bu tarihten sonra Türkiye'de üretim yapmaya başlayan bir oyun hamuru firması üretim sürecine Bütünleşik İSK/MSK sistemi uygulanarak istatistiksel kalite kontrol yaklaşımıyla dinamik bir süreç için süreç izleme ve ayarlama yapılmıştır. Oyun hamurunun bir kalite karakteristiği izlenerek, kalite karakteristiği değerinin hedef değer etrafında kalması amaçlanmıştır. Bu amaçla, süreç kontrol diyagramları yardımıyla süreç izlenmiş, istatistiksel anlamda kontrol dışı olan süreçlerin ortalamasının hedef değer etrafına çekilebilmesi için MSK faaliyetleri kullanılmıştır.

EWMA kontrol diyagramları bütünleşik geri besleme kontrolü ve sınırlandırılmış ayar diyagramları birbirlerinden aldığı cevaplara göre çalışarak bütünleşik bir İSK/MSK sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem, sürecin yapısına uygun değerlerin seçimi için farklı parametrelerle çalıştırılmış ve süreç için en uygun parametre değeri seçilmiştir. Seçilen bu değer kullanılarak tasarlanan sistemin farklı partilere uygulanmasıyla sistemin geçerliliği test edilmiştir. Tüm deneme üretimlerinde süreç ortalamasının hedef değer çevresinde kaldığı ve istatistiksel olarak kontrol altında olduğu görülmüştür. Bütünleşik İSK/MSK sisteminin uygulandığı bu sürecin

gerçek ve ayarlanmış değerleri, kontrol diyagramları ve belirlenen performans kriterleri gözetilerek karşılaştırılmış ve bütünleşik sistemin kullanılmasıyla sürecin anlamlı bir fark oluşturacak şekilde iyileştiği görülmüştür.

Ocak 2020, 165 sayfa.

Anahtar kelimeler: İstatistiksel Süreç Kontrol, Mühendislik Süreç Kontrol, EWMA Tahmin Yöntemi, Bütünleşik Geri Besleme Kontrolü, Süreç İzleme, Süreç Ayarlama



SUMMARY

STATISTICAL PROCESS MONITORING and ADJUSTMENT by DYNAMIC QUALITY CONTROL APPROACH

Ph.D. THESIS

Didem GÜLERYÜZ

**Istanbul University-Cerrahpasa
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Supervisor : Prof. Dr. Alp BARAY

The control charts used in statistical monitoring of quality may lose their effectiveness, especially during continuous process monitoring and may provide late signals in some necessary cases. An alternative to this is the Engineering Process Control (EPC) approach can cause the system to be completely out of control if a faulty model is formed. The main reason for the integrated use of Statistical Process Control (SPC) and EPC is variation in the process average and therefore, if the process has a frequently changing average, it can be used by industries with such processes. The integration of SPC and EPC is successfully used in continuous processes. Integrating SPC and EPC is impactful way of quality control since the characteristics of both SPC and EPC can be complementary. This thesis provides a framework for combining SPC and EPC in a single methodology.

In the thesis, statistical quality control approach, process monitoring and adjustment for a dynamic process was performed by applying Integrated SPC / EPC system to the production process of a play dough company which was meeting the demand from abroad by the end of 2014 and after this date was beginning to produce in Turkey. By monitoring a quality characteristic of play dough it is intended to remain around the target value of these values. For this purpose, the process was monitored with the help of process control charts and in order to draw the process mean of the processes that are not statistically controlled around the target value a SPC actions were employed.

The EWMA control chart, feedback integral control and bounded adjustment charts are designed according to the responses received from each other by using the integrated SPC/ EPC system. The system was run with different parameters to select the appropriate values for the structure of the process and the most appropriate parameter value was selected for the process. The validity of the system was tested by applying different batches of the designed system with this selected value. It was observed that the process mean was around the target value and was

under statistical control in all trial productions. This process in which integrated SPC / EPC system is applied, it was observed that it improved to make a significant difference by using an integrated system compared with actual process in terms of control diagrams and determined performance criteria values.

January 2020, 165 pages.

Keywords: Statistical Process Control, Engineering Process Control, EWMA Forecasting, Feedback Integral Control, Process Monitoring, Process Adjustment



1. GİRİŞ

Küreselleşme ve teknolojik gelişmeler her süreci etkilediği gibi üretim ortamında da büyük etkiler yaratmakta ve değişime neden olmaktadır. Başarılı firmaların düşük maliyetle yüksek kaliteli ürünler üreterek rakiplerinin önüne geçmeyi başarabilen firmalar olduğu bilinen bir gerçektir. Tüketici pazarlarındaki artan rekabet ile bugünün üreticilerinin sahip olmaları gereken en önemli güç, ürettikleri ürünlerin ve sundukları hizmetlerin kalitesine güvenmektir. Çünkü müşteri memnuniyeti bu güvenle bire bir ilişkilidir. Günümüzde ürünlerin yaşam döngüsünün hızla düştüğü görülmektedir. Bu nedenle müşteri memnuniyetini sağlamak ancak hızla değişen yaşam döngülerinde kaliteyi optimum seviyede tutarak gerçekleşir.

Kalitenin gerçekçi, anlaşılabilir ve isteneni özetleyen bir tanımının yapılması geçmişten bugüne kadar başlı başına önemli bir problem olmuştur. Bunun nedeni tanımı yapacak olan kişinin tanımı etkileyen en büyük faktör olması ve tanımı yapacak kişiye göre de tanımın değişkenlik gösterecek olmasıdır. Yaygın bilinen tanımları “şartlara uygunluk, kullanıma uygunluk, müşteri beklentisine uygunluk” gibi sıralanabilir. Ürün yaşam döngülerinin düşük olmasının en büyük nedeni hızla gelişen teknolojidir. Gelişen teknolojiyle birlikte bir ürüne yeni bir özellik eklenmesi bir önceki ürünün daha eski bir ürün olarak kabul görmesine neden olmaktadır. Günümüz kalite tanımının en göze çarpan özelliği kısa ürün yaşam döngülerini hesaba katabilmek olmalıdır. Bu nedenle müşterilerin sadece bugünkü beklentilerine cevap vermek değil de gelecekteki beklentilerinin de karşılanmasını hedeflemek daha gerçekçi bir tanım ortaya koyacaktır (Montgomery, 2009).

20. yüzyılın ilk dönemlerinden itibaren kalite ile birçok bilim adamı ilgilenmiş ve çalışmalar yapmışlardır. İlk zamanlar sürecin çıktısıyla ilgilenilmiştir ve süreç çıktılarının bekleneni karşılayıp karşılamadığına odaklanılmıştır. Fakat çıktıyı iyileştirmenin süreci kontrol altında tutmakla olabileceği Dr. Walter Shewhart'ın geliştirdiği süreç kontrol diyagramlarıyla önem kazanmıştır. Kalite için süreç çıktılarının değil de sürecin kendisinin önemli olduğu tezi ise William Edwards Deming tarafından savunulmuştur (Yamak, 2015). Deming'in kalite için sürecin en önemli etken olduğunu ortaya çıkaran bazı görüşleri şöyle özetlenebilmektedir.

- “Kalite süreçle birlikte oluşturulur.
- Ürünlere kaliteyi sonradan ekleyemezsiniz.
- Kalite kontrol edilemez ancak oluşturulur.
- Kaliteyi kontrol ederseniz sadece hatalı olan ürünleri ayıklarsınız kalite kontrolle kaliteyi ürüne ekleyemezsiniz, çünkü kalite bir süreçte vardır ya da yoktur”(Yamak, 2015).

Yüksek kalitede ürünler üretebilmek ancak firma süreçlerinin sürekli iyileştirilmesiyle sağlanabilmektedir. Kalite iyileştirme yöntemlerinin merkezinde yer alan istatistiksel araçlar firmaların süreç iyileştirme konusunda karşılaştıkları problemlerin çözümüne cevap verebilmektedir. Süreç iyileştirmek için kullanılan istatistiksel yöntemler üretim sektörünün yanında hizmet sektörü içinde faydalı çözümler sunmaktadır. Modern üretim süreçleri geleneksel süreçlere göre daha karmaşık yapıya sahiptir ve bu karmaşıklık günden güne artmaktadır bu nedenle üretim süreçlerinden kaynaklanan kalite problemlerini gidermek için literatürde yapılan çalışmalara ilgi de günden güne artmıştır.

Yapılan çalışmaların ortak amacı minimum kaynakla daha kaliteli ürünler üretmeye yardımcı olacak teknikler geliştirmek ve topluma fayda sağlamaktır. Literatürdeki bu çabayla uyum içinde olan bu tez çalışması kalite ve performans iyileştirmeleri için istatistiksel süreç izleme ve mühendislik süreç kontrol yöntemlerini derinlemesine inceleyecek ve bu iki yöntemin birlikte kullanılabilmesini sağlayacak bütünlük bir çerçeve oluşturarak üretim sektöründe yapılan bir uygulama ile literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Tüm süreçler birçok kaynağın neden olduğu değişkenliğe sahiptir ve bu değişkenlik literatürde varyasyon olarak bilinmektedir. Süreçlerde varyasyonunun giderilmesi kolay varyasyon ve giderilmesi zor varyasyon olmak üzere iki farklı çeşidiyle karşılaşılabilmektedir ve tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir bu yüzden süreçteki varyasyonun minimuma indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Üretim süreçlerinde karşılaşılabilecek varyasyonun belirlenebilmesi için süreçlerin izlenmesi gerekmektedir. Eğer varyasyon kaynağı belirlenen nedenlerden dolayı ortaya çıkıyorsa düzeltici ve önleyici faaliyetlerle, sürecin istatistiksel takibinin sonucu olarak varyasyon azaltılabilecektir. İstatistiksel kalite kontrol yöntemleriyle süreç iyileştirmeleri sağlanabilir ve kalite istenen düzeye çekilebilir. Beklenen kalite seviyesi kabul edilebilir

limitler dahiline ulaştığında artık bu kalitenin sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir (Baray, 2008:33).

İstatistiksel kontrol ve mühendislik ayarlama faaliyetleri kaliteli ürünler üretmek ve üretim sürecinin istikrarını korumak için kritik öneme sahip olsa da geleneksel olarak eğitilmiş bir kalite mühendisi veya kalite yöneticisi tarafından sürekli kalite iyileştirmeleri için potansiyel araçlar olarak görülmeyebilirler. Yakın geçmişe kadar kalite tanımını altın kaplamalı ürün olarak varsayan anlayıştan kurtulup bugünkü tanımını kazandığı düşünöldüğünde bu sürekli iyileştirme araçlarının öneminin anlaşılamamasının nedeni kolaylıkla anlaşılabilir.

Öte yandan MSK teknikleri, süreçteki kaymaların türüne göre çevrimiçi süreç ayarlamalarına yoğunlaşmakta ve süreç mühendisleri tarafından uzun süredir kullanılmaktadır. Sürecin istatistiksel takibi İSK yöntemleri ile yapılabilmekte ve sürecin kontrol altında olmadığı gözlemlendiğinde İSK teknikleri açıkça bir ayarlama stratejisi ortaya koymamaktadır. Aynı zamanda modern üretim süreçlerinde kullanılan sensör teknolojisi bir sürece ait kalite karakteristiği verilerinin bir zaman serisi oluşturduğunu ve bu seriye ait değerlerin ilişki olduğunu göstermiştir. Edinilen bu sonuç modern bir üretim ortamında İSK tarafından kullanılan birçok varsayımın artık geçerli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle sürece uygun şekilde tasarlanmış bir ayarlama yöntemi uygulanarak, süreçteki varyasyon azaltılabilir (Siddiqui ve diğ., 2015).

Kalitenin istatistiksel olarak izlenmesi, süreç kontrol diyagramları ile mümkündür. Fakat kontrol diyagramları özellikle sürekli süreçlerin izlenmesi sırasında etkinliğini kaybedebilmekte ya da geç sinyal verebilmektedir. Buna alternatif olarak geliştirilen MSK yaklaşımlı süreci hatalı temsil eden bir model oluşturması halinde sistemin bütünüyle kontrol dışı kalmasına yol açabilmektedir.

İSK ve MSK'nin bütünleşik şekilde kullanılabileceği düşüncesinin ortaya çıkmasını sağlayan temel neden süreçteki değişkenliktir, bu nedenle, çoğunlukla sürekli üretim süreçlerinde karşılaşılan sürecin sık sık değişen bir ortalaması varsa bu tür süreçlere sahip endüstriler için geliştirilen Bütünleşik İSK/MSK sistemi bir çözüm olabilecektir. İstatistiksel süreç kontrolünün ve mühendislik süreç kontrolünün entegrasyonu, sürekli süreçlerde başarılı sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, bu tekniğin uygulaması, kesikli ve sürekli durumları içerdiiğinden bu tür

süreçlerin izlenmesinde; örnekleme, hata tespiti, gerçek zamanlı uygulamalar ve süreç kontrolden kaynaklanan zorluklar oluşturmaktadır (Huang ve Lin, 2002).

Son yirmi yılda İSK ve MSK'nın bütünleştirilmesi alanında önemli araştırmalar yapılmış olmasına rağmen, belirlenen bazı nedenlerden dolayı bu çalışmalar hala yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerden bazılarını örnekleme gerekirse; literatürde yapılan ilk çalışmalar bu iki yöntemin bütünleştirilmesinin faydalı olabileceği konusunda gerçek dışı varsayımlara dayanmış ve iki yöntemin hiç ortak noktasının bulunmadığını vurguladıklarından daha sonraki araştırmacıların bu alana yönelmesi engellenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu görüşü benimsemeyen az sayıda araştırmacı gerçekçi varsayımlarla iki yöntemin birbirini tamamlayıcı özellikte olduğunu savunan çalışmalar yapmışlardır (MacGregor, 1988). Messina (1992), İSK ve MSK arasındaki farkları tablo halinde sunmuştur. Tablo 1.1'den de görüldüğü gibi iki metodun ortak noktası yoktur.

Tablo 1.1: İSK ve MSK karşılaştırması (Messina, 1992).

	İSK	MSK
Felsefe	Süreçlerin gözlemlenmesiyle kontrol dışı durumlar ortadan kaldırılarak varyasyon en aza indirilir.	Süreçteki değişkenliğe karşı koymak için sürecin ayarlanmasıyla varyasyon en aza indirilir.
Uygulama	Süreç durağanlığı beklentisi.	Sürekli süreç kayması beklentisi.
Dağıtım:		
• Seviye	Stratejik	Taktik
• Hedef	Bozulmaları Belirlemek	Süreç Parametreleri
• Fonksiyon	Kalite Özellikleri	Referans noktalarını izleme
• Maliyet	Büyük	İhmal Edilebilir
• Odak	İnsanlar ve Yöntemler	Ekipman
Korelasyon	Yok	Alçaktan yükseğe
Sonuçlar	Süreç geliştirme	Süreç optimizasyonu

Ancak, MacGregor (1991), stokastik kontrol teorisinin bu iki yöntemi birbirine bağladığını ileri sürmüştür. MSK'nın temel amacı, süreci hedefte tutmaktır. MSK süreçteki değişkenliklerin arkasındaki kök sebebi göz ardı ederek çıktının hedeften sapmasını en aza indirmek için süreç girdisini düzenler. MSK teknikleri, süreç çıktılarındaki değişikliklerin çoğunlukla büyük ölçüde birbirleri ile ilişkili olduğu kimyasal süreçlerde yoğun olarak uygulanır (Schippers, 2001). MSK kullanmanın faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- MSK minimum maliyetle müşterilerin talebini karşılar ve kalite karakteristiğini hedef değer etrafına çekilmesini sağlar.
- MSK üretim oranını minimum maliyetle artırır.
- MSK bir kontrol cihazı yardımıyla sürecin sürekli ayarlanmasıyla süreç verimliliğini maksimum düzeye çıkarır.

Kısaca MSK süreç çıktılarındaki sapmayı telafi etmek ve süreç çıktılarını istenen hedefe yakın tutmak için ayarlanabilen bir dizi değişken olduğunu varsayan süreç düzenlemesine odaklanır (Montgomery, 2009). Süreçleri etkileyen giderilebilir nedenleri belirleme ve kaldırma girişiminde bulunmaz. Süreç kaymaları belirli bir aralığın dışında olduğunda, MSK tek başına sistem çıktısını hedefe yakın tutamaz. Bu nedenle sürecin hangi değerler arasında kontrol altında olduğunu görmek ve süreci izlemek için İSK tekniklerinden faydalanmak gereklidir (Schippers, 2001).

İstatistiksel süreç iyileştirme teknikleri imalat ve hizmet süreçlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Bir üretim ya da hizmet sürecinin dinamik kalite kontrolü ve kalite iyileştirmeleri için istatistiksel süreç izleme ve mühendislik süreç ayarlama yöntemlerinin birlikte kullanılması verimlilik getirebilecektir.

İSK ise süreçteki kaymaları belirleyerek giderilmesi kolay varyasyonu tespit etmek için kullanılmaktadır. İSK'nın ana amacı, sürecin belirli değişkenlerinin belirli aralıkta olup olmadığını izleyerek ürün kalitesini sağlamaktır. Kontrol diyagramları İSK'nın araçlarından bir tanesidir. Sürecin çıktı değerlerini ölçerek, konumun ve yayılmanın takip edilmesini sağlar. İSK sahip olduğu avantajlar sayesinde üretim süreçlerinin kontrol altında tutulması için fayda sağladığından endüstride popülerlik kazanmıştır (Montgomery, 2012). Bu avantajları şöyle sıralamak mümkündür:

- İSK nihai üründe kusurların azalmasını sağlar.
- Verimliliği artırmak için hurda ve yeniden işleme oranlarını azaltır.
- Süreç kararlılığının sağlanması için gereksiz ayarlama faaliyetlerini önler.
- Sürecin mevcut durumunu tanımlayarak karar verme için bilgi sağlar.
- Süreç yeterliliği hakkında bilgi sağlar.

İSK süreçteki kolay varyasyonu belirleyerek sürecin kontrol altında kalmasını sağlar. Kontrol altında olduğu düşünülen süreçler ise kontrol limitleri dahilinde olsalar dahi çıktı hedef değerinden uzaklaşmış olabilirler. Süreç ortalamasının hedef değere yaklaştırılması ise MSK'nın uygulanması ile mümkündür. Bu nedenle iki yöntemin birbirini tamamlayıcı özelliği olduğu söylenilebilir. Bir süreçte sürekli MSK faaliyetleri ile ayarlama yapmak ek maliyetlere neden olabilir. Bu nedenle süreçte ayar faaliyetlerinin sadece gerekli olduğunda yapılması gerektiği fikri İSK ve MSK'nın birlikte kullanılması gereğini ortaya sürmüştür. İki sistemin ilk bütünleştirilme fikri 1988'de yapılan bir çalışmayla ortaya çıkmıştır (Box ve Kramer, 1992; MacGregor, 1988).

Günümüze kadar uzanan bu süreçte iki yöntemin birlikte kullanılmasının fayda sağlayabileceğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır fakat bu çalışmaların çoğunda İSK ve MSK için bütünleştirici bir çerçeve sunulmuş ama uygulama yapılmamıştır. 2011 yılından sonra bütünleşik sistemin kullanıldığı bazı uygulamalar yapılmıştır fakat bu uygulamalar için kimyasal süreçler seçilmiştir. Bunun nedeni kimyasal süreçler doğası gereği kimyasal denkleme sahiptir ve bu denklem kullanılarak herhangi bir girdi değişkeninde yapılan değişikliğin etkisi çıktı üzerinde kolaylıkla görülebilmektedir. Bu nedenle İSK ile sürecin kontrol altında olmadığı tespit edildiğinde, süreci hedef değer etrafına çekmek için gerekli olan ayarlama faaliyetleri mühendislik süreç kontrolüyle sürecin sahip olduğu kimyasal denklem aracılığı ile yapılabilecektir.

Bu tez çalışmasında ise uygulama alanı olarak seçilen oyun hamuru üretim süreci bir karışım sürecidir fakat bu süreç fiziksel bir karışım olduğundan kimyasal bir denkleme sahip değildir. Bu nedenle herhangi bir girdi değişkeninde yapılan değişikliğin çıktı değişkeni üzerindeki etkisinin matematiksel olarak görmek kimyasal süreçlere göre daha zordur. Bunun sonucu olarak süreçte yapılacak ayarlama faaliyetlerini temsil edebilecek teorik bir denklem ihtiyacı doğmuştur. Ayarlama faaliyetini açıklayabilen bir teorik denklem kurulabilirse; girdi değişkeninde yapılan ayarlamaların çıktı değişkeni üzerindeki etkisi teorik olarak hesaplanabilecek ve gerçek çıktı değeriyle karşılaştırılabilecektir. Bu karşılaştırma için kullanılacak sürecin gerçek çıktı değerlerini ve hesaplanan teorik çıktı değerlerini içeren iki zaman serisi arasında kurulan regresyon denklemi kabul edilebilir bir anlam düzeyine sahipse bu denklemden çıkarılacak sonuçlar bütünleşik İSK/MSK sistemi için girdi parametresi sağlayabilecektir.

Çalışma literatürde fiziksel bir karışım sürecinin uygulama alanı olarak kullanıldığı ilk çalışmadır. Mart 2018 tarihi itibariyle ulusal makale çalışmaları ve ulusal tez merkezi taranmış; İSK ve MSK yöntemlerini birlikte kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Uluslararası yapılan tezler ve çalışmalar incelendiğinde ise çok az sayıda çalışmanın yapılmış olduğu görülmüş ve bu çalışmalarda ya bütünlük bir çerçeve sunulmuş ya da kimyasal denkleme sahip süreçlerde uygulama yapılmıştır.

Bu nedenle İSK/MSK sisteminin birlikte kullanıldığı bir bütünleştirme çerçevesi öneren ve önerilen metodolojiyi bir üretim sürecinde uygulayan bu tez çalışmasında sunulan sadece bütünleştirme çerçevesi dahi ülkemizde yapılan çalışmalar içinde ilktir. Uluslararası yapılan çalışmalar arasında ise uygulama alanı olarak kimyasal bir süreç dışında fiziksel bir karışım sürecinin seçildiği tek çalışmadır. Bu tezin amacı, istatistiksel süreçlerin izlenmesi ve ayarlanması için istatistiksel süreç kontrolü ile mühendislik süreç kontrolünün birleştirilmesidir. Böylelikle her iki yaklaşımın güçlü yanlarını bir araya getirerek istatistiksel süreç takibinin etkinliğinin artırılması ve dinamik şekilde yürütülmesi hedeflenmektedir.

Bu tez çalışması beş ana kısımdan oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra ikinci bölüm olarak takip eden GENEL KISIMLAR bölümü İstatistiksel Süreç İzlemenin en önemli yapı taşlarından olan Süreç Kontrol Diyagramları (SKD), otokorelasyonun süreç kontrol diyagramlarına olan etkisi, MSK yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak sürecin hedef etrafında nasıl tutulduğu, Dinamik Süreç Kontrolü, Zaman Serileri, EWMA Tahmin Yöntemi, Sınırlandırılmış Ayar Diyagramları, İSK/MSK yöntemlerinin birlikte kullanılması ve bu yöntemlere ait literatür araştırmalarını kapsamaktadır.

Üçüncü bölüm olan MALZEME ve YÖNTEM 'de ise iki yöntemin birlikte kullanılmasını sağlamak için bu yöntemlerin literatürde bulunan teorik alt yapılarına sadık kalınarak bütünleştirilmiş bir İSK/MSK çerçevesi önerilmiştir. Bütünleştirilmiş İSK/MSK iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk aşamada süreç üstel ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) kontrol diyagramları ile izlenmekte ve sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilmektedir. İkinci aşamada ise, süreçte kaymalar gözlemlendiğinde süreci hedef değer etrafında tutmak ve varyasyonu azaltmak için sürecin ayarlanması gerektiğinden MSK yöntemlerinden geri besleme ile bütünlük kontrol yöntemi kullanılarak süreç hedef değer etrafına çekilmektedir.

Ayarlama faaliyetleriyle hedef değer etrafına çekilen sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması da hedeflenen diğer bir amaçtır. Bu nedenle bu bölümde bütünleştirilmiş sistemin detaylı adımları, uygulama için kullanılacak veri setleri ve bir örnek uygulama detaylı olarak anlatılmıştır.

Tez çalışmasının dördüncü bölümü BULGULAR bölümüdür. Bu bölüm kapsamında, ikinci bölümde önerilen Bütünleştirilmiş İSK/MSK çerçevesi kullanılarak özellikle kurulan modelin farklı parametrelerle çalıştırılıp verdiği sonuçlar incelenmiş ve belirlenen performans değerlendirme kriterlerine göre farklı parametrelerle elde edilen sonuçların karşılaştırılmalı performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Seçilen parametreler ile 15 farklı partide Bütünleştirilmiş İSK/MSK sistemi uygulanmıştır. Uygulama sonucu edinilen sonuçlar incelenerek sistemin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Son bölüm olan TARTIŞMA ve SONUÇ bölümünde ise bulguların karşılaştırılmalı yorumları, çalışmanın literatüre olan katkısı ve özgünlüğü belirtilmiş, gelecekte bu konuyla ilgili yapılabilecek çalışma önerilerine yer verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL (İSK)

İstatistiksel süreç izleme olarak da bilinen İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK), Dr. Shewhart tarafından tanıtıldığından beri çok yaygın bir şekilde sürecin yapısına göre çeşitli kontrol diyagramları olarak kullanılmaktadır. İSK'nın temel amacı, süreçteki varyasyonu kontrol diyagramlarıyla izleyerek minimize etmektir. Eğer giderilmesi kolay bir varyasyon varsa, bunlar sürecin ortalaması veya varyansında bir değişiklikle kendini gösterir. Böyle bir durumda, süreç veya üretim mühendisi veya bazı durumlarda operatör üretimi durdurur, belirlenen giderilebilir nedeni ortadan kaldırır ve üretim döngüsünü yeniden başlatır. İstatistiksel süreç kontrolü, süreç iyileştirme, süreç parametresi tahmini ve süreç yeterliliği tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Artan küreselleşme ve üretim kapasitelerinin artması, rekabet gücünü de arttırmaktadır. Üretimde kalite, müşterilerin ürünlere ve sunulan hizmetlere ilişkin memnuniyeti ile ifade edilir. Üretim miktarlarının artmasıyla müşteri beklentisinin karşılanması daha da zorlaşmıştır. Bu nedenle süreç çıktılarının kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi için İSK teknikleri kullanılmaktadır. Kontrol diyagramları, süreci istatistiksel olarak izlemek, sürecin daha iyi bir ortalama değerini elde etmek ve süreçteki değişkenliği azaltmak için düzeltmelere duyulan ihtiyacı tespit ederken kullanılır. Kontrol diyagramlarında yatay eksen, değerlerin istatistiksel örnekleme zamanları dikey eksen ise kalite karakteristiklerinin gözlenmiş değerlerini içerir (Franco ve diğerleri, 2007).

İSK'nın 80 yılı aşkın başarılı uygulamalarının sonucunda kesikli üretim için kontrol diyagramları etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Sürekli üretim süreçlerinde ise İSK, genellikle süreç verilerinin otokorelasyonlu doğası nedeniyle sınırlı başarılarla sahip olmuştur. Shewhart kontrol diyagramları, CUSUM ve EWMA kontrol diyagramları, süreç izleme amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Modern İSK başlangıcının fizikçi ve istatistikçi Walter A. Shewhart'ın 1920'lerde kontrol diyagramı kavramını geliştirmesiyle gerçekleştiği söylenebilir. Başlangıçta, kontrol diyagramlarının uygulanması, telefon setleri ve bunların bileşenlerinin üretilmesi ile sınırlıdır. Fakat zamanla İSK teknikleri, özellikle metal işleme olmak üzere diğer kesikli parça

endüstrilerinde de popüler hale gelmiştir. Bir süre sonra, İSK teknikleri kimyasal üretim yapılan süreçlere uyarlanmıştır. İSK'nın arkasındaki ana fikir, bir veya daha fazla kalite karakteristiğinin istikrarını izlemektedir. Kalite karakteristiği imal edilen bir ürünün özelliği veya üretici ve tüketici için önemi olan parçanın fiziksel niteliği olarak tanımlanır. İzlemenin kelime anlamı geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan kontrol kelimesinin anlamıyla ile bir ölçüde çatışmaktadır. Süreç izleme genellikle daha aktif olan süreç kontrolden daha pasif bir çağrışıma sahiptir (Montgomery, 2012:12).

2. Dünya Savaşı döneminde Amerikan ordusu için kalite kontrol kavramı bir gereklilik olmuş bu nedenle ihtiyaçların belirli standartlarda sağlanması için örneklem planları geliştirilmiştir. 1946 yılında Amerikan Kalite Kontrol Derneğinin kurulmasıyla (ASQC) birlikte çalışmalar hız kazanmıştır. Uluslararası ses getiren bu durum, kalite kontrol alanındaki hızlı ve verimli ilerleme Japonya tarafından fark edilmiş ve Amerikan bilim insanı W.E. Deming Japonya'ya kötü durumdaki ülke sanayini iyileştirmesi için davetle çağrılmıştır (Montgomery, 2009:11).

Çoğu endüstri artık ürün kalitesinin sağlanması gerektiğini ve bu durumun göz ardı edilemeyeceğini fark etmiştir. Kalite düşüncesi günümüzdeki tanımına, ürünün “altın kaplama” olmasıyla eşdeğer olduğunu savunan gerçekdışı tarihsel bir düşünceyle mücadele ederek gelmiştir. Zamana dayalı bir kontrol düşüncesinin üretim sürecine uygulanması günümüz kalite anlayışının ve gerekliliğinin bir sonucudur. Süreç kontrol diyagramlarıyla gerektiği zaman düzeltici önlemlerin alınması, süreçte giderilmesi kolay varyasyon varlığında yapılacak eylemleri açıklamak için kullanılmaktadır. Üretim süreçlerinde kolay varyasyon sıklıkla aniden ortaya çıkmamakta ve ortaya çıkmadan kendini sürecin konum ve yayılma ölçülerinde hissettirmektedir (Baray, 2008:61).

Montgomery, İSK'yı “süreç istikrarı sağlayan ve değişkenliği azaltan yetenekleri geliştiren yararlı bir problem çözme araçları koleksiyonu” olarak tanımlamaktadır. Verilere uygulanabilecek çeşitli İSK teknikleri kontrol diyagramları ve süreç yetenek analizleri olmak üzere iki ana araç aracılığıyla kullanılmaktadır. Süreç iyileştirmek için sebep-sonuç diyagramları, akış diyagramları, pareto diyagramları ve kontrol listeleri gibi ek araçlar da kullanılmaktadır. İSK yöntemleri süreçteki olağandışı sapmaların belirlenmesinde yararlıdır; fakat, bu yöntemler mutlaka sürecin yapısının doğru ya da yanlış olduğunu tanımlamamaktadır. Bu teknikler aracılığı ile sürecin izlenmesi ve sürecin daha fazla araştırılması gereken

durumlarının belirlenmesi sağlanmaktadır. İSK'da birçok kalite aracı değişkenliğin bir göstergesi olan varyasyonun azaltılmasıyla süreç, kararlılığını ve istikrarını arttırmak için kullanılabilir. Bu araçlardan literatürde en göze çarpanı Süreç Kontrol Diyagramlarıdır.

Dodge ve Romig, yüzde yüz kontrole alternatif olabileceği düşüncesiyle kabul örnekleme kavramını 1930'lu yılların sonunda literatüre kazandırmışlardır. Ek olarak kontrol diyagramlarında hipotez testi mantığını tanımlayarak 1. tip hata ve 2. Tip hata kavramlarını ortaya sürmüşlerdir (Qui, 2014:4).

İSK tekniklerinin temel amacı, bir sürecin kararlı olup olmadığını ve ürünlerin kabul edilebilir olup olmadığını belirlemektir. Bu yaklaşımın temeli hipotez testine dayanmaktadır. Genellikle sıfır hipotezi istikrarlı bir süreç veya kabul edilebilir bir parti olarak tanımlanır. Mükemmel sonuçlar genellikle %100 muayene yapılarak elde edilebilir, ancak bu yaklaşım çok maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle çoğu uygulamada, rasgele alınan bir örneklemden bir sürecin veya partinin durumunu tahmin etmeye çalışılması tercih edilmektedir. Bununla birlikte, tahmin ve çıkarım yöntemlerinin kullanılması, yanlış bir sonuca varma olasılığını arttırmaktadır, çünkü örneklem süreci ya da partiyi gerçekten temsil etmeyebilir ve hipotez testi, gerçekte süreç kontrol altında veya parti kabul edilebilir olduğunda, sıfır hipotezine karşı kanıtlar olduğu sonucuna varabilir. Bu durum bize literatürde 1. Tip hata olarak adlandırılan hata türünü açıklamaktadır. Böyle bir hatanın olma olasılığı ise literatürde α olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan, aslında süreç kontrolden çıktığında ya da parti reddedilebildiğinde sıfır hipotezini reddedemeysek, o zaman literatürde 2. Tip hata olarak bilinen ve genellikle böyle bir hatanın olma olasılığı β ile gösterilen hata türü ile karşılaşılmaktadır. Şüphesiz bu tür hatalar yapılmak istenilmez fakat %100 muayenenin dezavantajları düşünüldüğünde bu tür hata olasılıklarına tolerans göstermek gerekmektedir. Hata oranlarının göz ardı edilebilmesi her farklı sürecin yapısına bağlı olarak; örneklem alabile maliyeti, yanlış alarmların araştırılmasının maliyeti ve sıfır hipotezinden sapmanın tespit edilememesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Baray, 2008).

Şüphesiz ki üretimden belirli yöntemlerle alınan örnek grupları gerçek durumu en iyi şekilde yansıttığı koşullarda kontrol diyagramları verimli sonuçlar verebilecektir. Alt örnekler belirli kurallara göre alınmazlarsa süreçlerden rasgele alınan örnekler gerçeği yansıtmayabilir.

Gerçekçi alt örnekler elde edebilmek için iki yaklaşım bulunmaktadır; birinci yaklaşım belirlenen bir süre sonunda üretimden sırayla belirlenen sayıda örnekler alınır ve bu durum her örnek alımı için tekrarlanır. Bu yaklaşım “anlık örnek alma” yöntemi olarak adlandırılır. Örnek alma şeklinden anlaşılacağı üzere alt örneklerin içindeki ürünler belli zaman periyodunda peş peşe alındığından kendi içlerinde en az yayılıma sahipken alt örnekler arasındaki yayılım fazladır. İkinci yaklaşımda ise belirlenen bir zaman aralığı içinde üretilen ürünler bir yerde ayrılır ve kontrol elemanı saat başı ayrılan ürünlerden rasgele belirlenen sayıda örnek alır. Bu yöntem “periyot yöntemi” olarak adlandırılır. Yayılma alt örnekler içinde en fazlayken, alt örnekler arasında en azdır (Baray, 2008:67).

Bir süreçte kalite kontrol işlemi, süreç çıktılarının standartlarla ya da belirli spesifikasyonlarla kıyaslama ve karar verme faaliyetidir. Kontrol sürecin her aşamasında, ihtiyaç duyulan her noktada yapılabilir. Örneğin herhangi bir hammaddenin firmaya kabulü için kontrol faaliyeti gerekebilir ya da bitmiş ürün müşteriye teslim edilirken müşteri ve firma tarafından belirlenen standartlar çerçevesinde ürün teslim edilmeden kalite kontrol işlemi yapılabilir. Ayrıca yarı mamullerde kalite kontrol faaliyetleri tüm sürece tesir edeceğinden ve gelecekte çıkabilecek sorunlardan kaynaklanan maliyetler en aza ineceğinden firmalar için önemli yer teşkil etmektedir.

Üretim koşulları düşünüldüğünde doğa gereği ürün özelliklerinde değişkenlik olacağı şüphesizdir. Bu nedenle aynı sürece sahip ürünler arasında bile farklılık oluşabilmektedir. Bu farklılık seviyesine göre müşterinin her üründe farklı kalite seviyesiyle karşılaşabileceği göz önünde bulundurularak, müşteride hayal kırıklığı yaratmamak ve başka firmalara yönelmesini engellemek için değişkenliği belirli bir seviyede tutmak gerekmektedir. Değişkenliği ürünün istenen işlemleri yapabileceği aralıkta tutmak mümkündür. İzin verilen bu teknik limitlere spesifikasyon limitleri denir. Kontrol diyagramları için hesaplanan kontrol limitleriyle, spesifikasyon limitleri birbirine karıştırılmamalıdır. Genellikle kontrol limitleri ortalamadan üç standart sapma uzaklığa izin verirken, spesifikasyon limitleri daha yüksek olabilmektedir fakat hesaplanan kontrol limitleri spesifikasyon limitlerini aşmamalıdır. Aksi takdirde süreç izin verilen sınırlar dahilinde olsa bile kontrol dışı olarak gözükebilecektir (Kruger ve Xie, 2012:11).

İSK'da, bir üretim sürecinin, karşılıklı olarak sürecin kontrol altında olduğu ve sürecin kontrol altında olmadığı durumlarından birinde çalıştığı düşünülür. Kontrol diyagramları olarak adlandırılan diyagramlar bu iki durum arasında ayırım yapmak için geliştirilmiştir. Diyagram, kontrol dışı durumun varlığını işaret etmediği sürece, sürecin istatistiksel kontrol altında olduğu düşünülmektedir (Akram ve diğ., 2012).

Ürün kalitesinin uzun vadede sağlanabilmesi düşüncesi maliyet avantajı yanında müşteri memnuniyetini de getirmektedir. Hurda maliyetleri veya kötü ürünü yeniden işlemeden kaynaklanan maliyetler azaldığında düşük değişkenlikten dolayı kar artmaktadır. Wetherill ve Brown (1991), çalışmalarında bu hususa dikkat çekmişlerdir. Süreç kontrol diyagramları aracılığıyla hurda ürün maliyetleri, hatadan dolayı yeniden işleme faaliyetleri gibi pek çok maliyet faktörü azaltılarak kalite seviyesinin geliştiğini göstermişlerdir.

Eş bir yaklaşımla, Franco ve arkadaşları (2007)' da kalite karakteristiklerinin düzenli istatistiksel takibiyle fire ve yeniden işleme maliyetlerinin düşebildiğini savunmuşlardır. Daha sadık müşteriler kazanma yoluyla uzun vadeli satışlar artacağından ve güvenilir, tutarlı bir tedarikçi olarak marka itibarı artacağından, kardaki artışın sadece maliyetteki düşüş kaynaklı olacağını düşünmenin hatalı bir bakış açısı olduğunu söylemişlerdir.

Hedeflenen nihai ürün kalitesini yakalayabilmek için sistem, üretim sürecinin her aşamasında düşük varyasyon ile ürün üretmeyi sağlayabilmelidir. Kalite standartları dışında ürünü keşfetmek için sürecin sonuna kadar beklemek yerine, gerçek zamanlı olarak süreç adımları izlenmelidir. Olağandışı değişkenlik fark edildiğinde bu değişkenliğin tekrar oluşmasını önlemek için kalıcı süreç ayarlamaları yapılması gerekmektedir. Fakat süreç izleme otomatik geri bildirim ile karıştırılmamalıdır. Hatayı ölçme konusunda aynı prensiplere sahip olmalarına rağmen süreç izlemedeki amaç herhangi bir süreç ayarlamayı seyrekleştirmek ve özel varyasyon durumlarında bu ayarın manuel yapılmasını sağlamaktır.

Otomatik geri besleme kontrolü ise, bilgisayar sistemleri tarafından sürekli olarak uygulanır ve değer istenen hedefte başka bir ifadeyle ayar noktasında kalması için sistemde kısa süreli, geçici değişiklikler yapar. Bu durum, geri besleme kontrolü, ileri besleme kontrolü ve diğer otomatik kontrol sistemlerinin tasarımı ve uygulanması konularının süreç kontrolüyle karıştırılmasına sebep olabilmektedir (Dunn, 2015:33).

2.1.1. Süreç Kontrol Diyagramları

Süreçlerdeki değişkenliği görüntülemek ve tespit etmek için kontrol diyagramları olarak adlandırılan izleme diyagramları kullanılmaktadır. Bir izleme diyagramı, bir değişkenin, zamana karşı göstergesidir. Bu diyagramlar hedef değer ve limit değerleri gibi verileri de sağlamaktadır. Bir süreç izleme diyagramınının tam olarak ne yaptığını ifade etmek için çeşitli teknik yollar vardır ancak genel bir tanım olarak; bir kontrol diyagramı hedef dışı değerlerin ve değişkenliğin tespit edilmesine yardımcı olmaktadır.

Belirlenebilir nedenler öngörülemeyen zamanlarda meydana gelir. Kontrol diyagramının amacı bunları mümkün olan en kısa sürede tespit etmektir. Bu tespitte eşlik etmesi gereken tanı ve ilişkiyi tanımlama eylemleri, süreçten sorumlu süreç mühendisine veya operatöre bırakılır ve modellenmez. Aksine, genel nedenlerden kaynaklı değişkenlik belli sınırlar içinde tahmin edilebilir. Bu belirlenebilir sebepler tespit edilip düzeltildiğinde bir süreç istatistiksel kontrol altındadır. Bu nedenle bu değişkenlik kaynakları gelecekteki süreçleri etkilemeyecek ve sadece genel nedenlerden kaynaklanan değişkenlik devam edecektir (Pan ve Del Castillo, 2003).

Süreç kontrol diyagramları amaçları farklı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama geçmiş veriler kullanılarak kontrol diyagramının oluşturulduğu ve kontrol diyagramının test edildiği Faz I olarak tanımlanmaktadır. Bu ilk aşama çevrim dışı yapılan, çok tekrarlı ve zaman alan bir süreçtir. Deneme kontrol diyagramı limitlerinin hesaplamasını ve bu limitlerin güvenli bulunması durumunda limitlerin gelecek üretimin izlemesinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu fazda ortaya çıkan kaymalar giderilebilen sebeplere dayalı büyük kaymalardır.

Tüm kontrol diyagramı türleri için gerçekleştirilecek adımlar aynıdır. Diyagramlar arasında farklılık yaratan durumlar hesaplama detaylarıdır. Bir kontrol diyagramı oluşturabilmek için gerekli akış adımları aşağıdaki sırayla özetlenebilir (Bissel, 1994: 112-113).

- [1] Süreçten elde edilen veriler düzenlenir, analiz edilir, kontrol diyagramında kullanılabilir hale getirilir ve n adet veriye sahip k tane alt grup oluşturulur ve nxk adet veri oluşturulur.

- [2] Kalite karakteristiğinin ölçülebilir ya da ölçülemeyen özellikte olup olmadığına karar verilir ve buna göre bazı istatistiksel hesaplamalar yapılır. Hesaplanan bu istatistiki değerlere ortalama, standart sapma ya da hata sayısı, hata oranı gibi örnekler verilebilir.
- [3] Alt örnek grupları hazırlandıktan sonra sürecin gerçek parametre değerleri bulunur veya parametrelerin tahmini değerleri elde edilir ve parametreler hazır olunca deneme kontrol limitleri hesaplanır.
- [4] Parametreler ve hesaplanan deneme kontrol limitleri diyagrama ölçekli bir şekilde yerleştirilir.
- [5] Veriler diyagram üzerinde işaretlenerek izlenir. Sürecin kontrol dışı ya da kontrol altında olup olmadığı incelenir.
- [6] Giderilmesi kolay varyasyon varsa nedeni araştırılır ve bu neden ortadan kaldırıncaya kadar yukarıdaki adımlar tekrar edilir.
- [7] Altıncı adımın sonunda limit değerleri güncellenir. Bu limitlerle süreç yeteneği hesaplanır.
- [8] Performansı iyileştirmek için süreç ayarının herhangi bir şekilde ayarlanmasının ve devam eden kontrol için bir hedef değer tanımlamasının gerekli olup olmadığı araştırılır.
- [9] Uygun hedef değere göre devam eden kontrol limitleri güncellenir ve gelecekteki verilerin değerlendirilmesi için diyagram yeni değerlere göre tekrar çizilir. Süreç çalıştırılır, çizilen her örnek veya alt grup için, kontrol durumu yeniden değerlendirilir ve uygun önlemler alınır.
- [10] Tahminler ve kontrol limitleri periyodik olarak güncellenir ve süreç yeteneği gözden geçirilir.

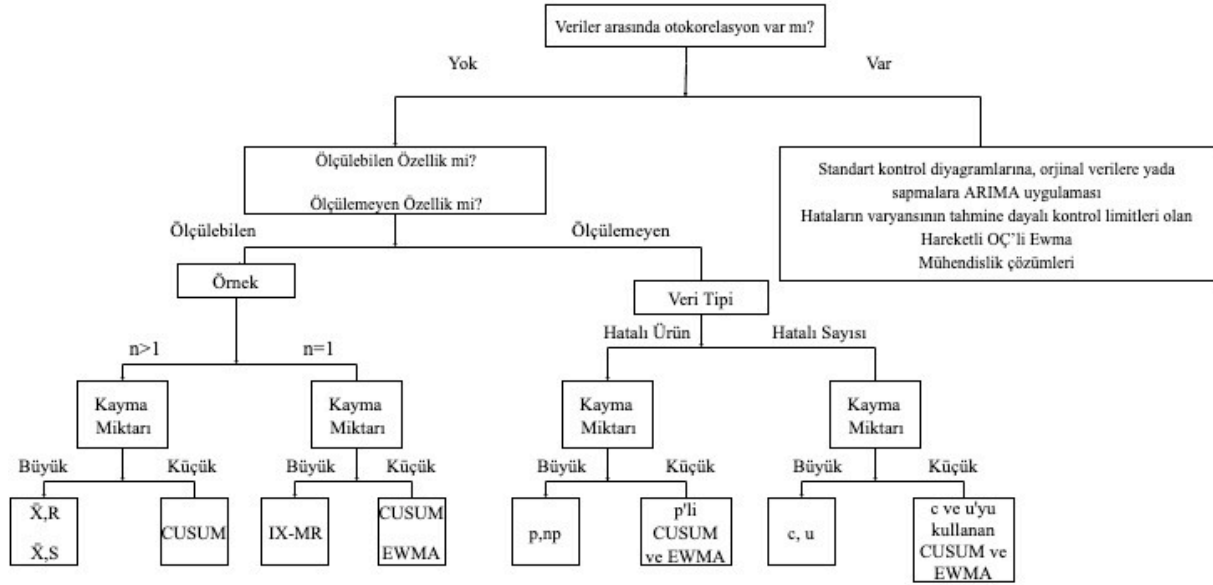
İkinci adımda ise istenilen kararlı durumun oluştuğu ve sürecin kontrol altına olduğu Faz II aşaması vardır. Faz II aşamasında süreçten gerçek zamanlı veriler alınarak sürecin performansı izlenmektedir. Süreç bu fazda daha kararlıdır, varyasyona neden olan önemli durumlar ortadan kaldırıldığından kaymalar daha küçük ve etkileri daha azdır (Baray, 2008:55).

İstatistiksel süreç izleme ile herhangi bir kalite karakteristiği izlenebilmektedir. Bununla birlikte, süreç izlemenin istenen önemli bir özelliği, kontrol dışı bir durum için değişkenler gerçek zamanlı olarak izlendiğinden erken tepki verilebilmektedir. Bu tepki sayesinde üretimin sonu beklenmeden, sürecin kontrol dışı olduğu durumlar görülebilmektedir. Süreç izlemede, sürecin kontrol altında olması terimi sürecin davranışının zamanla istikrarlı olduğu ve kontrol

limitleri dahilinde kaldığı anlamına gelmektedir. Aslında bu durum, ürünün müşterinin istediği özellikleri karşılması olarak algılanmamalıdır. “Kontrol” ifadesi, verilerde özel bir neden olmadığı, yani sürecin kararlı olduğu anlamına gelir. Özel bir neden veya belirlenebilir bir neden, sürecin dengesini bozmak için meydana gelen bir olaydır. Süreç izleme diyagramları, bu tür olayları tespit etmeyi amaçlamaktadır (Castillo, 2002).

2.1.2. Süreç Kontrol Diyagramı Çeşitleri

Süreç kontrol diyagramlarıyla bir kalite karakteristiği incelenemediği gibi daha fazla kalite karakteristiğinin varyasyonunu aynı anda izlemek mümkündür. Montgomery tarafından süreç kontrol diyagramlarının seçim kriterleri belirlenmiştir (Baray, 2008:81).



Şekil 2.1: Süreç kontrol diyagramlarının seçim kriterleri (Baray, 2008:82).

Literatürde W. Shewhart'ın geliştirdiği süreç kontrol diyagramının yanında daha sonra ortaya çıkan CUSUM ve EWMA gibi farklı kontrol diyagramları da bulunmaktadır. Bu nedenle hangi diyagramın ne zaman kullanılacağı önemli bir konudur. Alt örnek grupları, veriler arasındaki otokorelasyon, kalite karakteristiğinin ölçülüp ölçülmemesi, üretim sırasındaki kaymaların büyüklüğü hangi kontrol diyagramını kullanılacağını belirlemiştir.

Klasik Shewhart kontrol diyagramları İSK ilk aşamasında kontrol dışı durumların tespit edilmesinde ve süreçteki büyük değişimlerin belirlenmesinde kullanılır. Klasik kontrol diyagramlarına alternatif olarak geliştirilen EWMA ve CUSUM ise İSK'nın ikinci aşamasında süreçteki küçük değişimleri (1.5σ ve daha az) tespit etme ve süreç izleme amacıyla

kullanılmaktadır. Shewhart kontrol diyagramlarının en önemli dezavantajı, sürece ilişkin verilere ait değerlerin tümünü kullanmak yerine yalnızca alt örnek gruplarına ait tek bir noktanın kullanılmasıdır. Bu nedenle Shewhart kontrol diyagramları, süreçteki küçük kaymaları 1.5σ ve daha az olan değişimleri tespit etmede etkili değildirler (Brence ve Mastrangelo, 2006).

Cumulative Sum kontrol diyagramı (CUSUM), Shewhart kontrol diyagramlarının ortalamadaki küçük kaymalara cevap verememesi, diyagram üzerinde belirlenen son noktayı değerlendirmesi ve süreçteki kolay varyasyona odaklanması nedeniyle, bu diyagramlara alternatif olarak geliştirilen kontrol diyagramlarından birisidir. CUSUM diyagramlarında sürecin genel bir özelliği olan, süreç ortalamasının dinamik olmasından kaynaklı özel bir durumdan ziyade genel bir özelliğin incelendiği söylenebilir. Bu duruma göre Shewhart kontrol diyagramlarında olduğu gibi giderilmesi kolay varyasyon yerine, süreçteki zor varyasyona odaklanan CUSUM diyagramları kullanıldığı zaman, sürecin doğasından kaynaklı giderilmesi kolay varyasyon oluşması da beklenen bir durumdur. Bu nedenle ardışık hipotez testlerinden beslenen CUSUM diyagramları bilinmeyen kaymalarda ve kolay varyasyonda güvenilir olmadığından Shewhart'a benzetilmiş CUSUM diyagramları oluşturulmuştur. Bu nedenle CUSUM diyagramları ve süreç kontrolünde kullanılan CUSUM diyagramlarının ayrı olduğu göz ardı edilmemelidir (Baray, 2008:176).

CUSUM kontrol diyagramında, süreç ortalamasının hedef değerden sapmalarının birikimli toplamları (S_n) hesaplanarak, kontrol diyagramı üzerine işlenir. CUSUM değerlerini hesaplamak için aşağıdaki bağıntıdan yararlanılmaktadır.

$$S_n = \sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - \mu_0) \quad (2.1)$$

Burada; S_n : n. Örneğin CUSUM değerini, \bar{X}_i : i. Örneğin değerini, μ_0 : hedeflenen değeri göstermektedir. Hesaplanan birikimli toplam değerlerinde S_n , sürece ilişkin sadece son örneklemin değil, geçmiş örneklemlerin de bilgisini içermektedir. Başka bir ifadeyle, CUSUM'da tüm örneklemlerden elde edilen bilgilerin kombinasyonları kullanılmaktadır. Hem bireysel gözlem değerleri için ($n = 1$), hem de alt kontrol gruplarının oluşturulması durumlarında ($n > 1$), CUSUM kullanılabilir. CUSUM kontrol diyagramları hem nicel hem de nitel değişkenler için uygulanabilir. Bu durumda, kullanılan istatistikler; bireysel ölçüm

değerleri, örneklem ortalamaları, örneklem aralıkları, örneklem varyansları, örneklem kusurlu oranları, örneklem kusur/hata sayıları şeklinde olabilir.

V Maskesi Yöntemi, CUSUM kontrol diyagramı bilinmeyen kayma miktarı ve giderilmesi kolay varyasyonda yetersiz kaldığından 1959'da Barnard tarafından sürecin kontrolden çıkıp çıkmadığını belirlemek için geliştirilmiştir. V harfi şeklinde bir maskenin CUSUM diyagramı üzerine çizilmesiyle uygulanır.

Süreçte anlamlı bir değişme varsa diyagramın üzerine yerleştirilmiş olan ve maskesinin kollarından biri noktaları kapatacak ve giderilmesi kolay varyasyonun habercisi olacaktır. Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması işaretlenen noktaların maskesinin kolları arasında kalmasına bağlıdır. V maskesinin karar vericinin 1.ve 2. tip hatayı gözeterek tolere etmek istediği riske göre belirlediği d ve θ parametreleri vardır. Birinci tip hatanın olasılığı süreç kontrol altında iken kontrol dışı olduğu sonucuna varma riskine eşitken, ikinci tip hata olasılığı ise süreç aslında kontrol dışındayken kontrol altında olduğu sonucuna varma riskine eşittir. d ve θ (2.2) ve (2.5) numaralı bağıntılarına göre hesaplanır (Baray, 2008:180).

$$d = \frac{2}{\delta^2} \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right) \quad (2.2)$$

Eğer 2. Tip hata olasılığı küçük seçilirse bağıntı şu şekilde yazılabilir.

$$d = \frac{2}{\delta^2} \ln \alpha \quad (2.3)$$

δ hesaplamak için kullanılan bağıntı;

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_{\bar{X}}} \quad (2.4)$$

Δ , belirlenmek istenen süreç ortalamasındaki kayma miktarını ve $\sigma_{\bar{X}}$, X'lerin standart sapmasını göstermektedir. θ açısı (2.5) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$\theta = \arctg\left(\frac{\Delta}{2k}\right) \quad (2.5)$$

Karar Aralıkları Yöntemi, Cusum diyagramlarına uygulanan 3 farklı yöntemden bir tanesidir. Bazı paket programlar bu üç alternatif arasından seçimi kullanıcıya bırakırlar. Montogomery α ve β 'nin belirlenmesindeki bilinmezlikten dolayı V Maskesi yöntemine karşı çıkararak Shewhart

benzeri CUSUM yada karar aralıkları yönteminin kullanılmasını önermektedir. Bu yöntem firmalara ek bir maliyet yaratmadan birerli ölçümlerde ve alt örneklerin bulunduğu durumlarda başarıyla uygulanabilir. Bu yöntemde $S_H(i)$, i.dönem için bir yönlü üst CUSUM ve $S_L(i)$, i.dönem için bir yönlü alt CUSUM'ı göstermek üzere (2.6) ve (2.7) bağıntılarından yararlanılarak hesaplanmaktadır (Baray, 2008:182).

$$S_H(i) = \max[0, X_i - (\mu_0 + k) + S_H(i - 1)] \quad (2.6)$$

$$S_L(i) = \max[0, (\mu_0 - k) - X_i + S_L(i - 1)] \quad (2.7)$$

Hesaplama başlangıç değerleri $S_H(0) = 0$ bağıntılarıdaki k referans değeridir ve genelde μ_0 ile gösterilen bir hedef değerle, kontrol dışı kaldığına işaret eden μ_1 arasındaki farkın yarısı kadardır. Aradaki farkı göstermek için ise Δ kullanılmaktadır. δ , kaymanın kaç σ kadar olduğunu gösteren katsayıdır.

$$\mu_1 = \mu_0 + \Delta = \mu_0 + \delta\sigma \quad (2.8)$$

$$k = \Delta = |\mu_1 - \mu_0| = \delta\sigma \quad (2.9)$$

Denklem (2.8) ve (2.9) dikkate alındığında $\Delta = \delta\sigma$ eşitliğinden bahsedilebilir. Bu yöntemde, sıfırdan büyük değer alan $S_H(i)$ ve $S_L(i)$ 'lerin belirli H sabit değerini geçmesi durumunda sürecin kontrol dışına çıktığı sonucuna varılır. Burada H sabiti "karar aralığı"dır ve $H = h\sigma$ bağıntısından hesaplanabilmektedir. Genellikle, $h = 4$ veya $h = 5$ alınmaktadır (Baray, 2008:183-185).

Shewhart'a benzetilmiş CUSUM diyagramlarında OÇ, AKL ve ÜKL vardır. Diyagrama işaretlenen noktalar dönüşümden geçirilmek suretiyle standart hale getirilir. İSK diyagramlarını sürekli uygulayarak, kolay varyasyon sistemden kaldırılır ve kalite karakteristikleri sürekli geliştirilir. Süreç izleme İSK diyagramlarını kullanılarak yapılabilmektedir fakat süreç ayarlama MSK yöntemleriyle yapılır. Kalite kontrol uygulamasında MSK tekniklerinin kullanılmasını önerilmesinin sebebi geleneksel İSK programlarında seri olarak korelasyonlu verilerden ortaya çıkan problemlerin önüne geçmektir.

EWMA kontrol diyagramlarının kullanımı ilk olarak Roberts (1959) 'ın yaptığı çalışma ile ortaya çıkmıştır ve ilk olarak geometrik hareketli ortalama diyagramı olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra bu isim üstel düzeltmenin bu diyagramın temelini oluşturduğunu vurgulamak üzere

EWMA diyagramı olarak güncellendi. Shewhart kontrol diyagramları, istatistiksel kontrol limitlerin aşılmayı aşmadığını belirlemek için yalnızca en son veriyi göz önüne alırken, EWMA kontrol diyagramları, sonucu son noktalardan daha fazla etkilenen bir ağırlık faktörü kullanarak önceki tüm verileri göz önünde bulundurarak hesaplamaktadır bu nedenle daha küçük kaymalara hızlıca cevap verebilmektedir (Box ve Jenkins, 1970).

Üstel ağırlıklı hareketli ortalama,

$$z_i = \lambda x_i + (1-\lambda)z_{i-1} \quad (2.10)$$

Burada;

- z_i : i anındaki tahmin değeri
- x_i : i anındaki gerçek gözlem değeri
- z_{i-1} : i-1 anındaki üstel düzeltilmiş tahmin değeri
- λ : Sabit düzeltme katsayısı olarak gösterilmektedir.

$0 < \lambda \leq 1$ bir sabittir ve başlangıç değeri olarak gerekli olan bir önceki tahmin değeri ($i = 1$ 'deki ilk örnek için gerekli) süreç hedefidir fakat kimyasal süreçler ya da karışım süreçlerinde başlangıç değeri mevcut gerçek değer olarak da kullanılabilir. Böylece ilk durumda $z_0 = \mu_0$ ikinci durumda ise $z_0 = x_0$ olmaktadır (Hyndman ve diğ., 2008). Bazı durumlarda önceki verilerin ortalaması, EWMA'nın başlangıç değeri olarak kullanılır, böylece $z_0 = \bar{x}$ olur (Montgomery, 2012:433).

EWMA z_i 'nin tüm önceki örneklem ortalamalarının ağırlıklı bir ortalaması olduğunu görmek için Denklem (2.11)' den faydalanılır.

$$z_i = \lambda x_i + (1-\lambda) [\lambda x_{i-1} + (1-\lambda)z_{i-2}] = \lambda x_i + \lambda (1-\lambda) x_{i-1} + (1-\lambda)^2 z_{i-2} \quad (2.11)$$

z_{i-j} için $j=2,3,\dots,t$ değerlerini yerine koyduğumuzda;

$$z_i = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda)^j x_{i-j} + (1-\lambda)z_0 \quad (2.12)$$

denklemini elde edilir ve zamana bağlı ağırlıklar geometrik olarak azalır. EWMA tüm geçmiş ve şimdiki gözlemlerin ağırlıklı bir ortalaması olarak görülebildiğinden, normallik varsayımına karşı duyarsızdır. Bu nedenle bireysel gözlemlerle kullanmak için ideal bir kontrol diyagramıdır. Eğer gözlemler (x_i), σ^2 varyansına sahip bağımsız rassal veriler ise z_i değeri için varyans Denklem (2.13)'de görüldüğü gibi tanımlanmaktadır.

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2i}] \quad (2.13)$$

Bu nedenle, EWMA kontrol diyagramı, yatay eksenle i örnek numarası (ya da zaman) ile dikey eksenle z_i çizilerek oluşturulacaktır. EWMA kontrol diyagramı için merkez çizgi ve kontrol limitleri Tablo 2.1’de gösterilen formüller aracılığı ile hesaplanır.

Tablo 2.1: EWMA kontrol diyagramı için merkez çizgi ve kontrol limitleri.

MÇ	$= \mu_0$
AKL	$= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1-\lambda)^{2i}]}$
ÜKL	$= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1-\lambda)^{2i}]}$

EWMA kontrol diyagramları birçok kez çalıştırıldıktan sonra alt ve üst kontrol limitleri aşağıda verilen kararlı durum hallerini almaktadırlar.

Tablo 2.2: EWMA kontrol diyagramı için kararlı durum kontrol limitleri.

ÜKL	$= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)}$
AKL	$= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)}$

Fakat i 'nin küçük değerleri için Tablo 2.1’de verilen tam kontrol limitlerinin kullanılması süreç başladıktan hemen sonra gerçekleşebilecek bir kontrol dışı durumun tespitinde daha etkili olacaktır.

Chang ve Zhang (2007)’da yaptıkları çalışmada çok değişkenli dinamik doğrusal model kurarak verideki otokorelasyonu kaldırıp, elde ettikleri verinin varyans-kovaryans matrisinin diyagonal elemanlarının vektörüne EWMA kontrol diyagramı uygulamışlardır. Çok değişkenli sistemi varyans tepkilerini görmek için önerilen bu yaklaşım yaygın olarak kullanılan X-R kontrol diyagramlarıyla kıyaslanmıştır. Önerilen EWMA yaklaşımının çeşitli büyüklükteki varyans kaymaları için en iyi performansı verdiğini göstermişlerdir (Chang ve Zhang, 2007).

2.1.3. Süreç Kontrol Diyagramlarına Otokorelasyon Etkisi

Korelasyonun özel bir şekli olan otokorelasyon aynı değişkenin ardışık iki değeri arasındaki ilişkinin varlığıyla ilgilenmektedir. Korelasyon ise iki değişken arasındaki ilişkinin varlığını sorgulamaktadır. İzlenen bir parametre eğer o parametrenin önceki değerlerine bağlı ise otokorelasyon varlığından söz edilebilir. Aykırı değerlere duyarlı olan korelasyon doğrusal bağımlılığı ölçmekte kullanılır. Seri için düşünüldüğünde ise; ardışık sıralanan terimler arasındaki korelasyon, otokorelasyondur. Matematiksel model hatalı oluşturulması, izlenen gözlem değerlerin hatalı olması, yanlış belirlenen hata terimi, değişkenler arasında ki otokorelasyon yaratan nedenlerin arasındadır (Shao, 2014).

Otokorelasyon örneklerin sık aralıklarla alındığı veri setlerinde kendini açıkça belli eden seviyede olabilmekle birlikte, otokorelasyonun varlığı tamamen süreç yapısı ve sürecin doğasına bağlı olarak da oluşabilmektedir. Sürekli ve kitle tipi üretim; gıda, kimyasal süreçler gibi üretim ortamlarında otokorelasyonla sıklıkla karşılaşmaktadır. Bunun yanında kesikli süreçlerin verilerinde, sürekli üretimde olduğu gibi, otokorelasyon olabilmektedir bu nedenle otokorelasyon varlığı için kesikli ya da sürekli üretim ayrımı yapmak hatalı olabilecektir. Fakat sürekli üretim süreçlerinin doğası otokorelasyon oluşmasına daha elverişli ortama sahiptir. Gerçek hayat uygulamalarında verilerin bu otokorelasyonlu yapısı literatürde tanımlanan yöntemlerin uygulama esnasındaki etkinlinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle veriler arasındaki ilişkinin varlığı uygulamada istenmeyen bir durum oluşturmaktadır.

Bir kalite karakter isteğine ait ölçülebilen değerler sırasıyla ($D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$) ise bu n ardışık ölçümün ikili gösterimi $((D_1, D_2), (D_2, D_3), \dots, (D_{n-1}, D_n))$ şeklinde olacaktır. Böyle bir durumda birinci değerler ile ikinci değerler arasında bir ilişkinin olması halinde gecikmesi 1 olan otokorelasyonun varlığından söz edilir. Süreç kontrol diyagramları birer zaman serisi olduğundan gecikme arttıkça otokorelasyon kat sayısı azalacaktır dolayısıyla süreç kontrol diyagramında otokorelasyonun varlığı incelenecekse gecikmenin 1 olduğu durumlarla daha çok ilgilenilmelidir. Otokorelasyon katsayısı (2.14) numaralı bağıntıyla hesaplanabilir (Baray, 2008:73).

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (2.14)$$

Burada;

- k : gecikme sayısı (ilişki kurulacak dizi elemanları arasındaki uzaklık)
 Y_t : t zaman periyodundaki ölçüm değeri
 Y_{t-k} : gecikmenin k olması durumunda t. periyottan k periyot önceki ölçüm değerini
 Y : ölçüm değerlerinin oluşturduğu dizinin ortalamasını göstermektedir.
 r_k : regresyon katsayısı

Süreç kontrol diyagramları çizilirken veriler arasındaki ilişkinin olmadığı varsayımı yapılmaktadır. Otokorelasyonun var olduğu bir veri setinde bu varsayım yok sayılmış olacaktır. Otokorelasyon çok zayıf olsa dahi geleneksel süreç kontrol diyagramlarını etkilemektedir. Bu nedenle birbiriyle ilişkili veriler kullanılarak oluşturulan süreç kontrol diyagramlarının istatistiksel özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Otokorelasyon içeren veri setleri için hatalı sinyallerin sayısını azaltmak üzere kontrol limitleri kaldırılabilir veya diyagramlarda dinamik limitler kullanılabilir, pozitif otokorelasyon, çoğunlukla kontrol içi koşum uzunluğu değerini düşürmektedir (Wetherill ve Brown, 1991).

Özet olarak; otokorelasyon bir üretim sürecini iki şekilde etkileyebilir. Birincisi, incelenen veriler bir zaman serisi diyagramında gösterildiğinde bu diyagramda görsel olarak dikkat çeken bazı durumlar söz konusu olabilir. İkincisi ise yüksek bir otokorelasyon süreç kontrol diyagramlarının kontrol limitlerini daraltması durumudur (Baray, 2008:75).

Kontrol diyagramları kullanılırken temel varsayımlardan biri zaman içinde gözlemlenen kalite karakteristiği ardışık değerlerinin birbiriyle ilişkili olmaması durumudur. Modern üretim yöntemlerinde sensör teknolojileri kullanımıyla genellikle kalite karakteristiği ölçüm verilerinin zaman içinde seri olarak ilişkili olduğunun gözlemlenebilmesi geçmişe göre daha kolaydır ve bu durum kontrol diyagramlarının performansını büyük ölçüde etkilemektedir.

Literatürde bir sürece ait verilerin otokorelasyonunu ve zaman serisi verisinden nasıl tahmin edilebileceğini göstermek için biçimsel tanımlar ve istatistiksel teknikler sunulmuştur. İSK diyagramlarının performansı, otokorelasyondan olumsuz etkilenir ve bu olumsuzluğu telafi etmek için bir alternatif olarak mühendislik süreç kontrol yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. İSK ve MSK, birbiriyle çelişen teknikler değildir ve bu alandaki

araştırmacıların çoğu, bugün birçok endüstriyel süreçte bütünleşik İSK-MSK stratejisinin gerekli olduğu konusunda hemfikirdir (Castillo, 2002).

Literatürde otokorelasyon içeren süreçlerde kontrol diyagramlarının kullanılması ve etkinliğin kaybolması durumu üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Problemin çözümüne iki farklı yaklaşım vardır. Bir grup yazar bu duruma yeni diyagramlar geliştirerek çözüm ararken diğer grup ise geleneksel diyagramları modifiye etme yoluna gitmektedir. Fakat yeni geliştirilen diyagramlar kullanıcılar tarafından, mevcut yazılımlarla kullanımda güçlük yarattığı için kabul görmemektedir. Sonuç olarak, geleneksel kontrol diyagramlarının kullanımı için otokorelasyon göz ardı edilip, hatalı şekilde kullanımına endüstride devam edilmektedir (Huang ve Lin, 2002).

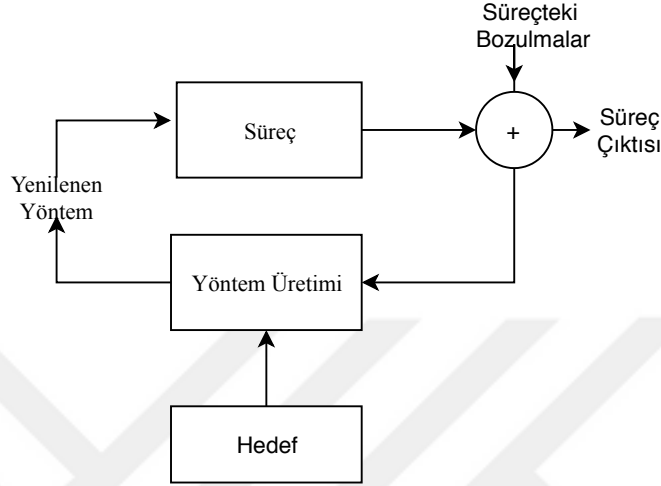
2.2. MÜHENDİSLİK SÜREÇ KONTROL (MSK)

Bir sürecin denetleyicisi sürece bağlı olarak bazen ayarlamayı açıklayan bir kural bazen bir algoritma bazı zamanlar ise farklı bir süreç olabilir. Fakat genellikle denetleyici kavramı belirlenen bir karakteristiğin bir gözlemden diğer bir gözleme kadar nasıl ayarlanması gerektiğini açıklayan bir kural olarak belirtilir. Makine, kimya ve elektronik mühendisliği uygulamalarında denetleyiciler gelişen teknolojiyle birlikte sensörler ve elektronik denetleyicilerden oluşmaktadır. Kalite kontrol uygulamalarında ise denetleme operatör tarafından manuel olarak yapılan bir faaliyettir.

Mühendislik süreç kontrolü (MSK), süreç çıktı değerlerini hedefin üstünde tutmayı amaçlayan sürekli süreç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Burada, MSK süreç çıktısını izlemek, hedefle karşılaştırmak ve çıktıyı hedeflenen değerde veya hedef değerden iyi tutmak için süreç girdisinde düzenli olarak düzeltici ayarlamalar yapmak için kullanılır. MSK uygulanması çıkış değişkeninin otokorelasyonlu yapısına dayandığından öncelikli olarak üretim endüstrilerinde kullanılmaktadır.

MSK, süreç kontrolü için geri besleme ile kontrolü kullanır. Hesaplanan hedeften sapmalar genellikle otokorelasyonlu verilerdir ve bu bilgiler bir sonraki hedeften sapsmayı tahmin etmek için kullanılır. Otokorelasyonlu veriler bir zaman serisi modeli ile temsil edilebilir. Bu model geçmiş verileri kullanarak belirlenir ve model parametreleri tahmin edilir. Geçmiş verileri kullanarak model tanımlanır ve ardından model parametreleri tahmin edilir. Bu model gelecekteki kaymaların tahminlerini hesaplamak için kullanılır ve ayarlamak için kullanılan

herhangi bir kontrol cihazı sapmayı ortadan kaldıracak şekilde sisteme dahil edilebilir. Etkili ve daimî bir süreç ayarlama faaliyeti, ayarlamamanın ekonomik yönünü de dikkate almalıdır. Şekil 2.2’de Aström ve Wittenmark (1971)’ in geliştirdikleri geri besleme kontrol diyagramı ile basit bir mühendislik süreç kontrolü süreci gösterilmektedir (Huang ve Lin, 2002).



Şekil 2.2: Geri bildirim kontrolü ile bir süreç (Huang ve Lin, 2002).

MSK, süreç kontrolü için geri besleme denetleyicisini kullanır. Hesaplanan hedeften sapmalar genellikle otokorelasyonlu verilerdir ve bu bilgiler bir sonraki hedeften sapmayı tahmin etmek için kullanılır. Otokorelasyonlu veriler bir zaman serisi modeli ile temsil edilebilir. Bu model geçmiş verileri kullanarak belirlenir ve model parametreleri tahmin edilir. MSK'da kontrol, amaca ulaşmak için sürecin ne zaman ve ne kadar ayarlanması gerektiğini belirten uygun bir geri bildirim kontrolü ile gerçekleştirilir. Hedeflenen kalite kontrol süreç ayarlamasının sistematik bir şekilde yapılmasıyla sağlanır. Geri besleme ile süreç ayarlama ilk adım, süreç çıktısının ve girdilerin nasıl ilişkili olduğunu belirleyen öngörülü bir model oluşturmaktır. Bu modelin sürece uygun tasarlanması verimli süreç ayarlamalarının yapılmasını sağlayacaktır (Castillo, 2002).

Sürekli üretim süreçlerinin kontrolünde mühendislik süreç kontrolü kullanılabilir. Mühendislik süreç kontrolünün amacı, anlık bir yanıt sağlamak, süreç dengesindeki değişiklikleri engellemek ve çıktıyı istenen hedefe yaklaştırmak için düzeltici eylem uygulamak olduğundan, bu yaklaşım herhangi bir kontrol işlemi yapılmazsa ortaya çıkacak olan hedeften sapmayı tahmin etmek ve bu sapmayı ortadan kaldırmak üzerine kurulmuştur. MSK ile kontrol, amaca ulaşmak için sürecin ne zaman ve ne kadar ayarlanması gerektiğini belirten uygun bir geri bildirim veya ileri besleme kontrolü ile gerçekleştirilir.

Sürecin kalite hedefi geri besleme ayarının sistematik olarak yapılması ile gerçekleştirilir. Geri besleme ayarlarında ilk adım, süreç çıktısının ve girdilerin nasıl ilişkili olduğunu belirleyen süreç için öngörülü bir model oluşturmaktır. Deney tasarımı ve regresyon analizi, bağımlı değişken ile kontrol değişkeni arasındaki ilişkiyi kurmak için kullanılabilir. Süreç çıktısının dinamik davranışının sadece süreçteki kaymaya bağlı olduğu durumlarda da MSK ile ayarlama yapılabilmektedir. Mühendislik süreç kontrolünün temelinde bir kontrol değişkeni olduğu varsayılır. Kesikli üretim süreçlerinde kontrol genellikle bir makine ayarıyla yapılır ve bu denetleyici mekanizma makine ayar noktalı denetim olarak adlandırılır.

Bir sürecin kararlı durumunda süreç girdilerinde yapılan değişikliklerinin süreç çıktısına olan etkisine “süreç kazancı” denilmektedir. Ayarlama faaliyetinden önce, süreç çevrim dışı olarak analiz edilmeli var olan süreç denklemleri, deney tasarımı ya da regresyon denklemleri aracılığıyla bu kazanç değeri hesaplanmalıdır. Çünkü uygulanacak mühendislik kontrol yöntemi ne olursa olsun bu süreç kazancı değerine ihtiyaç duyulacaktır.

2.2.1. Dinamik Süreç Kontrolü

Dinamik süreç kontrolü, süreç performansının sürekli izlenerek ve kontrol parametrelerinin ayarlanmasıyla süreç çıktısını en iyilemek olarak tanımlanmaktadır. Değişkenlik yaratan adımlar içermesi dinamik sistem modeli için geçerli olan en önemli karakteristik özelliğidir. Kendi kendini düzenleyen bir döngüye sahiptir. Bu döngü, girdi öğelerinin yapısını değiştirebilir. Kontrol dışı kalan bir süreci ayarlamak için, yapılabilecek potansiyel ayarların kalite karakteristiklerini nasıl etkileyeceğini görmek gerekmektedir (Tommy ve diğ., 2016).

Tüketicilerin ürün hakkındaki olumlu ya da olumsuz düşüncesini oluşturan ürüne ait özelliklere “kalite karakteristiği” adı verilmektedir. Amerikan Kalite Derneği tanımlamasına göre kalite karakteristiği; “ürün, süreç ya da sistemin herhangi bir gereksinimle ilgili iç özelliği ya da ayırıcı özelliğidir”. Bu özellikler genel olarak spesifikasyonlara göre değerlendirilir, ilgilenilen kalite karakteristiğinin ürün için olması gereken hedeflenen değeri “Spesifikasyonlar” olarak ifade etmektedir. Spesifikasyonlar genellikle tüketici beklentilerine yönelik yapılan mühendislik tasarımı sonucunda ortaya çıkan tasarım değerleridir (Baray, 2008:55).

Geçmişte hedeflenen kaliteye ulaşmanın yolu üretim süreci sonunda müşteriye ürünleri teslim etmeden önce üretimi yapılmış partiden alınan örneklemeleri kontrol etmek ve belirlenen hata ve hatalı ürünleri müşteriye ulaştırmadan yakalamak, ayıklamak olarak algılanıyordu. Bu

yaklaşım hastaya iyileşmesi için tedavi uygulanmasına benzemektedir çünkü tıpkı hastalığı önleyici önlemler alınarak hastalığa neden olan koşulların ortadan kaldırılmaması, üretimde hatanın temeline inip hatayı ortadan kaldırmamaya benzemektedir (Baray, 2008:60).

Bir sürecin veya sistemin dinamik davranışının modellenmesi, kontrol dışı çalışan bir sürecin davranışını görebilmek için önemlidir. Süreç kontrol diyagramlarının birer zaman serisi olduğu bilinmektedir. Dinamik sistemlerde zaman serisi problemlerinin analiz edilebilmesi için bu alanda bazı temel kavramların bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dinamik sistemler için kullanılan ARIMA ve transfer fonksiyon modelleri prensip olarak fark denklemlerine dayanır. Doğrusal fark denklemi modelleri, çeşitli gerçek yaşamsal endüstriyel sürecin dinamik davranışını tahmin etmek için genel bir araç olarak sunulur. Bu nedenle fark denklemleri temelli dinamik modellerle, klasik statik modellerin ayrımının yapılabilmesi gerekmektedir. Sadece sürece giren veya süreç tarafından üretilen değişkenler modelleme için kullanıldığından tüm üretim süreçlerinde ilgili alanlara ait kalite karakteristiklerinin tanımlanması kara kutu olarak kabul edilmektedir (Yao ve Zheng, 2002).

Teknoloji ilerledikçe, yeni üretim süreçlerinin teknolojiye adaptasyonu gerekmektedir. Geleneksel prensiplere dayalı bir süreci modellemek genellikle zaman alıcı ve pahalıdır. Bunun yerine, modelleme için ampirik, veriye dayalı veya istatistiksel bir yaklaşım gereklidir. Günümüzde sensör teknolojilerinin ve büyük veri tabanlarının geniş alanlarda kullanılabilmesi bu yaklaşımı kolaylaştırmaktadır. Dinamik süreçlerin anlaşılabilmesi için zaman serisi analiz problemleri, transfer fonksiyonu problemleri ve süreç ayarlama problemlerinin bilinmesi gerekmektedir.

2.2.2. Stokastik Modeller

Süreçteki stokastik kaymaların doğru şekilde modellenmesi, süreç ayarlaması için önemli bir ihtiyaçtır. Süreç kaymalarının davranışını ve kalite özelliklerine etkilerini anlamak gerekmektedir. Sürecin dinamik davranışına, mühendislik kontrol bakış açısıyla literatürde en büyük katkılar Box ve Jenkins tarafından yapılmıştır. Yaptıkları çalışmalarda stokastik zaman serilerinden faydalanmışlardır. Zaman serilerinden faydalanarak süreci hedef etrafında tutma düşüncesini ortaya sürmüşlerdir. Çoğunlukla süreçteki kaymaların sebebini sisteme giren bağımsız rastgele etkiler olarak göstermişlerdir ve bu bağımsız etkilerin sürece etkisini analiz etmişlerdir (Box ve Jenkins, 1970).

2.2.2.1. Stokastik Model Tasarımı ve Box-Jenkins yöntemi

Zaman serileri düşünüldüğünde serilerin durağanlığı çok önemlidir eğer bir zaman serisi durağan değilse farklı veri setlerinde farklı trendler sergileyebilmektedir. Bu nedenle veri setinin davranışı gelecek dönemler için genellenemez ve gelecek için tahmin yöntemi modelleri kullanarak öngörüleme yapıldığında etkin sonuç vermeyerek faydalı olamazlar. Dolayısıyla çalışılan veri setinin durağanlığı önemli bir husustur. Pratik uygulamalarda bir zaman serisinin durağanlığını belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Zaman serisinin durağanlık varsayımı AR(p), MA(q) ve ARMA(p, q) için geçerlidir.

Box ve arkadaşları (1994), zaman serisi verilerini modellemek için üç aşamalı ve tekrarlamalı bir yöntem önermişlerdir. Bu üç aşama; modeli tanımlama, modelin tahmini ve model geçerliliğinin teşhisidir. Box-Jenkins yöntemi çeşitli zaman serilerini tanımlayan; p, d, q değerlerini belirlemeyi ve daha sonra bu serileri öngörüleme amacıyla tahmin etmeyi kolaylaştırıcı bir yöntem sunmaktadır.

Model tanımlama aşamasında amaç p, d ve q parametrelerini tahmin etmektir. Otokorelasyon fonksiyonu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu grafiklerini kullanan bir tahmin yöntemi model parametrelerini bulmak için en uygun yöntem olarak önerilmiştir.

İlk adıma, zaman serilerinin durağanlığının kontrol edilmesiyle başlanır. Zaman serileri durağan değilse, uygun dereceye göre fark denklemleri kullanılarak durağan zaman serisine dönüştürülür. Durağanlık zaman serisinin zamana bağlı grafiğine bakılarak anlaşılabilir gibi istatistiksel yöntemler de kullanılabilir. Eğer serideki otokorelasyon önemsenmeyecek hale gelmezse, serinin temelinde var olan stokastik sürecin durağan olmadığı sonucuna varılır. Eğer zaman serilerinin durağan olmadığı tespit edilirse durağan hale getirilir (Makridakis ve Hibon, 1997).

2.2.2.2. ARIMA (0 1 1): Bütünleşik Hareketli Ortalama

Bütünleşik hareketli ortalama IMA (0 1 1) özel bir ARIMA (p, d, q) modeli sınıfıdır. Pratikte karşılaşılabilecek örneğin kimyasal süreç karakteristiklerinden sıcaklık, viskozite, konsantrasyon gibi birçok veriyi tanımlama yeteneğine sahiptir ve süreçteki bozulmaların modellenmesi için de en uygun yöntemdir. AR parametresi 0 ve I ve MA parametrelerinin her biri 1 olduğunda ARIMA (0 1 1) şeklinde gösterilen ARIMA modeline dönüşmektedir.

$$\nabla z_t = at - \theta a_t - 1 \quad (2.15)$$

Bütünleşik hareketli ortalama modeli θ ve σ^2 olmak üzere iki parametre ile tanımlanır. IMA'nın (0 1 1) aşağıdaki şekillerde gösterilmesi uygun olabilir.

$$\begin{aligned} \nabla z_t &= (1 - \theta B)at \\ z_t &= z_{t-1} + at - \theta at - 1 \end{aligned} \quad (2.16)$$

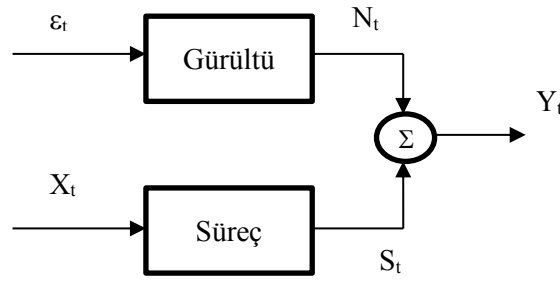
Elde edilen model, süreçteki bozulmaları tahmin etmek ve dinamik sürecin transfer fonksiyonunu oluşturabilmek için kullanılabilir. Literatürde bir çok çalışma EWMA tahmin yönteminin IMA için minimum ortalama kare hata tahmini sağladığını kanıtlamıştır (Park, 2007). EWMA ve ARIMA (0,1,1) eşdeğerdir bu nedenle EWMA ve IMA aynı sonucu verecektir. Mühendislik süreç kontrol uygulamalarında ARMA ve IMA kullanılarak oluşturulan ayar diyagramları şu sonuçları vermektedir.

- IMA modeli kullanarak yapılan analizler daha kolaydır.
- Her iki modelinde de neredeyse tamamen aynı ortalama ayarlama aralığı (AAI) ve ortalama hataların karesi (MSD) değerleri elde edilir.
- Geniş aralığa sahip verilerle çalışıldığında, ARMA ile hesaplanan bozulma IMA ile hesaplanan bozulmaların sağladığı sonuçlara göre AAI ve MSD'yi abartmaktadır.
- IMA modeli, ARMA'ya kıyasla modelin yanlış tanımlanmasına karşı daha güçlüdür (Luceno, 1993).

2.2.2.3. Transfer Fonksiyon Analizi Problemleri

Sistemlerin matematiksel ifadelerinin belirlenmesi kontrol sistem teorisinin bel kemiğidir. Doğrusal sistemlerde en çok kullanılan transfer fonksiyonu modelleme yöntemidir. Başlangıç şartlarını sıfır olduğunu düşünülerek bir sistemin girdi fonksiyonu ile çıktı fonksiyonu arasındaki Laplas dönüşüm oranına transfer fonksiyonu denir.

Dinamik karakteristikler transfer fonksiyonları aracılığı ile tanımlanmakta ve bu tanımlamanın sistem özelliği olduğu söylenmektedir. Bu nedenle sistemin fiziksel koşullarına ait bilgi içermez ve farklı oluşturulma yapısına sahip sistemlerin transfer fonksiyonları aynı olabilir. Bir transfer fonksiyonu probleminde asıl amaç hedef değeri kontrol etmek değil, daha çok, modelin gelecekte kullanılması istenildiğinden tepki değerlerini tahmin etmek için girdi-çıkı ilişkisini kurmaktır. İstatistiksel süreç ayarlama politikaları geliştirmek için bu ilişkiler zaman serisi modelleri ile birlikte kullanılır (Castillo, 2002).



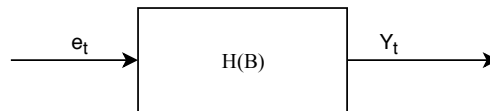
Şekil 2.3: Gürültülü transfer fonksiyonu (Castillo, 2002:45).

2.2.3. Süreç Bozulmalarında Zaman Serileri Modellemesi

En basit zaman serisi, normalde bağımsız bir şekilde ortalama sıfır ve standart sapma σ_a ile dağılan a_t, a_{t-1}, \dots, a_1 gibi bir değerler dizisidir. Bazı seriler beyaz gürültü olarak isimlendirirler. Süreçteki bozulma $z_t = y_t - T$ olarak tanımlandığında, burada y_t hedefte tutulması gereken bir kalite karakteristiğidir. Zaman serisi modeli bozulma değerinin z_t , beyaz gürültünün a_t olduğu veri dizisini ilişkilendiren bir denklemdir. Beyaz gürültülü süreçlerin özelliği sıfır ortalamalı, σ^2 sabit varyanslı ve bağımsız olmalarıdır (Han ve diğ., 2019).

Zaman serisi modelleri genel olarak, durağan zaman serisi modelleri ve durağan olmayan zaman serisi modelleri olarak iki sınıfa ayrılır. Durağan olmayan zaman serileri sabit bir ortalama etrafında kalmazken durağan zaman serileri sabit bir ortalama etrafında salınan zaman serileridir. Başka bir ifadeyle, durağan olmayan serilerin varyans, ortalama ya da bunların her ikisi birden zamana bağlı olarak değişmektedir.

Kesikli zaman serileri ve sürekli zaman serileri, sürekli ve kesikli olarak kaydedilebilme özelliklerine göre ikiye ayrılmaktadırlar. Süreç kontrolü için örnekleme gerekirse bir kalite karakteristiğinin ölçüm değerleri süreçteki değişkenliği görmek amacıyla kaydedildiğinde bir zaman serisi oluşturmaktadırlar. Hedef değer etrafındaki değişkenlik zamana bağlı çizilen bir diyagram aracılığı ile görülebilecektir. Hedef etrafında olan bu değişkenlik belirlenerek çeşitli düzeltici faaliyetler ile düzeltmeler yapılabilir. Zaman serileri modelleri ayarlamak istediğimiz bir süreçteki bozulmaları temsil etmek için faydalıdır (Kusano ve diğ., 2019).



Şekil 2.4: Zaman serileri analizi problemi (Castillo, 2002:44).

2.2.3.1. Durağan Zaman Serisi Modelleri

Durağan bir zaman serisi, varyans, ortalama ve otokorelasyon gibi istatistiksel özelliklerin zaman içinde sabit kaldığı bir zaman serisidir. Durağan zaman serisi modelleri, sürecin dengede olduğunu ve sabit bir ortalama etrafında salındığını varsayar. Otoregresif modeller, hareketli ortalama modelleri ve otoregresif hareketli ortalama modelleri durağan zaman serisi modellerine örnek olarak gösterilebilir. Otoregresif AR (p) modellerinde sürecin mevcut değeri, sürecin önceki değerlerinin p fonksiyonu olarak ifade edilir. AR (p) modeli olarak gösterilir.

$$\varphi(B)z_t = a_t \quad (2.17)$$

Burada,

$$\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p$$

$$B^m z_t = z_{t-m}$$

Hareketli ortalama MA (q) modelleri, önceki MA (q) modelinin sonlu sayıdaki (q) doğrusal bir fonksiyonudur ve model Denklem (2.18)'de görülmektedir;

$$z_t = \varphi(B) a_t$$

$$\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p \quad (2.18)$$

Otoregresif hareketli ortalama ARMA (p, q) modelleri, modelde hem AR hem de MA terimlerini içeren modeller olarak tanımlanan ve $\varphi(B)z_t = \theta(B)a_t$ olarak temsil edilen modellerdir.

2.2.3.2. Durağan Olmayan Zaman Serisi Modelleri

Gerçek hayatta karşılaşılan birçok seri durağanlık göstermez, yani sabit bir ortalama etrafında salınmaz ve yayılmaya sahiptirler. En yaygın görülen süreç bozulmaları, durağan olmayan zaman serileri ailesindedir. Zaman serisi, herhangi bir nedenle ortalamadan saptığı an, bir kontrol faaliyeti gerçekleştirilmedikçe eski haline geri gelmez ve hedeften uzaklaşır. Literatürde Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri durağan olmayan zaman serisi modeli olarak tanımlanmaktadır ve gerçek hayat uygulamalarında durağan olmayan zaman serilerini temsil etmede çok başarılıdırlar.

ARIMA; AR, MA ve bir bütünleşmiş operatör olmak üzere üç kısımdan oluşmakta ve şu şekilde gösterilmektedir;

$$\varphi(B)\nabla^d z_t = \theta(B)a_t$$

$$\nabla = 1 - B$$

$$\varphi(B)z_t = \theta(B)a_t$$

$$\varphi(B) = \theta(B)\nabla^d \quad (2.19)$$

ARIMA (p, d, q) yüksek derecede bağımlı ve muhtemelen durağan olmayan bir süreci (z_t) bir dizi beyaz gürültüye (a_t) dönüştürme ilişkisi olarak tanımlanabilir.

2.2.4. Dinamik ve Statik Modellerin Karşılaştırılması

Uygulamalı istatistiğin bazı alanlarında (örneğin, regresyon, deneylerin tasarımı), bir sistemin girdi ve çıktısı arasındaki ilişki;

$$Y = f(x) + \varepsilon \quad (2.20)$$

Şeklinde gösterilir. Burada ε rastgele bir hatadır ve f vektörünün x fonksiyonudur. Örneğin, eğer f doğrusal bir fonksiyon ise ve sadece bir bağımsız değişken varsa, bu formatın birinci dereceden bir polinom modeliyle ifade edilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.21)$$

β_0 ve β_1 parametrelerdir. Bu model bağımlı değişkenin zaman içinde veya zamandan bağımsız olarak aynı noktada ortaya çıkan bağımsız değişkenlerin ve rastgele değişkenlerin bir fonksiyonu olan statik bir modeldir. Zaman serileri modelleri genellikle değişkenler arasında eş düzeyde olmayan ilişkileri içeren dinamik modellerdir.

$$Y_t = \beta x_{t-2} + \varepsilon_t \quad (2.22)$$

Bu model, x 'in etkisinin, yalnızca, sistem giriş-çıkış gecikmesi veya ölü zaman olarak adlandırılan iki zaman periyodu süresinden sonra Y üzerinde hissedildiği anlamına gelir. Dinamik modellerde kontrol edilebilir faktörün çıktı üzerindeki etkisi birkaç periyotta hissedilebilir (Seborg ve diğ., 2017).

$$Y_t = \beta_1 x_t + \beta_2 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.23)$$

x_t 'nin birim artışında, Y_t 'nin beklenen değerinin β_1 in birim değerine bağlı olarak artması beklenir, ancak $\beta_1 + \beta_2$ nin tamamen değişmesi bir zaman döneminden sonra hissedilecektir.

2.2.5. Optimum Geri Besleme Kontrolü Yöntemleri

MSK'nın amacı, kalite karakteristiğindeki varyansı hedef çevresinde en aza indirmektir. Bozulmaları gidermek için ayarlanabilen bir kontrol değişkeninin mevcut olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, kontrol değişkenindeki değişimin etkisinin gelecek dönemde kalite karakteristiği üzerinde tam olarak gözlemlendiği varsayılmaktadır. Pratikte kesikli üretim süreçlerinde bu tür yanıtlayıcı sistemler kullanılmaktadır. Her periyodun sonunda hedeften beklenen sapma tahmin edilir ve her değişimin sonunda kontrol değişkenindeki ayar miktarı belirlenir. Ayar sapmaya orantılı olarak yapılmalıdır. Genel bir ayar denklemi şu şekilde gösterilebilir.

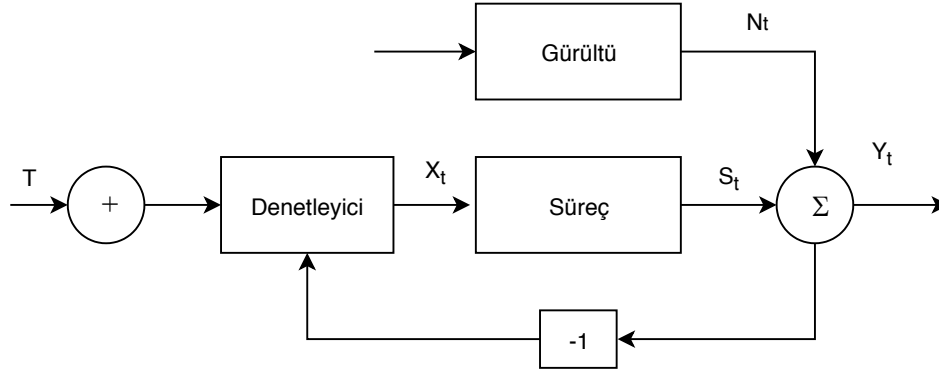
$$\beta x_t = \hat{z}_{t+1} \quad (2.24)$$

β parametresine süreç kazancı denir, girdideki değişimin çıktı üzerindeki etkisinin temsil ettiğinden regresyon katsayısına benzerdir. Süreç kazancı değeri sürecin yapısına göre belirlenecek regresyon denklemleri, deney tasarımı ve tepki yüzeyleri metodolojisi ile hesaplanabilir (Box ve MacGregor, 1976).

2.2.6. Süreç ayarlama problemleri

Süreç ayarlama problemlerinde sistem, gürültü transfer fonksiyonundan oluşur. Ayarlama probleminin transfer fonksiyonu problemlerinden temel farkı artık sürecin (X_t) girdisini ayarlamak mümkündür ve asıl önemli olan çıktının istenen hedef değere ulaşması için nasıl değiştirileceğini belirleyen bir kontrol kuralı veya denetleyici bulmaktır. Süreç ayarlama problemi için girdi ayarlanarak elde edilen çıktı kalite karakteristiği olacaktır. Amaç, kalite karakteristiğini iyi tanımlanmış bir hedefe veya ayar noktasına (T) yakın tutmaktır.

Kontrolör, hedef $T - Y_t$ 'den sapmaları girdi olarak alır ve bir sonraki süreçte çıktı olarak kullanmak için kontrol edilebilir faktörün seviyesini belirlenir. Kalite karakteristiği değerinin kontrolör tarafından periyottan periyoda geri beslendiğini iyi takip etmek gerekmektedir. Bir geri bildirim süreci ayarlama sistemini istatistiksel olarak analiz etmek için, zaman serisi problemleriyle başlayıp, transfer fonksiyonu modellerini incelemek gerekecektir (Pan ve Del Castillo, 2003).



Şekil 2.5: Süreç ayar problemi: geri besleme kontrolü (Castillo, 2002:46).

2.2.7. Geri Besleme ile Süreç Kontrolü: Bütünleşik Kontrol

Bu bölümde, geribildirim ayarının uygun ve yüksek derecede etkili olduğu bir süreci içeren basit bir durum bütünleşik kontrol ile ele alınacaktır. Zaman periyodu t 'deki süreç çıktı karakteristiği y_t 'dir ve y_t 'yi bir hedef T 'ye olabildiğince yakın tutmak isteriz. Bu işlem, x 'in bir değiştirilebilir değişkenine sahiptir ve x 'de bir değişiklik, y üzerindeki tüm etkisini bir süre içinde gösterecektir.

$$y_{t+1} - T = gx_t \quad (2.25)$$

Burada g , genellikle süreç kazancı olarak adlandırılan bir sabittir. Kazanç, bir regresyon katsayısı gibidir, çünkü x_t 'de ki bir değişimin büyüklüğünü y_t 'de ki bir değişimle ilişkilendirir. Herhangi bir ayarlama yapılmazsa, süreç hedeften uzaklaşır.

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} \quad (2.26)$$

N_{t+1} süreçteki bir bozulmadır. Denklemdaki bozulma genellikle, ARIMA modeli olan uygun bir zaman serisi modeli ile temsil edilir. Bu tür bir model gereklidir, çünkü kontrol dışı olan çıktı değeri genellikle otokorelasyona sahiptir. Bozulmanın EWMA kullanarak tahmin edilebileceğini varsayalım:

$$\hat{N}_{t+1} = \hat{N}_t + \lambda(N_t - \hat{N}_t) = \hat{N}_t + \lambda e_t \quad (2.27)$$

Burada $e_t = N_t - \hat{N}_t$, t zaman periyodunda ve $0 < \lambda \leq 1$ EWMA için ağırlık faktörüdür. Bu varsayım, kontrol dışı sürecin bütünleşik hareketli ortalama modeline göre $\theta = 1 - \lambda$ parametresi ile sürüklendiğini başka bir ifadeyle süreçte varyasyonun olduğunu varsaymakla eşdeğerdir. t zamanında, ayarlanan süreç Denklem (2.28)' de gösterildiği şekildedir.

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} + gx_t \quad (2.28)$$

Bu denklem $t + 1$ zamanında, hedeften sapmanın $t + 1$ periyodundaki bozulmaya ve t periyodunda ayarlanabilir değişkeni ayarladığımız x_t seviyesine veya t periyodunda ayar değerine bağlı olacağını söylemektedir. Açıkçası, bozulmayı tamamen ortadan kaldırmak için x_t ayarlanmalıdır. Ancak bu t döneminde N_{t+1} bilinmediğinden yapılamayacaktır. N_{t+1} denklem (2.27)'deki \hat{N}_{t+1} kullanılarak tahmin edebilir ve aşağıdaki denklem elde edilir;

$$y_{t+1}-T = e_{t+1} + \hat{N}_{t+1} + gx_t \text{ ve } e_{t+1} = N_{t+1}-\hat{N}_{t+1} \quad (2.29)$$

Denklem (2.16) 'ye göre eğer $gx_t = -\hat{N}_{t+1}$ veya ayar noktası $x_t = -(1/g) \hat{N}_{t+1}$ olarak ayarlanırsa bu ayarlama bozulmayı engelleyecektir ve $t+1$ zamanında hedefe göre çıktı değerinde $y_{t+1} - T = e_{t+1}$ kadar sapma meydana gelecektir. Burada e_{t+1} , $t+1$ zamanındaki tahmin hatasıdır ve şu şekilde ifade edilmektedir; $e_{t+1} = N_{t+1} - \hat{N}_{t+1}$ t zamanında yapılan ayar ise;

$$x_t - x_{t-1} = -\frac{1}{g}(\hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t) \quad (2.30)$$

bu iki EWMA tahmini arasındaki fark $\hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t$ şu şekilde yazılabilir;

$$\begin{aligned} \hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t &= \lambda N_t - (1-\lambda)\hat{N}_t - \hat{N}_t \\ &= \lambda N_t - \lambda \hat{N}_t \\ &= \lambda (N_t - \hat{N}_t) = \lambda e_t \\ &= \hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t = \lambda(y_t - T) \end{aligned} \quad (2.31)$$

t zamanındaki gerçek hatanın (e_t) çıktı değeri ile hedef değer arasındaki fark olduğu söylenilebilir. Bu nedenle, t zaman periyodunda değişkene yapılacak ayarlama Denklem (2.32)'deki gibi olacaktır.

$$x_t - x_{t-1} = -\frac{\lambda}{g} (y_t - T) = -\frac{\lambda}{g} e_t \quad (2.32)$$

T periyodunun sonunda ayarlanabilir değişken için gerçek ayar değeri, t zamanlarındaki yapılan tüm ayarların toplamıdır. Şu şekilde gösterilir;

$$x_t = \sum_{j=1}^t (x_j - x_{j-1}) = -\frac{\lambda}{g} \sum_{j=1}^t e_j \quad (2.33)$$

Bu tip süreç ayar yöntemine bütünleşik kontrol denir (Montgomery, 2012). Bu yöntem kusursuz bir geri besleme kontrol yöntemidir. Ayarlanabilir değişkenin seviyesini, hedeften sapmanın tüm mevcut ve önceki süreç sapmalarının ağırlıklı bir toplamına eşit olacak şekilde

ayarlar. Süreç modelinin deterministik kısmının doğru olması ve N_t 'nin EWMA aracılığıyla rastgele bir hatadan mükemmel bir şekilde ayrılması durumunda, bu kural hedef T'den sapmalarının ortalama karesi hatasını en aza indirmesi bakımından optimal bir kontrol kuralıdır. Bu yöntem Box ve Kramer (1992), Box ve Luceno (2012)'nin çalışmalarında ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır (Montgomery, 2012).

2.2.8. EWMA Denetleyicisi

Küçük düzeltme sabitine sahip EWMA denetleyicisi, oldukça düzenli koşullar altında uzun vadeli istikrarı garanti edebilir ancak süreç çıktısını hedefine getirmek için genellikle çok sayıda faaliyet gerektirmektedir. Fakat düzeltim sabitin en küçük tahmin hatasını verecek şekilde hesaplanmasıyla bu sorunun üstesinden gelinebilir (Tseng ve diğ., 2003). Yaptıkları çalışmada hedeften sapan süreçler için hedeften toplam ortalama kare sapmayı minimize etmeye odaklanan uyarlanabilir değişken EWMA kontrolörlerini önermişlerdir.

2.2.9. Bütünleşik Kontrol ve EWMA Denetleyicisi Arasındaki İlişki

Saf bir bütünleşik geri besleme kontrolü ve EWMA yakından ilişkilidir. Eğer sürecin kontrol altında olduğu durumun Denklem (2.34) 'de görüldüğü gibi tanımlandığını varsayalım;

$$Y_t = g x_{t-1} + N_t \quad (2.34)$$

Bu denklemde N_t stokastik bozulma ya da gürültü faktörü olarak tanımlanır. Bu süreç için kesikli bütünleşik kontrol denklemi şu şekilde gösterilebilir.

$$\nabla x_t = -G Y_t = -G (N_t + g x_{t-1}) \quad (2.35)$$

Burada G değeri oransal bir sabittir ve ayarlamının yönünü belirtmek için negatiftir. Süreç tanımını düşünürsek bu eşitliği şu şekilde yazabiliriz.

$$x_t - (1-Gg) x_{t-1} = -G N_t \quad (2.36)$$

ya da

$$x_t - \tau x_{t-1} = \frac{\tau-1}{g} N_t \quad (2.37)$$

Burada $\tau = 1 - Gg$ 'dir. Bu nedenle;

$$x_t = \tau x_{t-1} + \frac{\tau-1}{g} N_t \quad (2.38)$$

Bu denklem fark denklemi olarak tanımlanmaktadır.

$$x_t = -\frac{1}{g}(1-\tau)(N_t + \tau x_{t-1} + \tau^2 x_{t-2} + \dots) \quad (2.39)$$

Bu denklemde görülen $(1-\tau)(N_t + \tau x_{t-1} + \tau^2 x_{t-2} + \dots)$ ifade süreçteki bozulmanın üstel ağırlıklı hareketli ortalamasıdır. EWMA'nın bir adım sonrası için tahmin değeri sağladığını, EWMA tahmin yöntemi anlatılırken daha açık bir şekilde anlatılacaktır. Bu özellik düşünüldüğünde EWMA ile tahmin edilen süreçteki bozulma denklemi,

$$\hat{N}_{t+1} = (1-\lambda)N_t + \lambda \hat{N}_t \quad (2.40)$$

Ayrıca süreçteki kayma IMA (1,1) ise $G = (1-\theta)/g$ değerini aldığıında bu denklem bize MMSE kontrol yöntemini verir (Castillo, 2002:232).

2.2.10. Sınırlandırılmış Geri Besleme ile Süreç Ayarlama

Ayarlama maliyeti ve örnekleme maliyeti yoksa ve ayar süreci hedef değerde tutmak için verimliyse, sürecin her gerektiğinde ayarlanması önerilir. Bu gibi durumlarda, minimum varyans kontrolörleri, süreci hedefte tutmada uygun ve etkili olacaktır. Bazı uygulamalarda ilgili maliyetler nedeniyle süreci sık sık ayarlamak ve örnekleme istenmez. Maliyet parametrelerinin geri besleme ayarlamasına uyması için sınırlandırılmış geri besleme ayarlaması önerilmektedir. Sınırlı geribildirim ayarında hedefin etrafına alt ve üst sınırlar belirlenir. Süreç, yalnızca hedeften öngörülen sapma kadar sınır uzunluğunu aşarsa ayarlanır. Bu alt ve üst sınırlar mühendislik hesaplamasıyla ayar maliyetleri göz önüne alınarak belirlenmektedir.

Sınırlandırılmış ayar diyagramlarında ayarlama sadece EWMA tahmininin $\pm SL$ tarafından verilen sınırların dışında olduğu zamanlarda yapılmaktadır. Sınır değer (SL), hedef dışı kalma maliyetlerini ve ayarlamayı yapma maliyetini dikkate alarak genellikle mühendislik kararıyla belirlenir. Box ve arkadaşları (1997) bu durumu ayrıntılı olarak ele almakta ve özellikle de SL'nin belirlenmesi için maliyetlerin nasıl kullanılabileceğini ayrıntılı olarak çalışmışlardır (Montgomery, 2012).

2.2.11. Ayar Diyagramları ve Ayar Diyagramların Varyasyonu

Bütünleşik kontrole dayanan geri besleme ayar diyagramı, ayarların otomatik olarak yapılabilmesi için uygulanabilir. Genellikle bu ayar, sensörlerin veya ölçüm cihazlarının, bir mantık cihazının veya bilgisayarın x değişkenine fiziksel olarak ayarlama yapması yoluyla

olabilecektir. MSK veya geribildirim ayarlaması bu şekilde uygulandığında otomatik süreç kontrolü (APC) olarak adlandırılır. Birçok süreçte, geribildirim ayarlamaları manuel olarak yapılabilir. Operatör, mevcut çıkış sapmasını rutin olarak gözlemlemekte, Denklem (2.32) kullanılarak uygulanacak ayar miktarını hesaplamakta ve daha sonra x_t değerini yeni ayar noktasına getirmektedir. Ayarlamalar, personel tarafından manuel olarak yapıldığında, manuel süreç kontrolü (MPC) olarak adlandırılır (Montgomery, 2012).

Bu çok basit ve oldukça etkili bir prosedürdür. Manuel süreç ayar diyagramları ilk olarak Box, Jenkins ve Reinsel (1994)'in kitabında önerilmiştir ve bu nedenle Box – Jenkins ayar diyagramları olarak adlandırılır. Kimyasal süreçlerde geri bildirim ayarlama uygulamalarında yönetilmesi gereken en önemli maliyet, hedef dışı kalmanın maliyeti olduğundan bu ayarlamalardan doğan maliyet çok az ya da hiç yoktur. Bu nedenle her gözlemden sonra yapılacak olan ayarlama ciddi bir problem teşkil etmemektedir ve bu tür süreçlerde ayarlama otomatik olarak yapılabilir. Fakat ayarlama maliyetinin ve uygunluğunun önem arz ettiği süreçler de bulunmaktadır (Box ve Luceno, 2012).

Örneğin, kesikli parça imalatında, bir ayarlama yapmak için sürecin fiilen durdurulması gerekli olabilir. Bu nedenle geri bildirim ayarlama prosedürü standardizasyondan uzak kalacak ve bazı değişikliklerin yapılması gerekecektir, bu tür süreçlerde ayarlamaların daha az sıklıkta olması tercih edilecektir (Vander Wiel ve Vardeman, 1992).

2.2.12. MSK'nın Ekonomik Yönleri

MSK'nın amacı, kalite karakteristiğini belirlenen hedefte tutmak için süreci ayarlamaktır. Ayarlamamanın gerekli olup olmadığına karar vermek için ayarlama maliyetleri de göz önüne alınmalıdır. Mühendislik süreç kontrolünde yer alan ana maliyet parametreleri, hedef dışı kalma maliyetleri, ayarlama maliyetleri ve örnekleme maliyetleridir. Hedef dışı kalma maliyetleri, kalite özelliği hedeften saptığında ortaya çıkan maliyetlerdir. Bu maliyetler hedeften sapma ile orantılı doğrusal fonksiyonlardır. Hedefin üstünde ve altında aynı miktardaki sapmalar için maliyetler aynı olduğundan maliyet fonksiyonunun da simetrik olduğu varsayılmaktadır.

Bir sürecin ayarlanması, gerçek hayat problemlerinde önemli maliyetlere neden olabilir karşılaşılan bu tür maliyetlere ayarlama maliyetleri denilmektedir. Ayarlamalar, sürecin durdurulmasını ve bazı pahalı faaliyetlerin yapılmasını gerektirebilir. Ayarlama maliyetleri yüksek olduğunda ve süreçte farklı değişkenliklerle karşılaşıldığında süreç ayarlama işlemi

iptal edilebilir. MSK uygulamalarında ayar maliyetlerinin sabit olduğu ve ayar büyüklüğünden bağımsız olduğu varsayılmaktadır, ayar maliyetlerinin göz ardı edilebildiği süreçler de mevcuttur. Örnekleme maliyetleri, kalite karakteristiğinin nihai sayısal değerini elde etmede ortaya çıkan maliyettir. Süreci örnekleme ve yüksek hassasiyetli ölçümlerden doğru bir şekilde sonuç elde etmek için fiziksel ve kimyasal analiz yapmak için ortaya çıkan maliyetleri içerir. Örnekleme maliyetleri önemli olduğunda, örneklem miktarını düşürmek istenebilir (Amrit ve diğ., 2013).

Örnekleme maliyetlerinde en önemli unsur sürecin yapısıdır. Örneğin pahalı bir ürün üretirken hedef dışında kalma maliyeti, ayarlama ve örnekleme maliyetlerinin önüne geçebilir. Bir süreçte örnekleme maliyetleri yüksek olabilirken, diğer süreçte ise gerekli çıktı verileri dijital göstergeden kolayca elde edilebilir ve örnekleme maliyeti düşebilir. Benzer şekilde, bazı süreç ayarlama maliyetleri, sürecin durdurulmasını veya bazı pahalı tamir işlemlerinin yapılmasını gerektiren yüksek maliyetli işlemler olabilir. Bazı süreçlerde ise ayarlama sadece bir düğmeyi çevirerek ayar maliyetlerini önemsiz kılabilir. Sürecin ayarlanıp ayarlanmayacağı ve sürecin ne sıklıkla örnekleneceğine ilişkin karar hedef dışı kalma maliyetleri, ayarlama maliyetleri ve örnekleme maliyetleri gibi çeşitli maliyet faktörleri göz önüne alınarak belirlenmelidir.

2.3. BÜTÜNLEŞİK İSK/MSK SİSTEMİ

İSK'nın odak noktası, süreci kontrol dışına çıkaran nedenleri tanımlamaktır. Böylece bu nedenler kaldırılabilirler ve kalıcı süreç iyileştirme veya varyasyonda azalma sağlanabilir. Diğer bir yaklaşım olan MSK sürecin mevcut seviyesi ve istenen hedeften sapma bilgilerini kullanarak sürecin ayarlanması esasına dayanır.

Bu yaklaşıma genellikle geri bildirim ayarı denir ve bir MSK şeklindedir. Geri bildirim ayarı, İSK yaklaşımı tarafından kaldırılamayan varyasyon kaynaklarını hesaba katarak süreci düzenler. Varyasyonun azaltılması, tüm sektörlerdeki süreç performansını iyileştirmenin önemli bir parçasıdır. İstatistiksel süreç kontrolü, kontrol diyagramı giderilebilir nedenleri tespit etme yeteneği sayesinde varyasyonun azaltılması için etkili bir araçtır. Belirlenen nedenler kaldırıldığında, süreç varyasyonu azaltılır ve sürecin performansı artırılır (Montgomery, 2012).

Süreç izleme ve süreç ayarlaması terimleri akıllarda karmaşıklık oluşturmaktadır. Süreç ayarlaması veya düzenlemesi varyasyonun azaltılmasında önemli bir role sahiptir. Kontrol

diyagramları, bir hedefin etrafında varyasyonu azaltmak için her zaman en iyi yöntem olmayabilir. Kimyasal endüstrilerde, basit integral kontrol kuralı gibi teknikler hedefe ulaşma durumundaki varyasyonu azaltmak amacıyla çok etkili bir şekilde kullanılmıştır (Duffuaa ve diğ., 2004).

Genel olarak, mühendislik kontrol teorisi, süreç üzerindeki bir sonraki gözlem değerini tahmin etmeye ve süreç çıktısını değiştirmek için ayarlayabileceğimiz başka bir değişkenin bulunduğu fikrine dayanır. Bu ayarlanan değişkenin etkisi bilinirse böylece kaç kez kontrol eyleminin uygulanacağını belirlenebilir. Bunun sonucunda t zamanında değişkende ayarlama yapılabilir, ki bu da $t + 1$ periyodunda süreç çıktısında hedefin üstünde bir değerinin üretilmesiyle sonuçlanacaktır. Açıkçası, bu durum çıktı veya kontrollü değişken ile ayarlanan değişken arasındaki ilişki hakkında iyi bir bilginin yanı sıra süreç dinamiğinin de anlaşılmasını gerektirmektedir (Shao, 2014).

Aslında, kontrol maliyeti göz ardı edilebilir ise, süreç her periyotta kontrol edilmek suretiyle süreç çıktısındaki varyasyon en aza indirilir. Fakat bu durum İSK'nın doğasına aykırıdır. İSK'da "kontrol eylemi" veya süreç ayarlaması, yalnızca sürecin kontrol dışına çıkmış olduğuna dair istatistiksel kanıt bulunduğu alınır. Bu istatistiksel kanıt, genellikle bir kontrol diyagramının sınırları dışında kalan bir noktanın varlığıdır. MSK, süreci etkileyebilecek giderilebilir nedenleri tespit etmeye çalışmamaktadır fakat bu tür nedenlerin ortadan kaldırılması önemli süreç iyileştirmeleri sağlamaktadır. Tüm MSK diyagramları, süreçteki bozulmalara tepki göstermelerine rağmen giderilebilir nedenleri ortadan kaldırmak için herhangi bir çaba göstermezler. Sonuç olarak, geri besleme kontrolünün kullanıldığı süreçlerde, istatistiksel süreç izleme için kontrol diyagramı da kullanılırsa, önemli yol kat edilebilmektedir (Montgomery, 2012).

Kontrol diyagramları, kontrol hatalarına (kontrol edilen değişken ve hedef arasındaki fark hataları) veya ayarlanan değişkene yönelik ayarlama sırasına kullanılmalıdır. Bu iki temel yaklaşımın kombinasyonları da mümkün olabilecektir. Kontrol edilen değişken ve hedef değer arasındaki fark hataları ve ayarlanabilir değişkene yapılan düzenlemeler (veya çıktı karakteristiği ve ayarlanabilir değişken) çok değişkenli kontrol diyagramları kullanılarak birlikte izlenebilir. Bu diyagramlardaki kontrol limitleri dışında kalan noktalar, kontrol hatalarının büyük olduğu veya ayarlanabilen değişkendeki büyük değişikliklerin yapıldığı

periyotları tanımlar. Bu periyotlar muhtemelen giderilebilir nedenleri aramak için iyi bir fırsat olacaktır (Castillo, 2002).

İSK, kesikli parça üretiminde uzun bir geçmişe sahiptir. Kimyasal süreçler gibi sürekli süreçlerde, varyasyonu azaltmak için sıklıkla başka bir yaklaşım kullanılır. Bu yöntem çıkış değerini hedef değerde tutabilmek için süreç değişkenlerinin düzeltilmesi esasına dayanır. Bu süreç düzenleme diyagramları, ayarlamaların niteliğine bağlı olarak MSK, stokastik kontrol, geri besleme veya ileri besleme kontrolü olarak bilinir. İSK, her zaman süreci istatistiksel bir kontrol haline getirmenin mümkün olduğunu düşündüğümüz bir durumda uygulanır. İstatistiksel Kontrol ile, süreç hedefi etrafında sadece kararlı rastgele varyasyon gözlemlendiğimiz kastedilmektedir. Ayrıca, İSK süreç kontrol durumunda olduğunda, sürekli devam eden bir ayarlama olmadan nispeten uzun bir süre kontrol durumunda kalmaya devam edecektir. Operatörlere ve hammaddelerin varyasyonuna bağlı farklılıklar gibi giderilebilir nedenleri ortadan kaldırırsak, kontrol durumunun elde edilmesi genellikle mümkündür. Ancak, bazı endüstriyel ortamlarda, gösterilen gayrete rağmen, süreç hedeften uzaklaşma eğilimine sahip olabilir. Bu eğilim giriş malzemelerindeki sürekli varyasyon, çevresel etkiler veya süreci etkileyen bilinmeyen nedenlere bağlı olarak gerçekleşebilir. MSK aracılığıyla süreç düzenleme, süreç çıkışındaki sapmayı telafi etmek için ayarlanabilen bir başka değişkenin olduğunu ve bu ayarlanabilir değişkenin bir dizi düzenli ayarının süreç çıkışını istenen hedefe yakın tutacağını varsayar (Montgomery, 2012).

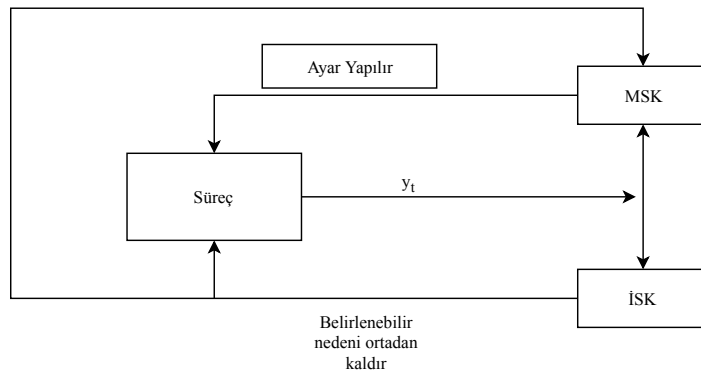
İSK ve MSK'nin, giderilebilir nedenli süreç bozulmaların tespit edilmesini mümkün kılacak MSK'ye yönelik bir iyileştirme prosedürü sağlamak amacıyla entegre edilmesi fayda sağlamaktadır. Bu teknikler farklı ortamlarda geliştirildiğinden MSK ve İSK'yi entegre etme ihtiyacının gerekliliğini sorgulamak doğaldır. İSK genellikle kaliteyi iyileştirmek için bir kurumun stratejik itişinin bir parçasıdır ve genellikle insanlara, yöntemlere ve prosedürlere vurgu yaparak yukarıdan aşağıya, yönetim odaklı bir etkinliktir.

Öte yandan MSK, süreç mühendisliği organizasyonundaki kökleri ile doğası gereği daha taktiktir ve temel odak noktası süreçtir. İSK'nın istatistiksel çerçevesi hipotez testine benzerdir, oysa MSK'nın istatistiksel çerçevesi parametre tahminidir. Varyasyonun azaltılması bu iki prosedürün paylaştığı ortak bir hedeftir.

Luceno (1993) İSK ve MSK'yi hem kesikli parça izleme hem de sürekli süreç izleme içeren karma işlemlere uygulanabilirliğini çeşitli örneklerle açıklamaktadırlar. Entegre bir sistemde, tahmin edilebilir kalite değişiminin etkisini azaltmak için MSK kullanılır ve giderilebilir nedenleri tespit etmek ve süreci izlemek için İSK kullanılır. İSK ve MSK teknikleri farklı yollar kullanmasına rağmen, hedef olarak ikisinin de süreçteki varyasyonu azaltmaya çalıştığı düşüncesi iki yöntemin birlikte kullanılması için bir çıkış noktası oluşturabilecektir.

Montgomery (2012) tarafından sağlanan bir örnek, MSK'nin İSK'den üstün olduğu durumları göstermektedir. Örnekte, bir araba sürme işleminde amaç, arabanın şeridi ortalayarak takip etmesi veya şerit merkezi çevresinde varyasyonun en aza indirilmesidir. Burada, çıkış değişkeni şeridin ortası referans alınarak belirlenen araba pozisyonudur ve ayarlanan değişken direksiyon simidi olmaktadır. Sürücü, çıkış değişkeni ile ayarlanan değişken arasındaki ilişkiyi anlar ve arabayı hedefe sürmek için düzenli ayarlamalar yapar. Sürücünün hedefine ulaşabilmesinin tek yolunun, herhangi bir İSK tekniğini kullanarak değil, aracı kontrol etmek için bir geri bildirim kontrol diyagramı kullanmak olduğu açıkça görülmektedir.

MSK, belirlenebilir nedenleri bulma girişiminde olmadığından bu durum süreci etkileyebilir, fakat MSK süreçteki bozulmaların üstesinden gelebilmektedir. Önceki örnekte, giderilebilir nedenler aşınmış bir lastik, sarhoş bir sürücü vb. olabilir. İSK'nin MSK ile entegre edilmesi, MSK'nin sistemi hedefe odaklayacağından ve İSK'nin sistemi izleyerek giderilebilir nedenleri ortadan kaldırmayı amaçlayacağından önemli bir süreç iyileştirmesi sağlayacaktır. Montgomery (2012)'den alınan Şekil 2.6, İSK'yı MSK ile birleştirmek için etkili bir metodoloji göstermektedir.



Şekil 2.6: İSK ve MSK bütünleşmesi.

MSK, süreci hedef üzerinde tutmayı amaçlayan kontrol teorisine dayanmaktadır. Süreçteki bir sonraki gözlemi öngörmeyi gerektirir. Bu öngörü süreç çıktısını etkilemek için ayarlanmış diğer bazı değişkenleri tanımlamak ve bu ayarlanan değişkenin etkisini gözlemlemek ile mümkündür. Bu nedenle Süreç dinamiklerini ve ayarlanmış değişken ile çıktı değişkeni arasındaki ilişkinin net bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Kontrol teorisi, bu görevi deterministik modelleri, stokastik modelleri ve transfer fonksiyon modellerini kullanarak gerçekleştirir. Deterministik modeller kontrolörü tasarlamak için kullanılır. Zaman serileri biçimindeki stokastik modeller, gerçekleşen değerle tahmin edilen değer arasındaki farkın modellenmesinde kullanılır (Montgomery, 2012).

Kontrol mühendisleri ve istatistikçiler arasında MSK'nin İSK'ye karşı etkinliği konusunda anlaşmazlıklar olmuştur. Bunun nedeni, istatistikçilerin kontrol sistemleri hakkındaki, kontrol mühendislerinin ise İSK hakkındaki bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır. İSK ve MSK'yi entegre etmek için öncelikle hem kontrol mühendisleri hem de istatistikçilerin ilgili kavramları tam olarak anlamaları gerekmektedir. İSK ve MSK iki farklı kontrol yöntemi temsil ettiğinden, süreç izleme için her iki tekniği entegre etmek veya kullanmak zor olmuştur (Chang ve diğ., 2016).

2.3.1. Bütünleşik İSK/MSK Literatür Araştırması

Aström ve Wittenmark (1971), mühendislik süreç kontrolüne stokastik kontrolün uygulanmasını ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Stokastik kontrol, süreç dinamikleri için bir model kullanır ve sürecin bir modelinin gerekli olması nedeniyle İSK'den farklıdır. Otokorelasyonlu verilerin varlığı ve analitik ölçümlerle ilişkili gecikmeler kontrol stratejisine dahil edilmektedir.

Taguchi (1985), bir Shewhart kontrol diyagramının sürecin kontrol dışı olduğunu gösterdiği durumlarda ayarlama yapılması gerektiğini ve bu ayarın zıt bir sapmayla yapılması gerektiğini söylemiştir. Örneğin bir süreçte kontrol limitleri y_t kadar aşılırsa, ayarlama faaliyeti $-y_t$ 'yi sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Bu düşünce sürecin kontrolden çıkma sırasındaki ortalamasının son gözlemlenen veri noktası tarafından tahmin edildiğini açıkça göstermektedir. Bu tahmin genellikle büyük süreç kaymalarını vermektedir bu nedenle gerçek kayma miktarı küçük olduğunda önemli ölçüde önyargılı bir tahmin olacaktır.

MacGregor (1988), bir sürecin iki şekilde kontrol dışına çıkabileceğinden bahsetmiştir. Birincisi birçok süreçte sürekli olarak meydana gelen rastlantısal varyasyonlardan kaynaklanan stokastik bozulmalar ve ikincisi ani olarak herhangi bir zamanda değişikliklerinden kaynaklanan deterministik bozulmalardır. Diferansiyel denklemler ve transfer fonksiyonları deterministik bozulmaları modellemek için kullanılabilir. Stokastik bozulma, sabit veya sabit olmayan yapıda olabilir. Sabit bir bozulma rastgele olmalıdır. Ancak sabit bir ortalamaya sahip olacaktır.

Ürün kalite kontrolünde genellikle en önemli amaçlardan biri, çıkış sapmalarının hedeften veya ayar noktasından sapmasını en aza indirmektir. MacGregor (1988), süreç dinamiği olan ve olmayan Minimum Varyans Denetleyicilerini (MVC) açıklamıştır. Çalışmasının sonucuna göre, kontrol maliyetlerin sıfır olmadığı kararlı durum süreçleri için, İSK kontrol diyagramları yöntemleri en uygun kontrol yöntemi olabilmektedir. Bununla birlikte, kontrol eylemi ile ilgili herhangi bir maliyet yoksa veya süreç dinamikse standart İSK diyagramı optimal olmaktan uzak olabilir ve ayırık stokastik teori, kalite kontrolüne daha genel ve güçlü bir yaklaşım sağlar.

MacGregor (1991), uyguladığı modifiye edilmiş huni deneyinin süreç izleme ve kontrol için etkin bir şekilde kullanılabileceğini ve dolayısıyla İSK ve MSK'nin entegrasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir.

Hoer ve Palm (1992) çalışmalarında MSK'nin sürekli süreçler için gerekli olduğuna işaret etmişlerdir; dahası, İSK ve MSK'yi entegre etmenin, sürekli süreçlerin kalitesini korumak için anahtar rol oynayacağını belirtmişlerdir.

MacGregor ve arkadaşları, (1994) İSK ve MSK'nin birlikte iyi çalışabileceğini, diğer bir deyişle İSK ve MSK entegresinden elde edilen çıktı kalitesi herhangi bir yöntemin yalnız kullanılmasından elde edilen çıktı kalitesinden daha yüksek olacağını örnekle göstermişlerdir.

Vander Wiel ve Vardeman (1992) Algoritmik İstatistiksel Süreç Kontrolü (AİSK) adında yeni bir süreç kontrol yapısı önermişlerdir. Bu yapıyı kullandıkları çalışmalarından elde ettikleri deney sonuçları çıktı varyasyonunun AİSK ile azaldığını göstermiştir. Ek olarak, Vander ve diğ., (1992) başka bir modifiye edilmiş AİSK yapısını önermiş ve çıktı kalitesini iyileştirmek için İSK ve MSK'yi entegre etmenin gerekli olduğu sonucuna varmışlardır.

Wiklund (1992) normal olasılık yoğunluk fonksiyonuna dayanarak maksimum olasılık tahmini (MLE) yöntemi önermiştir. Çalışmasının dayanağı Shewhart kontrol diyagramlarıyla tespit edilen ilk kontrol dışı olma durumunda ayarlama faaliyeti yapılmasıdır. Çalışmasında CUSUM ve EWMA kontrol diyagramlarını da kullanarak farklı tahmin yöntemleri denemiştir. Shewhart kontrol diyagramlarının küçük kaymalara EWMA ve CUSUM kontrol diyagramlarına karşın daha duyarsız olduğunu uygulamalı bir örnekle göstermiştir. Çalışmanın sonucunda bu yöntemlerin yerine maksimum olabilirlik çıkarımı yöntemini önermiştir. Ayrıca CUSUM ve EWMA kontrol çizelgelerinin kullanılmasına dayanan diğer tahmin yöntemlerini tartışmıştır.

Luceno (1993) tarafından önerilen alternatif bir geri besleme ayar yöntemi, süreçten toplanan geçmiş verilerin EWMA istatistiklerini kullanmaktır. Eğer süreçteki bozulma θ parametresiyle IMA (1,) modeliyle temsil edilebiliyorsa EWMA tahminlerinin $1-\theta$ parametresiyle ortalama hataların karesi optimum olmaktadır. Bozuma IMA (1,1) değilse bile ayar faaliyeti bütünleşik faaliyetlerden oluşmakta ve iyi sonuç vermektedir.

Literatürde yöntemlerin bütünleştirilmesinde en iyi tahmin yöntemini veren yöntemin belirlenmesinde, farklı yöntemler denenmiştir. Chen ve Elsayed (2000) kayma büyüklüğünü tespit etmek ve kayma zamanını tahmin etmek için bir bayesçi tahmin yöntemi kullanmışlardır ve kısa süreli süreç kontrolüne bir bayes yöntemi uygulamışlardır. Süreç ortalamasının seri otokorelasyonla sonuçlanan sık sık küçük değişikliklere tabi olduğunu varsayılmış ve bu nedenle ortalamada büyük bir kaymanın meydana gelip gelmediğine dair hipotez testi kullanılmıştır.

Guo ve Chen (2000), dinamik parametre ayarlama özelliğine sahip bir EWMA süreci ortalama tahmincisi sunmuşlardır. Orta ve büyük süreç kaymalarını tespit etmek için EWMA kontrol diyagramı kullanmışlar ve ardından sıralı olarak ayarlanmış bir parametreye sahip bir EWMA denetleyicisi geliştirmişlerdir.

Schippers (2001), üretimde kontrolü ele almak için entegre bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamış ve üretim süreçlerinin kontrolünü anlamak, analiz etmek ve reçete etmek için kullanılacak bir IPC modeli ortaya koymuştur.

Musheng ve Yu (2007), yaptıkları çalışmada MSK ve İSK'nın üretim süreci kalite kontrolünde

farklı bir rol oynadığını belirtmişlerdir. MSK yöntemi, kalite gereksinimlerini karşılamak için üretim sürecinde parametre değişikliklerini düzgün bir şekilde kontrol edebiliyorken, İSK üretim sürecinin kararlılığını önceden tahmin edip kontrol edebilir ve kontrol durumunu mümkün olan en kısa sürede keşfedebilir. Bu nedenle, bütünleşik bir İSK / MSK kontrol teknolojisi kullanmak, ürünlerin daha iyi kalitede olmasını sağlayabilir.

Lee (2010), sadece üretim maliyetini en aza indiren değil, aynı zamanda üretim kalitesini arttırmak ve maliyeti düşürmek için olanak sağlayan toplam sürecin istatistiksel kalite özelliğini de hesaba katan ve kısıtlar içeren bir ekonomik model geliştirmiştir.

İSK ve MSK'nin etkili bir entegrasyonuyla varyasyon daha da azaltılabilecek ve daha iyi kalite ortaya konabilecektir. Box ve Luceno (2012), çalışmalarında sınırlı ayarlanmış kontrol grafiklerini kullanarak geribildirimle kontrolün nasıl sağlandığını göstermişlerdir.

Evans ve Lindsay (1996) yaptıkları çalışmalarında anlattıkları Deming hunisi deneyinin sonuçları, bu deneyi uygulayan kişilerin İSK ve MSK'ye bakış açılarını önemli düzeyde etkileyecek sonuçlar doğurmuştur.

Box ve arkadaşları (1994) çalışmalarında literatürde genellikle seçilen model olan transfer fonksiyonu modelinin sürecin stokastik bozukluğunu dikkate almadıkları için süreç dinamiklerini tam olarak temsil etmediğini göstermişlerdir. ARIMA zaman serisi modelleri stokastik bozulmaları tanımlamak için kullanılabilir.

Deterministik ve stokastik bileşenlerin kombinasyonu, bütünleşik İSK / MSK kontrol diyagramını oluşturmak için gerekli olabilir. Kontrol maliyetlerinin sıfır olmadığı durumlar ile kararlı durum süreçleri için, İSK kontrol diyagramı yönteminin en uygun kontrol yöntemi olabileceğini MacGregor (1988) çalışmasında göstermiştir. Kontrol maliyeti yoksa veya süreç dinamikleri aktifse, stokastik kontrol teorisi, kalite kontrolünde daha iyi sonuç vermektedir.

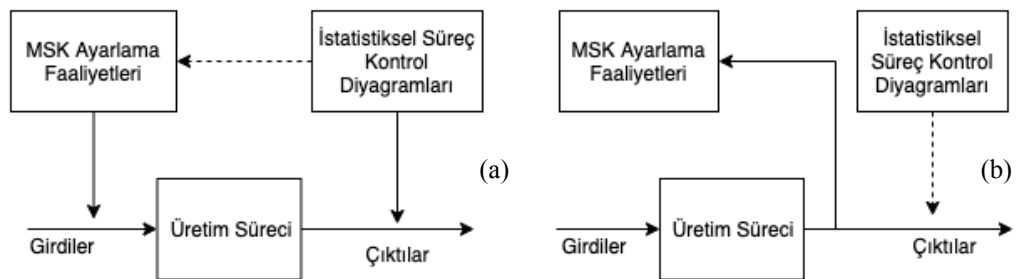
Messina (1992) yaptığı çalışmada iki yöntemin birlikte kullanımını simülasyon aracılığıyla uygulamanın yanı sıra İSK ve MSK'nın arasındaki farkları Tablo 2.3'de verildiği şekilde göstermiştir.

Tablo 2.3: MSK ve İSK karşılaştırması (Messina, 1992).

Felsefe	İSK	MSK
Uygulama Seviyesi	Süreç Durağanlığı Beklenir	Sürekli Süreç Kayması Beklentisi
Seviye	Stratejik	Taktik
Hedef	Kalite Karakteristikleri	Süreç Parametreleri
Fonksiyon	Süreç Kaymalarının Tespiti	Ayar Noktalarını İzleme
Maliyet	Fazla	İhmal Edilebilir
Odak Noktası	İnsan ve Yöntemler	Ekipmanlar
Korelasyon	Yok	Düşükten Yüksekçe
Sonuçlar	Süreç İyileştirme	Süreç Optimizasyonu

Tablo 2.3’de görülen İSK ve MSK yöntemlerinin ortak noktalarının az olduğu görülmektedir fakat sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda ortak noktalar az olsa da iki yöntemin birbirini tanımlayıcı özellikte çalıştığı görülmüş ve bu yönlerinden faydalanmak için bütünleştirme çalışmaları denenmiştir.

Bir üretim süreci başlangıçta, İSK tarafından varsayıldığı gibi istatistiksel olarak kontrol altındaysa, rastgele herhangi bir anormal değişikliği tespit etmek için süreç kontrol diyagramları kullanılır. Bu anormal değişiklik gerçekten bulunduğu anda, bu değişkenliği telafi edebilecek mühendislik süreç kontrolü ile ayarlama eylemleri gereklidir. İSK ve MSK yöntemlerinin birlikte kullanılmasının temel amacı bu anormal değişikliğin bulunması ve bu değişikliği telafi edebilecek süreç ayarlama faaliyetlerinin belirlenmesidir. Literatürde bu iki yöntemin bütünleştirilmesi iki farklı şekilde yapılmaktadır. Şekil 2.7 (a)’da görülen bütünleştirme metodolojisinde süreç çıktılarının kontrol dışı olduğu alarmıyla MSK denetleyicisi aktifleşir. Şekil 2.7 (b) de görülen bütünleştirme metodolojisinde ise önce süreçte MSK ayar faaliyetleri yapıldıktan sonra İSK diyagramlarından yararlanır.

**Şekil 2.7:** Bütünleşik İSK/MSK yöntemleri (Montgomery ve diğ., 1994).

İSK ve MSK'nin birlikte çalıştığı sistemler, Montgomery ve arkadaşları (1994)'nin yaptıkları çalışmalarında gösterildiği gibi varyasyonu azaltmak için iyi bir entegrasyon olabilecektir. Bu

çalışmalarında süreçteki varyasyon göz önüne alınarak MSK kullanılırken bir İSK sistemine sahip olmanın varyasyonun temel nedenlerini daha düzgün bir şekilde izlediğini ve doğru şekilde harekete geçtiğini simülasyon yoluyla göstermişlerdir.

Shao ve Wang (2016) yaptıkları çalışmada MSK yöntemlerini uygularken süreçteki kaymaların bazı süreçlerin yapısından dolayı düzeltilemeyeceğini ve MSK/İSK sisteminin birlikte kullanılmasıyla bu durumun problem oluşturabileceğini temel alarak üç farklı zeki hesaplama yöntemi kullanmış ve bu süreçten kaynaklanan problemin üstesinden gelmeye çalışmışlardır. Kullandıkları zeki yaklaşımlar; yapay sinir ağını, zaman gecikmeli sinir ağını ve kaba set tekniklerini içermektedir. Çalışmanın sonucunda önerilen zaman gecikmeli yapay sinir ağıları İSK/MSK sisteminde karışım sürecinin yapısını belirlemek için en iyi yöntem olmuştur.

De la Torre-Gutiérrez ve Pham (2019) İSK/MSK literatürü incelendiğinde çalışmaların büyük çoğunluğunun verilerin normal ve otokorelasyonsuz dağıldığı var sayımıyla yapıldığını temel alarak otokorelasyonlu ve normal dağılmayan verilere sahip süreçler için bütünleşik İSK/MSK sistemi önermeye çalışmışlardır. Fakat gerçek uygulamalarda verilerin her zaman otokorelasyonsuz ve normal dağılmayacağı göz önüne alınarak yaptıkları bu çalışmada MSK ile ayarlanan süreçler için makine öğrenmesi yöntemlerinden faydalanarak bir kontrol tablosu örüntü tanıma sistemi geliştirilmişlerdir. Çalışmanın ana odak noktası tekstil üzerinde yer alan bir desenin tanınması, yanlış işlenen desenin örüntü tanıma yöntemi kullanarak hatalarının belirlenmesi ve düzeltilmesidir. Girdi olarak ham verileri kullanarak, en yüksek tanıma doğruluğunu sağlayan kombinasyonu belirlemek için sistemin tüm olası faktör kombinasyonları incelenmiş ve anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.01$ olan modeller üretmek, çıkış sinyalini izlemek için MSK yöntemlerinden radyal tabanlı fonksiyon ve PID kontrolörü kullanılmıştır. ARMA (1,1) modeli kullanıldığında, ham verileri kullanmak her iki kontrolör için de en yüksek örüntü tanıma doğruluğunu üretmiştir.

Chang ve arkadaşları (2016) MSK, İSK ve Yapay sinir ağıları (YSA) kullanarak arıza teşhisi için bir sistem önermişlerdir. Bu sisteme YSA'yı dahil etmelerinin nedeni hem çevrimiçi sinyal ayarlama hem de kontrol için yapılacak faaliyetlerin analizi konusunda sistemin daha kolay sonuç vereceği düşüncesidir. Bu araştırmanın amacı, yapay sinir ağı tabanlı bir bütünleşik kontrol sistemi geliştirmektir, yapay sinir ağı sınıflandırma amacıyla çalışmaya eklenmiş ve

sınıflandırıcının % 91 oranının üzerinde süreç bozulmalarını tespit etmede mükemmel doğruluk sağladığı görülmüştür.

Hu ve Cheng (2012) eldiven kalitesinin güvenilirliğinin artırılması için süreç dalgalanmasını en aza indirmek, çıktı kalitesini standardize etmek ve süreç güvenilirliğini iyileştirmek için İSK ve MSK'ya dayalı bütünlük bir kontrol yöntemi geliştirilmişlerdir. Süreç bozulmalarına yol açan belirlenebilir nedenleri ortadan kaldırmak için İSK yöntemini kullanmış, sürecin kontrol altında hedef değerlere yaklaşmasını sağlamak için ise MSK yöntemi kullanmışlardır. Fakat çalışmada yöntemler sadece teorik olarak entegre edilmiş ve sadece öneri sunulmuştur.

John ve Singhal (2019) kâğıt hamuru ağartma işleminin parlaklığı ve viskozitesinin aynı anda izlenmesi ve kontrol edilmesi için bütünlük bir MSK/İSK metodolojisi geliştirmişlerdir. Birden fazla kalite karakteristiğinin izlenmesi ve kontrolü için yapılmış ilk uygulamalardandır. Çalışmada otokorelasyonlu çıktıları modellemek için dinamik bir regresyon modeli kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda önerdikleri modelle hem performans özellikleri hem de parlaklık ve viskozite için hedef etrafındaki varyasyondaki önemli azalma sağlanmıştır.

Park ve Reynolds (2008) yaptıkları çalışmayla, bir sürecin varyasyonunu azaltmak için eşzamanlı olarak İSK ve MSK tekniklerini uygulayan bütünlük bir süreç kontrolü prosedürünü ele almışlardır. Ele alınan süreç modeli, süreç kontrol altındayken ARIMA'dır (0, 1, 1). Ayarlama faaliyeti için tekrarlanan bir MSK yöntemi, değişkenliğin sebepleri belirlemek için ise EWMA kontrol diyagramlarını kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda geliştirdikleri bütünlük sistemin verimliliğini birim zaman için beklenen maliyeti karşılaştırarak ölçmüşlerdir.

Park (2010) çalışmasında bütünlük bir süreç kontrol yöntemi geliştirmiştir. Süreçte değişkenliğe sahip olan özel nedenleri ve süreçteki kaymaları belirlemek için MSK ve İSK yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Süreçteki bozulmanın etkisini azaltmanın en etkili yolu, süreci yapılan tahminine göre MSK yöntemleriyle ayarlamaktır. Sürecin ortalamasının hedef değerden kayda değer miktarda sapmasına neden olan özel sebep, İSK yöntemleriyle süreci izleyerek belirlenebilir. Bu iki yöntemin olumlu yönlerini birleştirerek kullanılması sürecin hedef değer etrafında kalmasına sebep olacağından tercih edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, üretim süresinin sonuna kadar özel bir nedenin tekrar ortaya çıkmayacağı

varsayımına dayanarak, özel nedenin giderilebildiği durumlarda bile sürecin düzeltilmesi veya yeniden ayarlanıp düzeltilmemesi kararı, gelecekteki beklenen maliyet göz önüne alınarak yapılmıştır.

Shao (2014) gerçek üretim süreçlerinde genellikle veriler arasında otokorelasyonun mevcut olduğu gerçeğini göz önünde bulundurmuş ve bu otokorelasyonun genellikle İSK diyagramlarında ki yanlış alarm sinyallerinin artmasına neden olacağını ve bu durumun MSK tarafından telafisi olsa da sürecin tasarımından kaynaklı altta yatan problemleri gizleyebileceğini söylemiştir. Bu nedenle çalışmasında, altta yatan süreç bozulmalarının nedenlerini belirlemek için yapay sinir ağı ve destek vektör makinesi yaklaşımlarının bütünleştirilmesini önermiştir.

Roslan ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada bir izotermal ürün konsantrasyonunun kontrolü için bütünleşik MSK ve İSK sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında kimyasal maddelerin konsantrasyonunu belirlemek için en etkili MSK yöntemini seçmeye çalışmışlardır. Çalıştıkları süreç kimyasal bir süreç olduğundan gerçek uygulama yerine simülasyon çalışması yapmışlardır. MSK için PID ayarlama yöntemi kullanılmıştır. Bu ayarlamaların sonucunda en iyi konsantrasyon oranları süreç yeterlilik analizi sonuçlarına göre seçilmiştir.

Saif (2019) sistem mühendisliğinde İSK ve otomatik süreç kontrolü (OSK) sürecin ayarlanması için yaygın bir şekilde ayrı ayrı kullanıldığından iki yöntemin birbirini tamamlayacağı düşüncesiyle bu iki yöntemi birlikte kullanmaya olanak veren tamamlayıcı bir şema sunmuştur ve bu iki yöntemi birlikte kullanabilmek için örnek bir çerçeve geliştirilmiştir.

Shao ve Chiu (2016) MSK ayarlamaları, süreçte bozulmalara neden olan tasarım hatalarının göz ardı edilmesine neden olabileceğinden ve bu nedenle süreç bozulmalarının davranışını tanımlamanın zorlaşabileceğini vurgulamışlardır. Süreç kaymalarına neden olan belirlenebilir beş neden içeren sıfır dereceli otoregresif bütünleşik hareketli ortalama zaman serisi ile tanımlanan bir süreç ele alınmıştır. Ortalama hataların karesi süreç ayarlarının verimliliğini karşılaştırmak için performans ölçütü olarak kullanılmıştır.

2.3.2. Literatürde Görülen Boşluklar

Literatürde bulunan birleştirme stratejilerinin çoğu, süreç ayarlama için MSK tekniklerini ve izleme için İSK tekniklerini kullanırken, bazı çalışmalar ise MSK döngüsüne dayanan İSK izleyicilerini türetmiş ve sırayla tek başlarına kullanımlarını uygulamışlardır. Bu nedenle bu çalışmalarda gerçek bir entegrasyondan tam anlamıyla söz edilememektedir. Her ikisinin de izlediği tekniklerin birlikte kullanımını sağlayan bir çerçeveye ihtiyaç duyulmaktadır.

İSK diyagramları süreçte kontrol dışı değişkenler için alarm üretme açısından tatmin edicidir. Fakat giderilebilir nedenlerin yerini belirlemek için geliştirilen bilimsel bir yöntem yoktur. İSK tabanlı kontrol cihazlarının etkinliğine rağmen yüksek kontrol maliyeti ve çoğu durumda kontrol işleminin matematiksel modeli nedeniyle bilgisayar işlem gücü ve belleği açısından çok pahalı olabilir ve gerçek tesislerde kullanılması mevcut olmayabilir. Geleneksel kontrole dayalı bir sistem bu gibi durumlarda daha etkili olabilir. Geleneksel MSK kontrol cihazlarının etkili ve uygulaması kolay olmasına rağmen, beklenmeyen süreç koşulları altında performanslarının sürdürüleceği konusunda hiçbir garanti yoktur. Bu nedenle; insan gücünden faydalanma İSK ve MSK tekniklerinin kullanımı arasında uygulamada yararlı olsa da hızlı üretim oranlarına sahip endüstriyel süreçler büyük veriye neden olabilmekte ve bu da bir insan operatörünün görevleri yerine getirmesini zorlaştırmaktadır. Bu, bir insanın bir sürecin en iyi nasıl kontrol edileceğine ilişkin sezgisel bilgisini uygulamak için kullanılacak akıllı tekniklerden (yani bulanık mantık) yararlanma yoluyla çözülebilir.

Mevcut çalışmaların çoğu, MSK sisteminin zaman içinde orijinal performans özelliğini koruduğunu varsayar. Fakat gerçek uygulamalarda çoğu sistemde olduğu gibi, kontrolörler aşınma ve yıpranmaya maruz kalırlar ve servis ömürleri boyunca artan bir arıza oranına sahip olurlar. Ekonomik fizibilite elde etmek için, performans bozulmasının zaman içindeki etkisinin sisteme dahil edilmesi önerilebilir ve MSK sisteminin bakımı ve değiştirilmesi için uygun zamanın belirlenmesinde de eklenebilir.

Bir sistemin, dışından veya içinden gelebilecek varyasyon kaynaklarına dayanıklı olması önemlidir ve bu dayanıklılık, sistemin varyasyonunu en aza indirmek ve gürültü faktörlerine karşı daha az hassas hale gelmesini sağlayabilir. Sağlam tasarım ilkelerini uygulamak, İSK'yı MSK ile entegre etmek için daha verimli bir prosedür meydana getirir.

Uygulamada kullanılan bazı simülasyon yazılım paketleri ve istatistiksel analiz araçlarının bulunmasına rağmen, bu yazılımların çoğu bağımsız olarak tasarlanmıştır. Hem İSK'yı hem de MSK araçlarını uygulayan ve bütünleşik İSK/MSK tekniklerinin gerçek gücünü yansıtan bütünleşik bir yazılım geliştirilebilir (Akram ve diğ., 2012).



3. MALZEME VE YÖNTEM

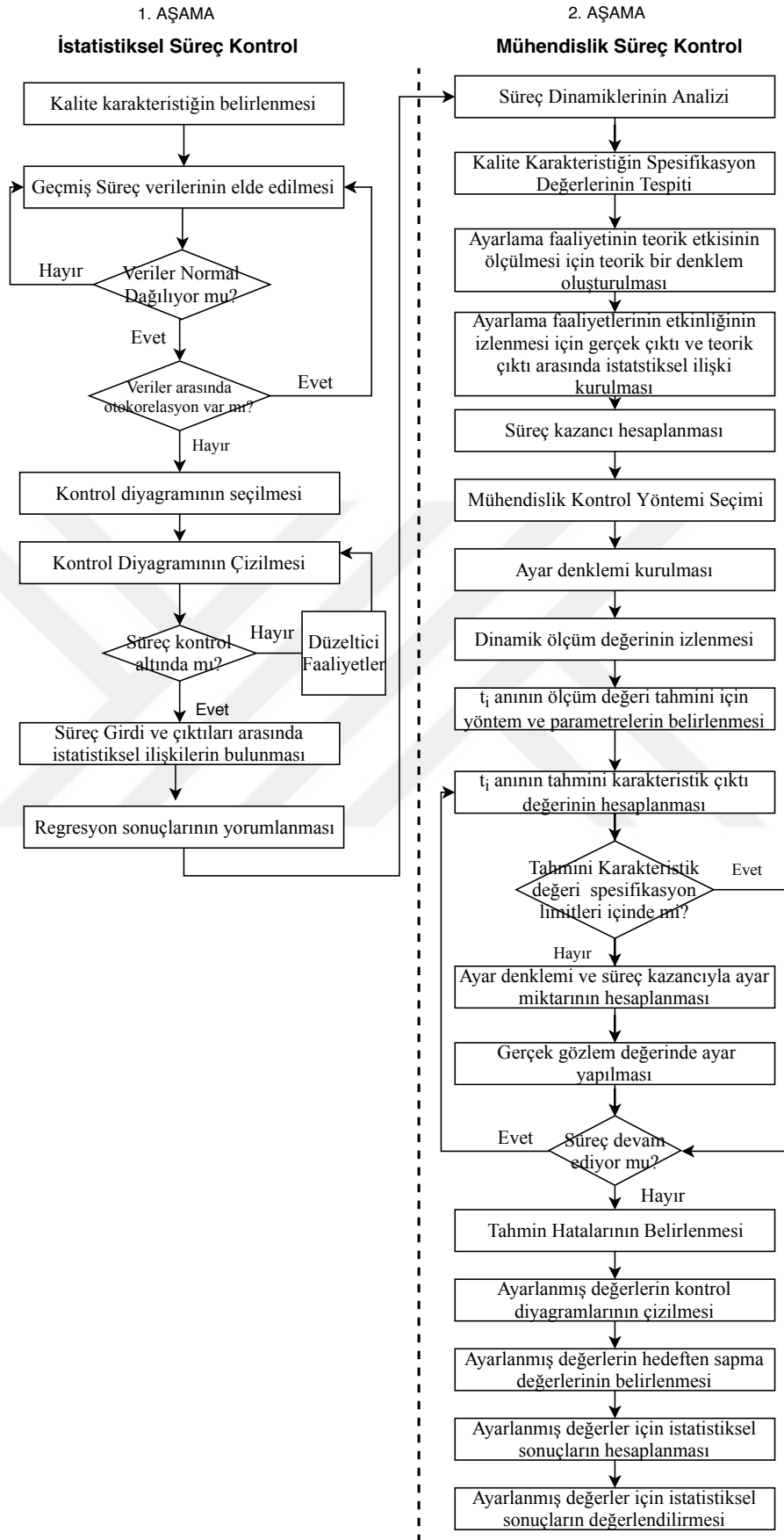
Tez çalışmasının bu bölümünde bütünleşik bir İSK/MSK sistemi sunmak için seçilen uygulama alanı belirlenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak önerilen bütünleşik İSK/MSK sistemi aracılığıyla süreç izleme ve süreç ayarlama faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Sürecin yapısı göz önüne bulundurularak; genel kısımlar bölümünde anlatılan literatürde kabul görmüş teorik yöntemlerden, İSK ile süreç izleme için EWMA kontrol diyagramı; süreç ayarlama faaliyeti için ise MSK yöntemlerinden bütünleşik kontrol ile geri besleme metodu ve sınırlandırılmış ayar diyagramları birlikte kullanılarak, süreç izleme ile süreç ayarlama faaliyetleri bütünleşik olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm bu hesaplamalar için kullanılan yöntemlerin literatürde yer alan teorik hesaplama adımlarına bağlı kalınmıştır.

3.1.UYGULAMA ALANI VE SÜRECİN TANIMLANMASI

Bir oyun hamuru üretim firmasının üretim süreci incelenerek üretim esnasında oluşan varyasyonu en aza indirmek için İSK'nın giderilebilir nedenleri tespit etme yeteneği ve MSK'nın sürecin hedeften sapma bilgilerini kullanarak süreci ayarlama yeteneğinin varlığı ve buna bağlı olarak süreç varyasyonunun azalması ve sürecin performansının artması için bütünleşik İSK/MSK sistemi tasarlanmıştır.

Önerilen bütünleşik İSK/MSK sistemi iki bölümden oluşmaktadır. İlk aşama İSK faaliyetlerini kapsamaktadır. Kalite karakteristiğinin belirlenmesi, sürecin mizacının anlaşılması, sürecin izlenmesi, süreç girdi ve çıktıları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi de bu bölümde yer almaktadır. İkinci aşama ise çoğunlukla MSK faaliyetlerinin olduğu bölümdür. Süreç dinamiklerinin belirlenmesi, teorik ayar denklemi oluşturulması, MSK yöntemi seçimi ve süreç ayarlama faaliyetleri ise bu bölümde yer alan adımların bazılarıdır. İkinci aşama ayarlanmış sürecin EWMA kontrol diyagramı ile takibiyle son bulur.

Önerilen bütünleşik İSK/MSK sistemi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Önerilen bütünleşik İSK/MSK sistemi.

Bütünleşik bir sistem kurulması için sürecin geçmiş verilerinden yararlanmak gerekmektedir. Geçmiş süreç verilerini izleme, “Süreç İzleme Öncesi Faaliyetler” olarak tanımlayabiliriz. Süreç gerçekleşirken süreci izleme ise “Süreç İzleme Esnasındaki Faaliyetler” olarak tanımlanabilir.

Tablo 3.1: Süreç izleme öncesi ve esnasındaki faaliyetler.

Süreç İzleme Öncesi Faaliyetler	Süreç İzleme Esnasındaki Faaliyetler
<ul style="list-style-type: none"> • İzlenecek kalite karakteristiklerinin belirlenmesi • Geçmiş süreçlerden verilerin elde edilmesi • Sürecin modellenmesi ve seçilen kalite karakteristiğinin optimizasyonu • Belirlenen kalite karakteristiği için kontrol diyagramlarının çizilmesi • Süreç hakkında mühendislik bilgilerinin öğrenilmesi ve MSK uygulanabilirliği 	<ul style="list-style-type: none"> • Çevrimiçi süreç ölçümleri • Kontrol dışı durumların tespiti ve bütünleşik İSK/MSK ile teşhisi • Kalite karakteristiği değerleri kontrol dışı işe süreç ayarlamalarının yapılması ve kontrol diyagramlarının güncellenmesi

Firma çocukların gelişimi için önemli eğitim araçlarından biri olarak kabul edilen oyun hamuru üretmektedir. Çocukların hamuru yiyebilme ihtimalleri olduğundan gıda ürünü üretim koşullarında üretim yapılmaktadır. Oyun hamurunun ana hammaddeleri; su, un, tuz, nişasta, yağlar, boya ve koruyuculardır. Hamurun en önemli kalite karakteristiği Tekstür Profil Analizi (TPA) değeridir, bu değer çocukların hamuru oynayabileceği hamurun sertlik, doku ve yapısını temsil eden yumuşak, sert ve elastik olma durumunun teknik ismidir. TPA değerinin birimi G-Kuvveti x Metredir ve kısaca GM ile gösterilmektedir.

TPA değeri hamurun mekanik ve yapı özelliklerini içeren en önemli kalite karakteristiğidir. TPA genellikle gıda ürünleri üretim sürecinde yapılan bir analizdir. Hatta gıda ürününün tüketici tarafından kabul edilmesi için en önemli olan kalite özelliğidir. Örneğin bir gıda ürününün TPA özelliği üretim ve kalite birimine doğru ürün hakkında bilgi sunmaktadır. Bir gıda ürününün elastikiyet, dayanıklılık, dağılılabilirlik, yapışkanlık, sertlik, gevreklik, yumuşaklık ve çiğnenebilirlik özelliği gibi bir çok karakteristiğini kapsayan terime tekstür denilmektedir (Ertaş ve Doğruer, 2010).

Oyun hamuru üretim sürecinden tekstür analizi değeri tekstür cihazı yardımıyla ölçülmektedir. Firmada, test “Texture Analyzer TA. HDi 500” cihazı ile gerçekleştirilmektedir. Karışım kazanından alınan numune tekstür cihazının ölçüm plakaları arasına yerleştirilir. Ölçüm plakasına yerleştirilen hamura cihazın ölçüm çubuğu otomatik olarak saplanır ve ölçüm yapılır. Ölçülen değer cihazın ekranından okunmaktadır. Bu işlem oyun hamurunun o an ki

özelliklerine bağlı olarak 5 ile 10 saniye arasında sürmektedir. Hamur için TPA testi cihazda Tablo 3.2’de görülen başlangıç ayarları yapılarak başlatılmaktadır.

Tablo 3.2: TA. HDi 500 tekstür cihazı ön hazırlık ayarları.

Testi Ön Başlatma Hızı	0,50 mm / sn
Test Süreci Hızı	0,50 mm / sn
Test Bitiş Hızı	10.00 mm / s
Mesafe	4.0 mm
Kuvvet	40 g
Süre	0.10 s
Yük Hücresi	5 Kg
Tetikleme Tipi	5 g

Şekil 3.2’de kullanılan tekstür cihazı görülmektedir.



Şekil 3.2: TA. HDi 500 tekstür cihazı (Ertuş ve Doğruer, 2010).

Süreç tamamladığında ilk 5 dakika içinde alınan numunenin TPA değeri, spesifikasyon değerleri arasında değilse tüm kazan israf olmaktadır. Fakat çalışanlar üretim sırasında aldıkları TPA değerlerinde bir anormallik sezdiklerinde kazana su ya da un ekleyerek bu değeri düzeltmeye çalışmakta ve çok düşük oranla başarılı olabilmektedirler. Bu nedenle sürece bütünleşik bir İSK/MSK sisteminin kurulması süreç varyasyonunu azaltarak TPA değerini hedef değer etrafında tutup verimliliği artıracaktır.

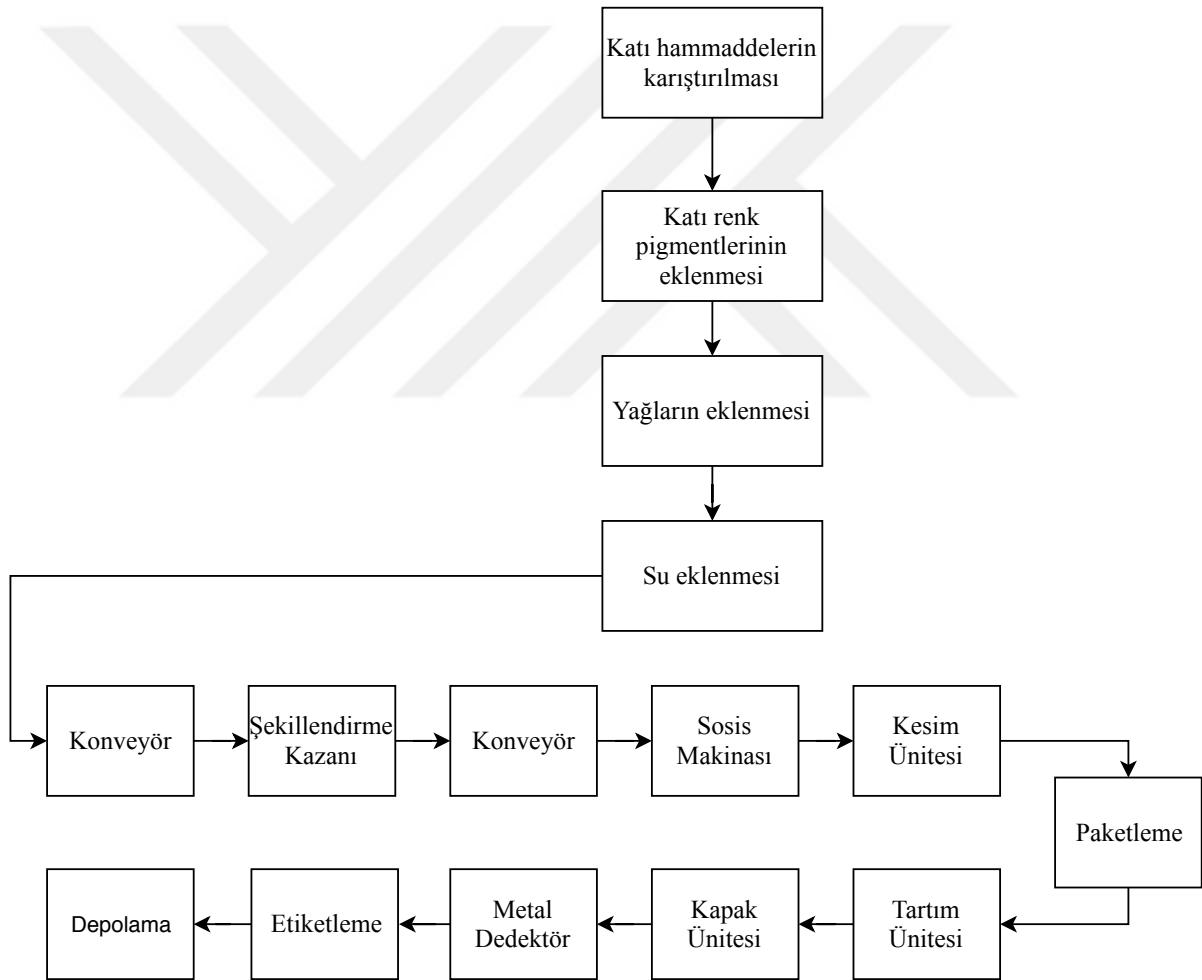
3.2.ÇEVİRİM DIŞI SÜRECİN İZLENMESİ

Sürecin yapısının öğrenilmesi ve analiz edilmesine çevrimdışı izleme denilmektedir. Sürecin analiz edilmesinin temel nedeni kalite gereklilikleri ve performans arasındaki ilişkiyi görebilmeyi ve süreçte varyasyona sebep olan kalite karakteristiğinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Oyun hamuru üretiminde ilk aşama hamurun hammaddelerinin bir kazan içinde karıştırılmasıdır. İlk aşamada tüm katı hammaddeler kazanda 2 dakika boyunca karıştırılır. Daha sonra kazana 3. dakikanın sonunda renk pigmenti eklenir. Renk pigmentinin karışım

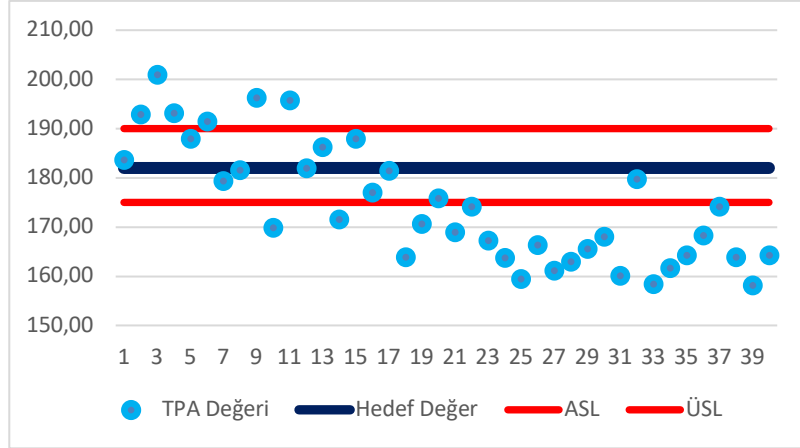
süreci tamamlandıktan sonra 4. dakikada formüldeki yağlar belirli oranlarda eklenir. Yağlardan sonra 5. dakikada karışıma su dahil edilir ve karışımın tamamı 21 dakika kazanda karıştırılır. Toplam karışım süreci 26 dakika sürmektedir.

Kazanda karışan hamur için karışım süreci tamamlandığında ilk yapılan işlem numune alıp TPA değerinin ölçülmesidir. Bu değer daha önce anlatıldığı gibi çocukların hamuru oynayabilmesi için gerekli olan en önemli değerdir ve firma Ar-Ge mühendisleri tarafından 175-190 GM aralığında olduğu zamanlarda TPA değerinin kabul edilebilir olduğu söylenmiştir. Hedeflenen değer ise 182 GM'dir. Oyun hamuru üretim süreci Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Üretim süreci akışı.

Bir üretim süreci sırasında numunelerden elde edilen TPA ölçüm değerlerindeki değişkenlik Şekil 3.4'de gösterilen grafikte görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere, ölçülen TPA değerleri spesifikasyon limitleri dışına çıkmış ve hedef değerden oldukça uzaklaşmıştır.



Şekil 3.4: TPA değeri dalgalanmaları.

Kalite karakteristiği ölçümleri ve istenen tasarım değerleri çevrim dışı belirlendikten sonra süreç esnasında operatör tarafından değişkenlik fark edildiğinde sürecin o anki ilerlemesine göre bazı ayarlamalar yapılmaktadır. Fakat değişkenliği fark etmek operatörün algısına bırakılmamalıdır. Tecrübeli bir operatör değişkenliği kolayca anlayabilecekken daha tecrübesiz bir operatör süreçteki anormalliği fark edemeyebilir. Bu nedenle değişkenliğin fark edilmesi ve gerekli ayarlama faaliyetlerinin yapılabilmesi için oyun hamuru üretim sürecine bütünleşik bir İSK/MSK sistemi kurulacaktır.

Oyun hamuru üretim süreci izlendiğinde elde edilen gözlem sonuçları ve üretim mühendislerinden alınan bilgiler değerlendirildiğinde, çıktı TPA değerinin hedefte tutulması için süreç devam ederken bazı ayarlamalar yapılmasına karar verilmiştir. Fakat bu ayarlamaların çıktı üzerinde etkili olup olmayacağı süreç devam ederken ölçülen TPA değerlerinin sürecin çıktısı üzerinde etki oluşturup oluşturmadığına bağlıdır. Başka bir ifadeyle sürecin belirli zamanlarında ölçülen TPA değerleri süreç çıktısındaki TPA değeri ölçümünde etkili olup olmadığının belirlenmesi süreç içinde yapılan ayarlamaları anlamlı hale getirecektir.

Bu nedenle 30 farklı parti için sürecin belli zamanlarında TPA değerleri kaydedilmiş ve çıktı TPA değeri üzerindeki anlam derecesini ve arasındaki ilişkiyi regresyon denklemi aracılığı ile görmek için bu değerler kullanılmıştır. Sürecin 6'ncı dakikasında ölçülen TPA değeri TPA6, 18'nci dakikasında ölçülen TPA değeri TPA18, 24'ncü dakikasında ölçülen TPA değeri TPA24 ve süreç çıktısında ölçülen TPA değeri TPACikti olarak tanımlanmıştır. Bu veriler Tablo 3.3'den görülebilir.

Tablo 3.3: TPA değerleri.

Parti No	TPA6	TPA18	TPA24	TPACikti	Parti No	TPA6	TPA18	TPA24	TPACikti
1	178	175	176	179	16	167	168	158	185
2	184	167	165	190	17	163	168	170	193
3	180	174	186	180	18	159	175	170	191
4	172	174	178	181	19	186	177	182	179
5	180	167	176	185	20	192	177	184	183
6	175	177	180	177	21	164	170	170	195
7	167	171	180	188	22	178	177	175	179
8	173	176	186	182	23	166	177	178	187
9	175	176	173	180	24	156	178	182	192
10	171	171	180	185	25	177	183	181	178
11	175	167	178	187	26	169	172	185	187
12	193	171	182	177	27	165	171	176	194
13	180	172	175	185	28	194	170	170	178
14	174	174	169	183	29	175	179	180	179
15	195	169	177	177	30	159	166	173	197

Çıktı değeri üzerinde girdilerin etkisini ve aralarında bağıın gücünü görebilmek için Minitab 19.1 (64 bit) paket programı Windows işletim sistemiyle kullanılmış ve Tablo 3.3’de görülen kalite karakteristiği değerleri için regresyon modeli kurulmuştur. Bu verilerle regresyon denklemi kurulmasının asıl amacı süreç esnasında herhangi bir zamanda ölçülen TPA değerinin, süreç çıktısı üzerinde etkisinin olup olmadığının görülmek istenmesidir.

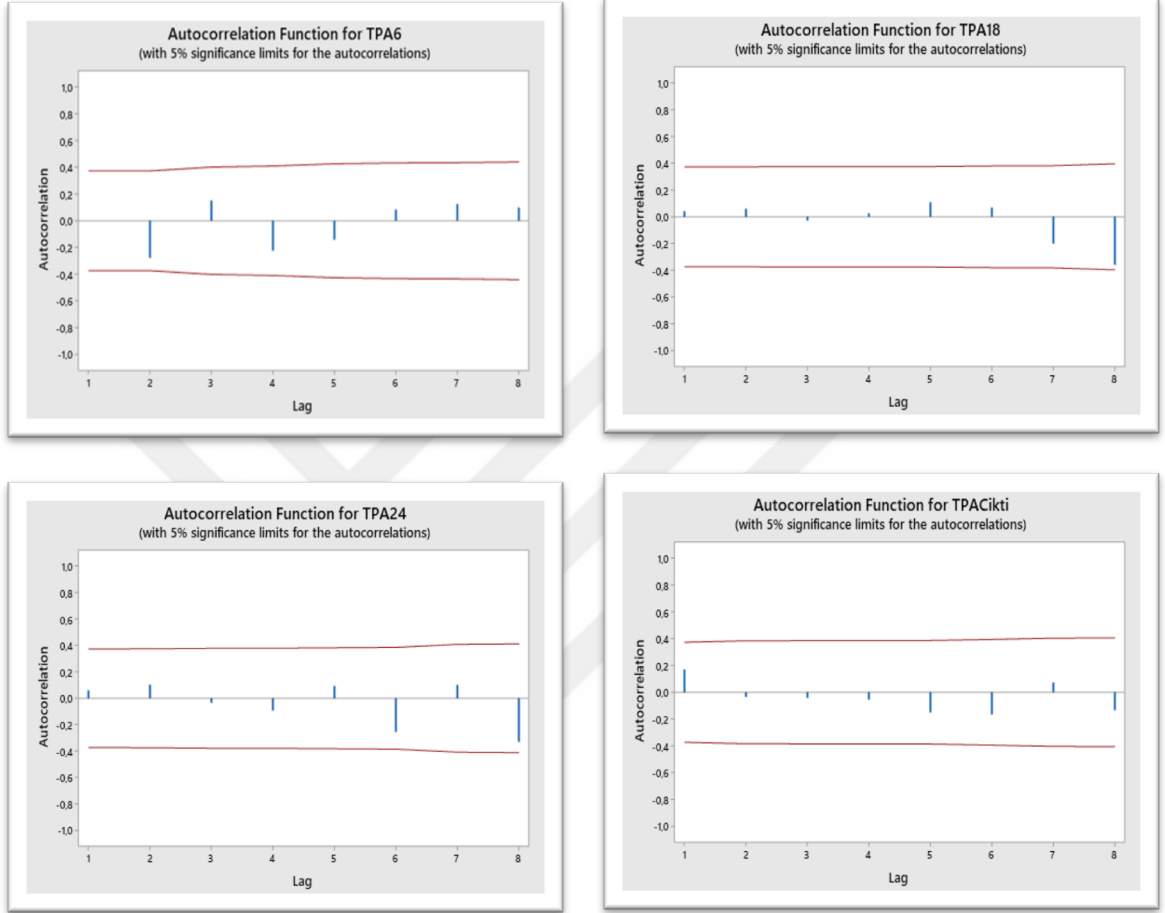
Bu modelin Regression Square Adjusted (R-Sq (Adj)) değeri %72,95. İstatistikçiler bu değerin %70 ve üzerinde olmasını istemektedirler. Süreç esnasında ölçülen TPA değerleri ve çıktı TPA değeri kullanılarak Minitab paket programı yardımıyla hesaplanan regresyon denklemi Denklem (3.1) ‘de görülmektedir.

$$TPACikti = -15,5 + 0,1606 TPA6 + 0,255 TPA18 + 0,667 TPA24 \quad (3.1)$$

3.2.1. Süreç Verilerinin Otokorelasyonu ve Normal Dağılıma Uygunluğu

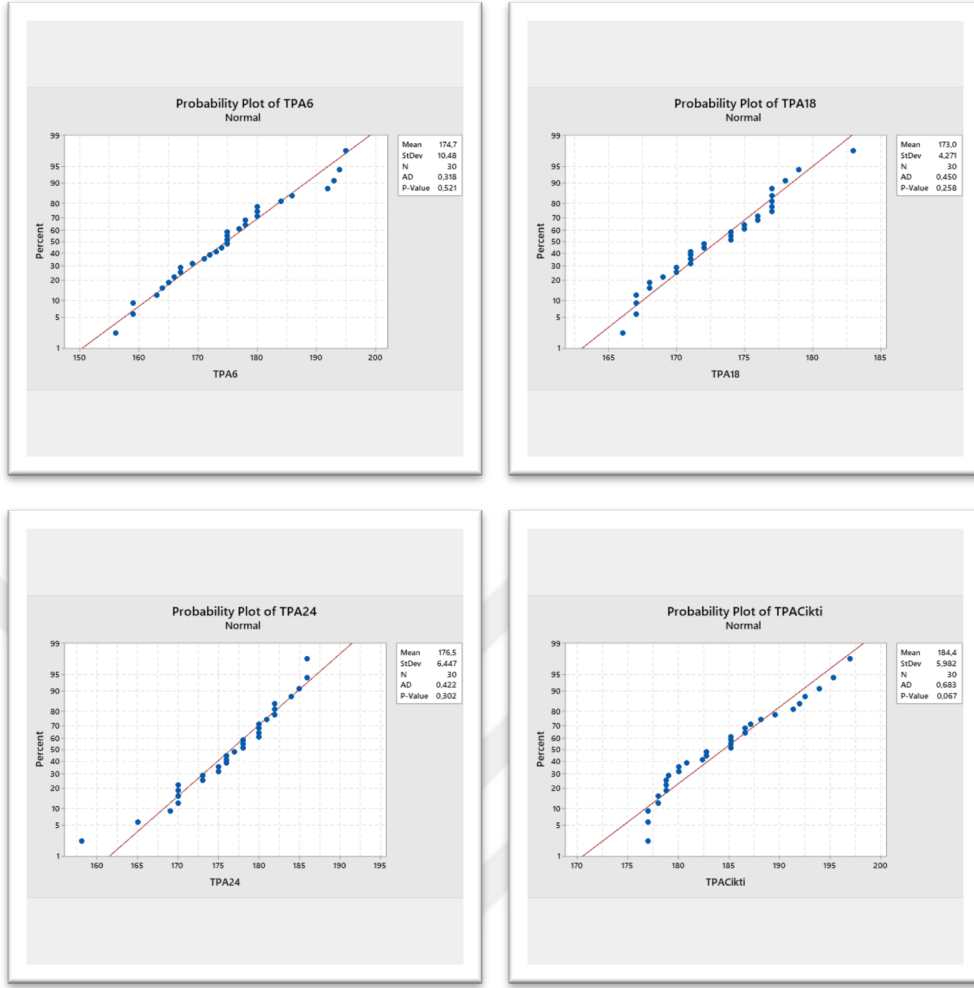
İstatistiksel süreç kontrol diyagramlarından yararlanabilmek için geçmiş süreçlerden elde edilen verilerin otokorelasyonu ve normalliği kontrol edilmelidir. Bu nedenle Minitab paket programı kullanılarak normallik ve otokorelasyon hesaplamaları yapılmıştır. Süreç içinde yapılması düşünülen ayarlama faaliyetlerinin süreç çıktısına etkileyip etkilemeyeceğini görmek için Denklem (3.1)’ görülen regresyon denklemi oluşturulmuştu. Bu işlem göz önüne alınarak, bu çalışma için verilerin normal ve otokorelasyonsuz kalması süreç kontrol diyagramlarıyla sürecin izlenebilmesini ve iyi sonuç alınmasını sağlayacaktır. Girdiler ve çıktı arasındaki ilişki

sürecin kontrol altında olduğu verilerle yapıldığında daha anlamlı sonuçlar vereceğinden verilerin normal ve otokorelasyonsuz olduğunu doğruladıktan sonra kontrol diyagramları kullanılacaktır. MINITAB paket programı kullanılarak otokorelasyon ve normal dağılım test edilmiştir.



Şekil 3.5: Seçilen girdi verileri ve çıktı değeri için otokorelasyon testi sonuçları.

Otokorelasyon testi sonuçlarına göre tüm veri setlerinin farklı gecikmelere göre otokorelasyona sahip olmadığı ve kabul edilebilir limitler içinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.6: Seçilen girdi verileri için normallik testi sonuçları.

Normal dağılıma uygunluk için kurulan hipotez testi tüm değişkenler için aşağıdaki varsayımlara sahiptir.

H_0 : Veriler normal dağılıma uygun

H_1 : Veriler normal dağılıma uygun değil

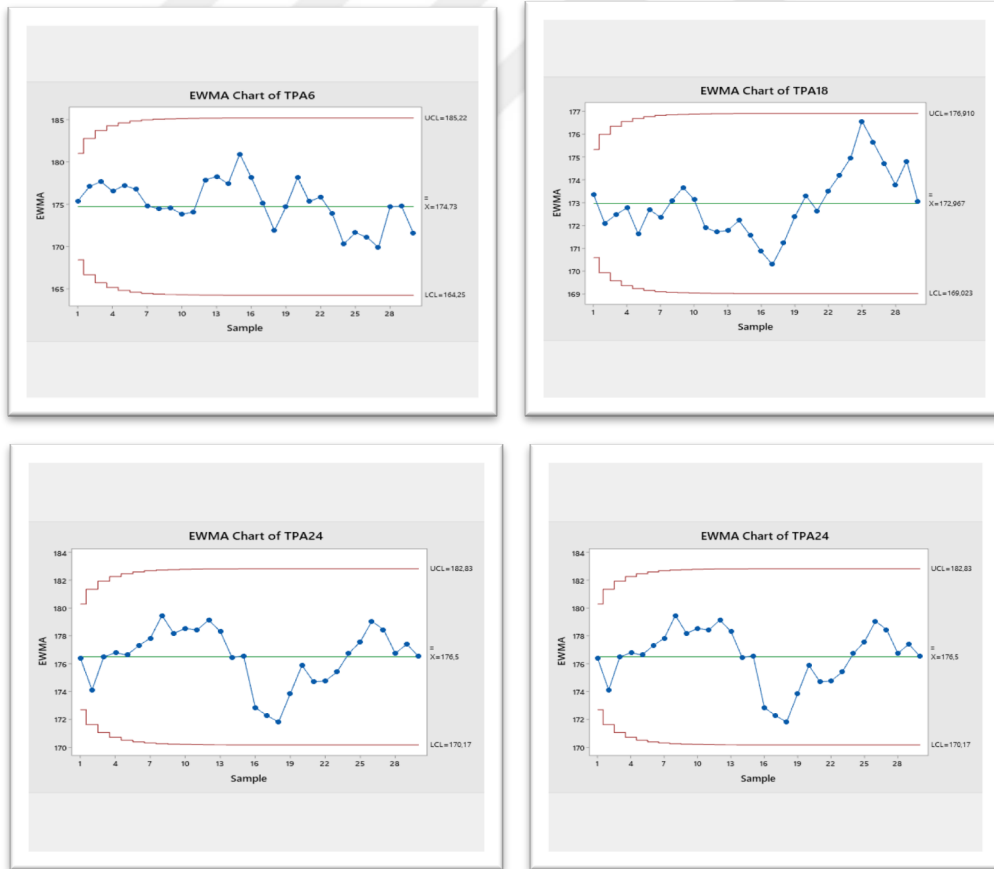
$\alpha = 0,05$

- “TPA6” değişkenin tekstür profil analizi değerlerinde; p-değeri=0,521>0,05 olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılır.
- “TPA18” değişkenin tekstür profil analizi değerlerinde; p-değeri=0,258>0,05 olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılır.
- “TPA24” değişkenin tekstür profil analizi değerlerinde; p-değeri=0,302>0,05 olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılır.

- “TPACikti” değişkenin tekstür profil analizi değerlerinde; p-değeri=0,067>0,05 olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılır.

3.3. ÇEVİRİM İÇİ SÜREÇ İZLEME VE ÖLÇME

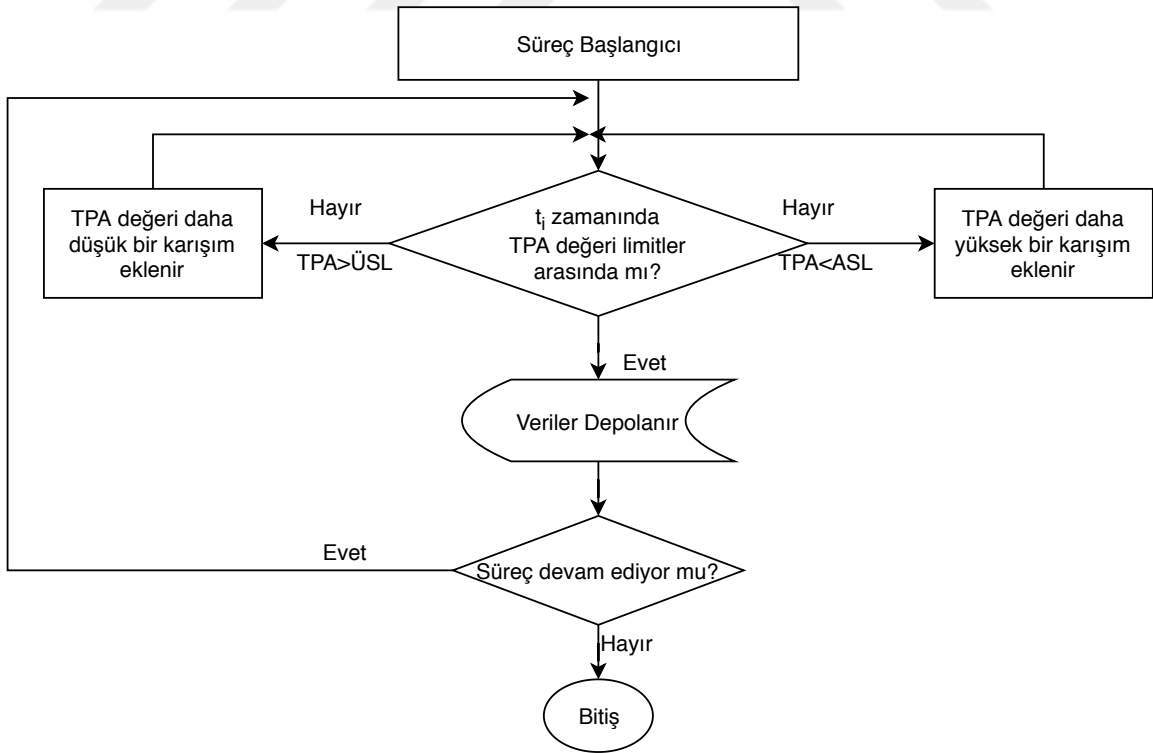
Seçtiğimiz dört girdi verisi için normallik ve otokorelasyon testleri yapıldıktan sonra EWMA kontrol diyagramları çizilmiştir. Bu aşama yeni süreçlerin gözlemlenebilmesi için gereklidir. EWMA kontrol diyagramının tercih edilmesinin nedeni ise bu kontrol diyagramının süreçteki küçük kaymalara Shewhart diyagramlarına göre daha iyi yanıt verebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Ayrıca tüm geçmiş ve mevcut durumu hesaba katması nedeniyle EWMA kontrol diyagramı normallik varsayımına duyarsızdır tek nokta ölçümleri için ideal sonuç vermektedir (Baray, 2008:198). Bu çalışmada dinamik bir süreçle çalışıldığından EWMA kontrol diyagramının bu özelliği üretimden gelecek normal olmayan veriler için de optimuma yakın sonuç verebilecektir.



Şekil 3.7: Girdi verilerinin EWMA diyagramları.

EWMA kontrol diyagramından alınan sonuçlara göre mühendislik süreç kontrol prosedürleri uygulanmalıdır. Örnek vermek gerekirse, eğer ölçülen TPA değeri spesifikasyon limitlerinin içindeyse sürece devam edilmeli, eğer değilse bazı ayarlayıcı faaliyetler yapılmalıdır. Fakat süreç dinamik bir karışım süreci olduğundan ölçülen değerlerin spesifikasyon limitleri dışında olması doğal olarak ayarlama yapılmalı düşüncesini getirir de pratikte bu uygulama zordur. Çünkü ölçülen değere göre değil gelecekte karşımıza çıkabilecek TPA değerine göre ayarlama yapmak daha doğru olacaktır. Çünkü süreç dinamiktir ve ölçülen değer sabit olarak aynı kalmamaktadır ve o an için ölçülenden değer artık t-1 zamanına ait geçmiş değer olmuştur.

Sürecin akışı incelendiğinde ayarlama faaliyetinin iki şekilde yapılabileceği görülmüştür. Karşılaşılabilecek ilk durum tahmin edilen TPA değeri üst spesifikasyon limitinden büyük olmasıdır. Bu durumda kazana TPA değerini düşürecek fakat ürün birleşimini bozmayacak daha düşük TPA değerine sahip bir karışım, kazana hesaplanan miktarda eklenir. İkinci durum ise tahmin TPA değerinin alt spesifikasyon limitinden düşük olmasıdır. Böyle bir durumla karşılaşıldığında ise; kazana TPA değerini yükseltecek daha yüksek TPA değerine sahip bir karışım hesaplanan miktarda kazana eklenir. Mühendislik süreç kontrol faaliyetleriyle yapılacak ayarlama Şekil 3.8’de şema halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Süreç ayarlama faaliyetleri akış şeması.

Literatürde yapılan uygulama çalışmalarının hemen hemen hepsi uygulama alanı olarak kimyasal süreçleri seçmiştir. Kimyasal süreçler seçilmeyen çalışmalarda ise bir bütünleştirme çerçevesi sunulup çalışma bitirilmiştir (Aljebory ve Alshebeb, 2014; Park, 2010; Saif, 2019). Kimyasal süreçlerin tercih edilmesinin nedeni ise bu tür süreçlerin kimyasal bir denkleme sahip olmalarıdır. Yapılan herhangi bir ayarlama faaliyetinin tesiri; kimyasal denklem yardımıyla girdide yapılan değişikliklerin çıktıdaki etkisiyle kolaylıkla görülebilmektedir.

3.3.1. MSK için Teorik Denklem Önerisi

Bu tez çalışmasında uygulama alanı olarak seçilen oyun hamuru üretim süreci fiziksel bir karışım sürecidir ve kimyasal bir denkleme sahip değildir. Bu nedenle süreç içinde yapılan ayarlama faaliyetlerini hesaba katıp çıktı TPA değerini hesaplamaya olanak sağlayan teorik bir denklem oluşturulmalıdır. Oluşturulacak teorik denklem çalışma için önem arz etmektedir. Bunun sebebi ise ayarlama faaliyetlerini hesaba katıp teorik denkleme hesaplanabilen TPA değeri ve gerçek süreç çıktısındaki TPA değerleri arasındaki ilişki, MSK yöntemlerinden GENEL KISIMLAR bölümünde anlatılan bütünleşik kontrol yönteminin uygulanabilmesine olanak sağlayacaktır. Bu iki veri setiyle oluşturulacak regresyon denklemi bütünleşik kontrol yönteminin süreç kazancı girdisini hesaplamak için gereklidir.

Süreç kazancı girdideki değişimin çıktı üzerindeki etkisini belirlediğinden regresyon katsayısıyla temsil edilebileceği bölüm 2.2.4. Dinamik ve Statik Modellerin Karşılaştırılması başlığı altında anlatıldığı gibi Box ve MacGregor (1976) tarafından önerilmiştir. MSK ile yapılacak ayarlama faaliyetleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Bu uygulama adımları ve firmada süreçten sorumlu kimya mühendisinin de görüşü alınarak Denklem (3.2)’de görülen teorik denklem oluşturulmuştur.

$$TPA_{\text{hesap}} = \frac{(v_{\text{mevcut}} * TPA_{\text{mevcut}}) + \sum_{i=1}^n (v_i * TPA_i)}{v_{\text{mevcut}} + \sum_{i=1}^n v_i} \quad (3.2)$$

Burada;

v_{mevcut} : Kazanda bulunan mevcut miktar

TPA_{mevcut} : Kazanda bulunan mevcut miktarın TPA değeri

v_i : i zamanında yapılan ayar faaliyeti için eklenen karışım miktarı

TPA_i : i zamanında yapılan ayar faaliyeti için eklenen karışım miktarının TPA değeri

TPA_{hesap} : Teorik denkleme hesaplanan TPA değeri

n : Yapılan ayar sayısı

Oluşturulan teorik denklem kazanda bulunan mevcut karışımın TPA değeri spesifikasyon limitleri dışında kaldığında kazana eklenecek daha düşük ya da daha yüksek TPA değerine sahip karışımı eklemek yoluyla yapılan ayarlama faaliyeti temel alınarak oluşturulmuştur. Teorik denklemin anlamını özetlemek gerekirse, hesaplanan TPA değeri karışım ekleme yoluyla yapılan ayar faaliyetlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak bulunmaktadır. Oluşturulan bu teorik formülle ayarlama yapılmış oyun hamuru kazanı için TPA değeri hesaplanabilecektir. Bu hesaplanan değerler ve gerçek süreç çıktıları arasındaki ilişkiyi kullanarak da bütünlük geri besleme ayarı denklemi kullanılarak süreçte yapılması gereken ayar miktarı hesaplanabilecektir. Denklem (3.2)'de görülen anlamlılığını kanıtlamak için sürece karışım ekleyerek yapılan ayarlamaların çıktıya etkisini gözlemlenmiştir. Kontrol operatörü kazana sadece tecrübelerine dayanarak eklediği sezgisel TPA değerlerine sahip karışımları not etmesi istenmiş ve bu değerlerle teorik denkleme göre TPA değeri hesaplanmıştır ayrıca sürecin gerçek TPA değeri de kayıt altına alınmıştır. Bu değerler Tablo 3.4'de görülmektedir.

Tablo 3.4: Gerçek ve teorik TPA değerleri.

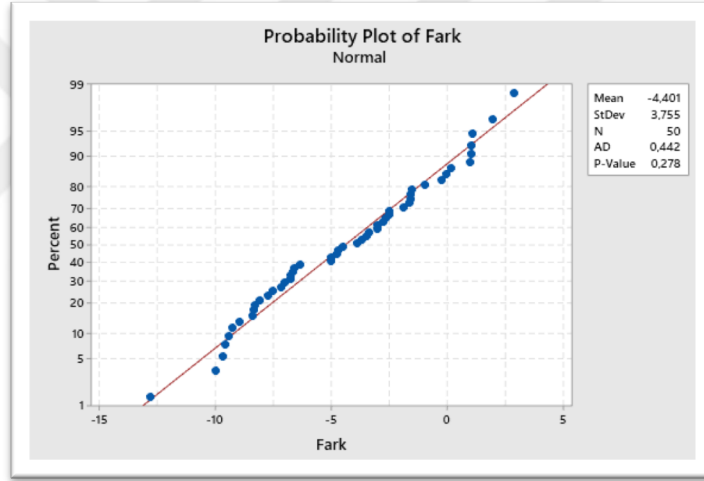
No	GerçekTPA	TeorikTPA	No	GerçekTPA	TeorikTPA
1	176,87	181,88	26	175,82	174,74
2	178,75	183,77	27	190,22	197,00
3	189,00	199,00	28	192,69	199,88
4	186,65	196,33	29	194,14	197,84
5	175,00	179,48	30	165,93	168,55
6	179,89	188,18	31	181,22	181,46
7	190,00	189,00	32	182,51	185,24
8	179,13	185,87	33	190,41	191,33
9	168,66	175,28	34	188,01	189,86
10	177,76	184,40	35	216,33	221,01
11	178,54	186,29	36	190,23	199,52
12	182,45	188,81	37	185,74	194,69
13	184,40	193,85	38	184,37	192,80
14	202,42	209,94	39	158,18	157,11
15	184,28	192,38	40	193,45	195,95
16	173,98	186,79	41	183,01	187,76
17	176,00	183,00	42	179,88	177,89
18	184,98	187,97	43	178,85	180,41
19	184,80	186,29	44	178,07	177,89
20	218,22	221,22	45	161,11	162,68
21	185,04	185,03	46	183,05	186,92
22	166,66	170,11	47	181,29	183,77
23	187,12	190,49	48	183,40	185,03
24	180,28	179,15	49	182,99	191,33
25	175,32	172,43	50	183,45	193,01

MINITAB paket programı yardımıyla gerçek süreç çıktıları ve hesaplanan değerler arasındaki ilişkiyi bulmak için kurulan regresyon denklemi, Denklem (3.3)'de görülmektedir.

$$\text{GercekTPA} = 21,96 + 0,8593 \text{ TPA}_{\text{hesap}} \quad (3.3)$$

Bu modelin Regression Square Adjusted (R-Sq (Adj)) değeri %90,18'dir, bu değer denklemin anlamlı bir ilişki ifade ettiğini gösterir. Bu denklemde $\text{TPA}_{\text{hesap}}$ değişkeni teorik denklemle hesaplanan değer, GercekTPA değişkeni ise süreçten elde edilen çıktı değeridir.

GercekTPA değeri diğer bir ifadeyle gerçek süreç çıktısı, olabildiğince hedef değere yakın olmalıdır. Kurulan regresyon denklemi için GercekTPA ve $\text{TPA}_{\text{hesap}}$ değerleri arasındaki farkın normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Fark serisinin normal dağıldığı Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9: Karakteristiğin gerçek ve teorik değeri arasındaki fark.

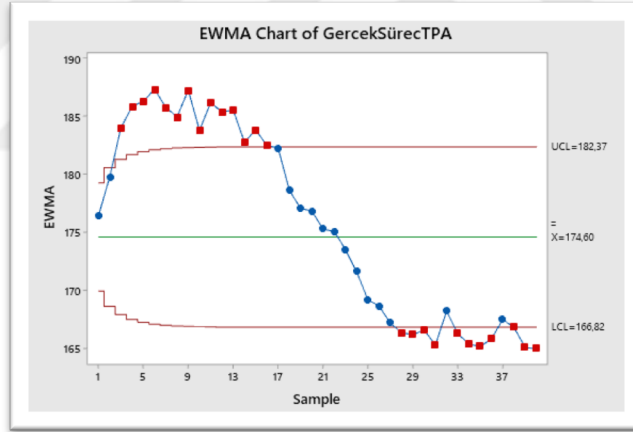
Beklenen hedef değer oyun hamuru Ar-Ge çalışmalarının sonucunda tasarım parametrelerinde 182 GM olarak belirlenmiştir.

3.3.2. Sürecin EWMA Kontrol Diyagramı ile İzlenmesi

Tablo 3.5: Gerçek süreçten alınan TPA gözlem değerleri.

Gözlem No	TPA Değeri (GM)	Gözlem No	TPA Değeri (GM)	Gözlem No	TPA Değeri (GM)	Gözlem No	TPA Değeri (GM)
1	183,74	11	195,84	21	169,06	31	160,15
2	193,00	12	182,02	22	174,24	32	179,83
3	201,02	13	186,34	23	167,33	33	158,47
4	193,25	14	171,65	24	163,87	34	161,80
5	188,06	15	188,06	25	159,55	35	164,36
6	191,52	16	177,10	26	166,46	36	168,42
7	179,42	17	181,47	27	161,28	37	174,24
8	181,72	18	164,01	28	163,01	38	164,00
9	196,42	19	170,78	29	165,60	39	158,27
10	169,92	20	175,968	30	168,19	40	164,42

Tablo 3.5’de verilen 40 gözlem değeri için EWMA kontrol diyagramı Şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10: Gerçek süreç çıktıları EWMA kontrol diyagramı.

EWMA kontrol diyagramını incelediğimizde süreçte kontrol limitleri dışına çıkan gözlemler olduğu görülmektedir. Tablo 3.5’de verilen zaman serisi verilerine ait hesaplanan temel istatistik sonuçları Tablo 3.6’da görülmektedir.

Tablo 3.6: TPA gözlem değerlerine ait temel istatistik değerleri.

Değişken	N	Ortalama	SE	Standart	Minimum	Medyan	Maksimum
			Mean	Sapma	Değer		Değer
GerçekSürecTPA	40	174,60	1,92	12,13	158,27	171,22	201,02

3.3.3. Dinamik Süreçler için Tahmin

Süreç verilerinde ayarlama yapabilmek için bir sonraki zamanda karşımıza gelebilecek TPA değerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Eğer tahmin edilen TPA değeri istenilen değerler arasında değilse hedef değere yaklaşması için MSK ile ayarlama yapılması gerekmektedir. Literatürde bu yöntem “Sınırlandırılmış Ayar Diyagramları” olarak bilinmektedir. Tezin 2. Bölümü olan genel kısımlarda bu konu anlatılmıştır.

Sınırlandırılmış ayar diyagramları süreçte her gözlem değerinden sonra ayarlama yapabilmeye imkân vermektedir. Kimyasal süreçler için bu uygulama ayar maliyetleri göz ardı edilebildiğinden daha kolaydır. Çünkü tek maliyet hedef dışı kalma maliyetidir. Bu ayarlamayı yapmanın farklı yöntemleri olabilir fakat bunlardan en takip edilebilir olanı sadece EWMA tahmin değerinin mühendislik kararlarıyla hesaplanan ($\pm SL$) sınırların dışında olduğu periyotlarda ayar yapılmasıdır (Montgomery,2012).

Örneğin süreçte ölçülen ilk TPA değeri 183,74 GM, ikinci TPA değeri 193,00 GM’dir. Daha sonraki ölçüm zamanında için bir ayarlamaya ihtiyaç olup olmadığını anlaşılabilmesi için dinamik sürecin bir gereği olarak bir sonraki TPA değerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. TPA değerinin tahmini için EWMA tahmin yöntemi seçilmiştir. Genellikle literatürde de bu tür ayar faaliyetleri için kullanılacak tahminler sıklıkla Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama (EWMA) tahmin yöntemi kullanılarak yapılmaktadır.

3.3.3.1. Neden EWMA Tahmin Yöntemi?

Bu yöntem literatürde Üstel Düzeltim Yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu çalışmada EWMA tahmin yöntemi olarak kullanılacaktır. Dinamik süreçlerde de bir sonraki zamanda karşımıza çıkacak değer bilinemez ve bu nedenle süreç verilerinin otokorelasyonlu olup olmadığını kesin olarak söyleyemeyiz. Montgomery ve Mastrangelo (1991), verilerin oluşturduğu seri otokorelasyona sahip olsa bile; EWMA yöntemiyle $t+1$ zamanı için tahmin edilen ölçüm değerlerinin kontrol diyagramlarıyla kullanabileceğini önermişlerdir. Ayrıca bu yöntemle yapılan tahminler ve gerçek veriler kullanılarak hesaplanan hata değerlerinin otokorelasyona sahip olmadığını ve normal dağıldığını göstermişlerdir.

Genel olarak, süreç yapısına göre gözlem değerleri otokorelasyonlu olarak ilişkilendirilirse ve süreç ortalaması çok hızlı bir şekilde kaymazsa, optimal λ değeriyle hesaplanan EWMA tahmin

değeri bir adım sonraki değeri bilmek için iyi bir sonuç verecektir. Literatürde tahmin yöntemleri ve zaman serisi analizi için bu yöntem uzun yıllardır ve sıklıkla kullanılmaktadır (Montgomery ve diğ., 2008).

MacGregor (1991), EWMA yaklaşımı ve mühendislik süreç kontrol yöntemlerinden PID (Oransal İntegral Diferansiyel) kontrolünün büyük ölçüde farklı olduğunu iddia etse de Box ve arkadaşları (1978), Montgomery ve Mastrangelo (1991), EWMA yaklaşımının PID kontrol tekniğine eşdeğer olduğunu bildirmişlerdir. Böylece EWMA yaklaşımı bir kontrol yöntemiyle birlikte kullanılabilir en iyi tahmin yöntemi olarak görülmektedir.

Ayrıca her sürecin yapısı zaman serisi modeli geliştirmek için uygun değildir ya da üretim mühendisinin süreç dinamikleri hakkında zaman serisi modeli geliştirecek kadar bilgisi olmayabilir. Bu nedenle sonraki adımın gözlem değerinin tahmin edilerek bulunması çözüm olarak düşünülebilir.

Bu çalışmaların ışığında, birinci dereceden süreç dinamiklerine sahip birçok sürecin EWMA tahminleriyle iyi temsil edilmesi beklenir ve açıklanan koşullar altında EWMA tahminleri, bir zaman serisi yaklaşımı olan istatistiksel süreç izleme prosedüründe kullanılabilirler. Süreç izleme bir adım ilerisi için yapılan tahminlerde oluşan hataların kontrol diyagramları aracılığıyla takibiyle de yapılabilmektedir.

Süreçteki küçük kaymaları görmek için hata değerleriyle oluşturulan Shewhart kontrol diyagramları yetersiz kalabilmektedir (Bissel, 1994). Bu nedenle Montgomery (2012), hassasiyeti arttırmak için, Shewhart kontrol diyagramları yerine CUSUM veya EWMA kontrol diyagramları kullanılmasını tavsiye etmiştir.

Bu görüşlere karşıt bir görüş olarak, Tseng ve arkadaşları (2003), EWMA'nın bazı süreçler için optimal bir tahmin yöntemi olmadığını, otokorelasyonu tamamen hesaba katmayacağını ve bu durumun kontrol diyagramlarının istatistiksel performansını etkileyebileceğini not olarak düşmüşlerdir.

3.3.4. EWMA Tahmin Yöntemi Uygulama Adımları

EWMA Tahmin Yöntemi deneysel olarak ilk yöneylem araştırması çalışmaları yapan Robert G. Brown tarafından 1944'de kullanılmıştır. EWMA tahmin yöntemi zamana göre en yakın çıktılara yüksek ağırlık değeri vererek tahmin yaptığından literatürde kabul gören bir yöntem olmuştur. Zaman aralığı t 'ye kadar olan tahmin verisi içeren veri setleri göz önüne alındığında, EWMA z_t 'nin serinin bir sonraki değeri olan z_{t+1} 'in tahmini için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

EWMA yöntemi ile tahmin literatürde yer alan yöntemlerden en başarılılarından bir tanesidir. EWMA ismi ağırlıkların katlanarak azalmasından gelmektedir. Fikir, 1944'te ABD Donanması için Yöneylem Araştırması analisti olarak çalışan Robert G. Brown ile ortaya çıkmıştır. Brown, bu fikri, denizaltılarda ateşlemede kullanılan hız ve açıyı hesaplamak için kullanmıştır. 1950'lerde, bu yöntemi sürekli zamandan ayırık zaman serisine genişletmiş ve trend ve mevsimsellik ile ilgili terimleri de eklemiştir. Literatürde bu yönteme ilk başvuru yapılan çalışmalardan biri ABD donanması envanter sisteminde yedek parça talebini öngörmek için yapılmıştır. Bu çalışma 1956'da Amerika Yöneylem Araştırması Derneği'nin bir toplantısında sunulmuş ve Robert G. Brown'ın envanter kontrolü üzerine ilk kitabının temelini oluşturmuştur. Fikirler, Brown'ın ikinci kitabında daha da geliştirilmiştir. Aynı zamanlarda bağımsız olarak, Charles Holt ABD Deniz Araştırmaları Ofisi için üstel bir düzeltim yöntemi üzerinde çalışmıştır. Holt'un metodu, trendin ve mevsimsel bileşenlerin düzeltilmesinde Brown'ın yönteminden farklıdır. Peter Winters 1960'da Holt'un metotları için ampirik testler yapmış ve bu makalesiyle iyi tanınmıştır. Bu nedenle Holt'un metotları genellikle Holt-Winters'in metodu olarak adlandırılmaktadır fakat yöntemin bu şekilde adlandırılması bazı bilim adamları tarafından Holt'a yapılan bir haksızlık olarak görülmektedir (Hyndman ve diğ., 2008).

Trend ve mevsimsel etkilerin de modellendiği basit bir sınıflandırma Pegels tarafından yapılan çalışmayla üstel düzeltim literatürüne katkı sağlamıştır (Pegels, 1969). Box ve Jenkins, Roberts ve Abraham ve Ledolter bazı doğrusal üstel düzeltme tahminlerinin temelde ARIMA modellerine dayandığını göstermiş ve ARIMA'nın özel bir durumu olduğunu göstermek için örneklemiştir (Box ve Jenkins, 1970; Roberts, 1982) Brown ve Holt'un çalışmasına katkı olarak literatürde farklı türlerde EWMA yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada MSK aşamasında t+1'deki gözlem değerini tahmin edebilmek için EWMA tahmin yöntemi kullanılmıştır. MacGregor (1991) yaptığı çalışmada, EWMA yaklaşımı ve bütünleşik diferansiyel kontrolünün büyük ölçüde farklılık gösterdiğini ileri sürse de, Montgomery ve Mastrangelo (1991) yaptıkları çalışmalarında, EWMA ile tahmin yönteminin yaklaşımının Oransal Bütünleşik Diferansiyel (PID) kontrol tekniğine eşdeğer olduğunu göstermişlerdir.

Bu tez çalışmasında mühendislik süreç kontrolü hesaplamaları yapılırken t+1'de karşılaşılabilecek değerlerin hesaplanması gerekmektedir bu hesaplama EWMA tahmin yönteminin Brown'ın geliştirdiği şekliyle kullanılmasıyla elde edilmiştir

EWMA tahmin yöntemi için veri setinde, zaman serisinin t anındaki gözlem değeri y_t olarak tanımlanırsa, t anındaki tahmin değeri ise \hat{y}_t olarak tanımlanabilir. Gerçek gözlem değeri bulunduğu $y_t - \hat{y}_t$ tahmin hatası olarak tanımlanır. Brown'ın 1950'lerin ortalarında yaptığı çalışmasında EWMA tahmin yönteminde, önceki tahminler ve tahmin hatası kullanılarak yeni bir tahmin değeri hesaplanabilir. EWMA tahmin denklemi Denklem (3.4)'de görülmektedir.

$$\hat{y}_{t+1} = \hat{y}_t + \lambda (y_t - \hat{y}_t) \quad (3.4)$$

Bu denklemde λ sabit düzeltme katsayısıdır ve 0 ile 1 arasında değerler alabilmektedir.

Burada;

\hat{y}_{t+1} : t+1 anındaki üstel düzeltilmiş tahmin değeri

y_t : t anındaki gerçek gözlem değeri

\hat{y}_t : t anındaki üstel düzeltilmiş tahmin değeri

λ : Sabit düzeltme katsayısı

Yeni tahminin sadece eski tahminin yanı sıra son tahminde meydana gelen hatanın düzeltilmesi anlamına geldiği denklemden görülebilir. λ değerinin 1'e yakın bir değere sahip olması durumunda, yeni tahmin, bir önceki tahmindeki hata için önemli bir düzeltme içerir. Ters durumda ise bir önceki tahmindeki hatanın düzeltilme oranı daha azdır. EWMA tahmin denklemi şu Denklem (3.5)'de görüldüğü gibi de yazılabilmektedir.

$$\hat{y}_{t+1} = \lambda y_t + (1-\lambda)\hat{y}_t \quad (3.5)$$

Yeni tahmin değeri en yakın gözlem değerinin, λ ile, en yakın tahmin değerinin ise $(1-\lambda)$ ile ağırlıklandırılması ile elde edilmektedir. En son tahminin ve en son gözlemin ağırlıklı ortalaması olarak yorumlanabilir. Üstel düzeltmenin etkileri aşağıdaki gibi bileşenlerle değiştirilerek genişletilirse Denklem (3.6)'den daha kolay görülebilir;

$$\begin{aligned}\hat{y}_{t+1} &= \lambda y_t + (1-\lambda)[\lambda y_{t-1} + (1-\lambda)\hat{y}_{t-1}] \\ &= \lambda y_t + \lambda(1-\lambda)y_{t-1} + (1-\lambda)^2\hat{y}_{t-1}\end{aligned}\quad (3.6)$$

ve bu işleme Denklem (3.7)'de görüldüğü gibi \hat{y}_{t-1} 'in yerine \hat{y}_{t-2} koyarak devam ettirebilir.

$$\begin{aligned}\hat{y}_{t+1} &= \lambda y_t + \lambda(1-\lambda)y_{t-1} + \lambda(1-\lambda)^2y_{t-2} + \lambda(1-\lambda)^3y_{t-3} \\ &\quad + \lambda(1-\lambda)^4y_{t-4} + \dots + \lambda(1-\lambda)^{t-1}\hat{y}_1 + (1-\lambda)^t\hat{y}_1\end{aligned}\quad (3.7)$$

Bu denklemlerden yola çıkarak \hat{y}_{t+1} 'in katlanarak azalan ağırlıklar ile geçmiş gözlemlerin ağırlıklı hareketli ortalamasını temsil ettiği söylenebilir ve bu nedenle yöntem üstel düzeltim yöntemi adını almaktadır (Hyndman ve diğ., 2008).

Uygun bir sabit düzeltme katsayısı değeri seçmek için birçok teorik ve deneysel tartışma vardır. Büyük bir düzeltme sabiti daha iyi bir tahmin anlamına gelmemektedir örneğin büyük bir değer kullanmak büyük tahmin hatalarına neden olabilirken küçük bir değer de hızlı bir şekilde eğilime cevap vermemeye neden olabilir. Bu nedenle, düzeltme sabitinin değerine karar vermek çok önemlidir (Box ve Jenkins, 1970). Bazı çalışmalar sık sık en iyi tahminleri verdiği için düzeltme katsayısını 0,30'un üzerinde bir değer alınması gerektiğini önermektedir. 0,30'dan küçük bir değerinin önerildiğini ilk çalışma Gardner tarafından yapılmıştır (Gardner, 1985).

Ayrıca, tahmin etmekten ziyade eldeki verilerden optimum bir katsayı belirlemenin en iyisi olduğu sonucuna varılmıştır (Fildes ve diğ., 1998). Bu nedenle uygulamalarda, düzeltme katsayısı genellikle eldeki verilerle katsayı 0,1'den 0,9'a kadar denenerek ve gerçek gözlemlerle tahmin değeri arasındaki hatalar değerlendirilerek seçilmektedir.

Tahminleme yönteminin seçimi için literatürde bazı hata değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Ortalama Hataların Karesi (MSE), Ortalama Mutlak Sapma (MAD), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada MSK'da kullanılacak tahmin yöntemi literatürde verilen bilgiye göre EWMA tahmin yöntemi olarak seçildiğinden tahmin

yöntemini seçmek için hata değerlendirilmesi yapılmamıştır fakat EWMA tahmin yönteminde düzeltme katsayısının seçimi önemli olduğundan bu katsayının belirlenmesi için İzleme Sinyali Analizi (TS) kullanılmıştır. Bu analizin sonucuna göre en uygun katsayısı belirlenmiştir.

İkinci adımda tahmin yapılacak dönemin başlangıç değeri belirlenmelidir, çünkü EWMA tahmin denklemiyle hesaplama yapabilmek için t-1 anındaki tahmin değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değeri belirleme yöntemi literatürde bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır ve “başlatma sorunu” olarak bilinmektedir (Hyndman ve diğ., 2008).

Başlangıç değeri küçük bir değer seçildiğinde ve zaman serisi nispeten kısa olduğunda bu değerlerin ağırlığı oldukça büyük olabilir. Bu nedenle başlangıç değerinin seçimi düşünüldüğünden daha önemli hale gelir. Seçilen değere bağlı olarak, başlangıç değeri birçok gözlem için tahminlerin kalitesini etkileyebilir. EWMA kontrol diyagramlarında da bahsedildiği gibi literatürde bu değeri belirlemek için 3 yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem olarak başlangıç değeri sürecin hedef değeriyle aynı değer kabul edilebilir ve t-1 anındaki tahmin değeri hedef değere eşitlenebilir. İkinci yöntemde kimyasal süreçler ya da karışım süreçlerinde başlangıç değeri mevcut gerçek değer olarak kullanılabilir. Üçüncü olarak ise önceki verilerin ortalaması, EWMA'nın başlangıç değeri olarak kullanılır (Hyndman ve diğ., 2008; Montgomery, 2012).

Bu çalışmada uygulamadaki süreç bir karışım süreci olduğundan ve hedef değeri ilk tahmin değeri olarak kullanmak süreç için gerçeğe uzak değerler tahmin edebileceğinden ve karışım sürecinin yapısı esas alınarak düşünüldüğünde ilk tahmin değeri olarak sürecin gerçek değeri kullanılmıştır.

Montgomery ve Mastrangelo (1991), hatalar için kontrol diyagramları ile izleme sinyalleri adı verilen ilave bir prosedürlerin kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca, Brence ve Mastrangelo (2006) uygun şekilde tasarlanmış bir izleme sinyali analizinin, EWMA tabanlı yöntem ile birleştirildiğinde, iyi bir kontrol performansının ve kaymalar için yeterli tespit oranının elde edilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada sabit düzeltme kat sayısı seçimi; performans değerlendirme ölçütü, sürecin istatistiksel kontrol altında olup olmadığı, ortalamasının hedef değere yakınlığı ve izleme sinyali analizi gibi birçok faktör değerlendirilerek yapılmıştır.

EWMA tahmini değerleri Denklem (3.5) kullanılarak hesaplanacak ve izleme sinyaline göre en iyi λ değeri seçilecektir. EWMA değerleri hesaplanırken göz ardı edilmemesi gereken önemli bir husus bulunmaktadır. Hesaplanan EWMA tahmin değeri spesifikasyon limitleri dışındaysa süreçte bütünleşik kontrol yardımıyla ayarlama yapılacaktır. Ayar miktarı Denklem (2.32) kullanılarak hesaplanır. Bunun sonucu olarak eğer süreçte ayarlama yapıldıysa EWMA tahmini için kullanılacak t-1 zamanına ait gerçek gözlem değeri artık sürecin ayarlanmış değeri olacaktır. Bu nedenle iki işlemin senkronize olarak yapılması gerekmektedir.

İlk numunenin TPA değeri 183,74 GM'dir. Karşılaşılabilecek bir sonraki değerin tahmin edilmesi gerekliliğinden EWMA tahminin ilk değeri daha önce bahsedilen nedenlerden dolayı sürecin gerçek değeri seçilmiştir. Dolayısıyla İlk EWMA değeri 183,74 GM'dir ve bu değer spesifikasyon değerleri olan 175-190 GM aralığında olduğundan süreç için bir ayarlama faaliyeti gerekmemektedir. Süreçteki ikinci gerçek gözlem değeri 193,00 GM'dir. Denklem (3.5) kullanılarak EWMA tahmin değeri hesaplanır.

2. adım için EWMA;

$$\hat{y}_t = \lambda y_t + (1-\lambda)\hat{y}_{t-1} = 0,1 \times 193 + (1-0,1)183,74 = 184,67$$

İkinci EWMA tahmin değeri 184,67 olarak bulunmuş ve spesifikasyon değerlerine uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu değer limitler içinde kaldığından süreçte bir ayarlama gerek yoktur. 3.adım için de aynı işlem tekrarlanır. 2. EWMA tahmin değerine göre ayarlanan (bir ayarlama yapılmadığından ayar miktarı 0'dır ve gerçek süreç değeri toplanarak ayarlanmış süreç değeri bulunur) süreç değeri bir sonraki EWMA tahmini için girdi olacaktır. Bu adımda da Denklem (3.5)'den faydalanılarak tahmin değeri hesaplanır.

3. adım için EWMA;

$$\hat{y}_t = 0,1 \times 201,02 + (1-0,1)184,67 = 186,31$$

Hesaplanan 186,31 değeri spesifikasyon limitleri içindedir ve bu nedenle ayarlama faaliyetine gerek yoktur. Aynı işlemlere tüm gözlem değerleri için devam edilir. 25. Gözlem değeri için hesaplanan EWMA tahmin değeri spesifikasyon limitleri dışındadır bu nedenle bu adımda süreçte ayarlama yapmak için Denklem (2.32)'de görülen bütünleşik kontrol denklemi yardımıyla ayar miktarının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu denklemde görülen g parametresi süreç kazancıdır. Bu sistem için süreç kazancı teorik TPA ve gerçek TPA arasında kurulan regresyon denklemiyle bulunacaktır. Denklem (3.2)'de görülen oluşturulan teorik

denklemden hesaplanan Teorik TPA değerleri ve gerçek süreç çıktılarıyla ölçülen TPA değerleri arasında kurulan regresyon denklemi Denklem (3.3)'de verilmiştir.

$$\text{GerçekTPA}=21,96+0,8593 \text{ TPA}_{\text{hesap}} \quad (3.3)$$

$\text{TPA}_{\text{hesap}}$ değerinin katsayısı süreç kazancı olacaktır.

3.3.5. Bütünleşik Kontrol ile Ayar Miktarının Hesaplanması

Önerilen bütünleşik İSK/MSK sisteminde, bütünleşik kontrol yönteminin süreç modelinin deterministik kısmının doğru olup olmadığı ve EWMA ile tahmin yöntemi kullanılarak bulunan değerdeki rastgele oluşan tahmin hatasından bağımsız olarak süreçteki kaymanın iyi bir şekilde tahmin edilip edilmediğini gösterilebildiği öne çıktığından bu kontrol yöntemiyle ayarlama yapılması tercih edilmiştir. Ayrıca, bütünleşik kontrol süreç çıktısının hedeften sapmalarının ortalama kare hatasını en aza indiren optimal bir kontrol kuralıdır (Box ve Kramer, 1992; Luceno, 1993; Montgomery, 2009). Bu nedenle, İSK ile süreç ayarlama prosedürü birlikte düşünüldüğünde bütünleşik kontrol yöntemi iyi sonuç verecektir.

Bütünleşik kontrol ayarlanabilir girdi değişkenini mevcut ve önceki tüm çıktı değerlerinin hedeften sapmalarını ağırlıklandırarak ayarlayan bir geri besleme kontrol yöntemidir. Farklı bir ifadeyle ayarlanabilir değişkenin seviyesini, hedeften sapmanın tüm mevcut ve önceki süreç sapmalarının ağırlıklı bir toplamına eşit olacak şekilde ayarlar.

Mühendislik spesifikasyon değerleri bilindiğinde ve süreç çıktısının hedef değer etrafında kalması için ayarlama sadece EWMA tahmininin $\pm L$ tarafından verilen sınırların dışında olduğu zamanlarda yapılmaktadır. Bu sınır değer (L), hedef dışı kalma maliyetlerini ve ayarlamayı yapma maliyetini dikkate alarak genellikle mühendislik kararıyla belirlenir. Box ve Luceno (2012) bu durumu ayrıntılı olarak ele almış ve özellikle de L'nin belirlenmesi için maliyetlerin nasıl kullanılabileceğini ayrıntılı olarak çalışmışlardır (Montgomery, 2012).

Uygulama adımlarına devam edildiğinde, Denklem (3.3)'de verilen regresyon denklemindeki hesaplanan TPA değerinin katsayısı olan 0,8593 değeri süreç kazancıdır denklemden "g" değişkeniyle gösterilmiştir. Bütünleşik kontrol yönteminde ayar miktarını hesaplamak için gerekli olan kazanç değeri bu değerdir. Bölüm 2'de değinilen geri besleme ile bütünleşik kontrol yönteminde yapılması gereken ayar miktarı hesabı Denklem (2.32)'de gösterilmiştir. Yapılması gereken ayar miktarı;

$$x_t - x_{t-1} = -\frac{\lambda}{g} (y_t - T) = -\frac{\lambda}{g} e_t$$

y_t mevcut süreç çıktısı T ise hedef değeri göstermektedir. EWMA ile bulunan tahmin değerinin hedeften saptığı anda bu ayar denklemi kullanılarak ayar yapılmalıdır.

25. adım ayar miktarı hesaplanırsa;

$x_t - x_{t-1} = -\frac{0,1}{0,8593} (159,55 - 182) = 2,61$ olacaktır. Bu sonuç kontrol mühendisine ya da operatöre TPA değerinin 2,61 artırılması gerektiğini söylemektedir. Bu nedenle karışıma TPA değerini 2,61 arttıracak, TPA değerine sahip karışım oranlanarak eklenmelidir. Tüm gözlem değerleri için yapılan hesaplamalar Tablo 3.7'de görülmektedir.

EWMA tahmininin spesifikasyon değerleri dışında olduğu anlarda ayarlama yapılacağından ve ayar miktarı hesaplanacağından sınır dışı değerler tabloda koyu renkle vurgulanarak gösterilmiştir. Sürecin sonunda ayarlanabilir değişken için gerçek ayar değeri, t zamanlarındaki yapılan tüm ayarların kümülatif toplamıdır.

Tablo 3.7: $\lambda=0,1$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,1$	EWMA Tahmini $\lambda=0,1$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	184,67	0,00	0,00
3	201,02	201,02	186,31	0,00	0,00
4	193,25	193,25	187,00	0,00	0,00
5	188,06	188,06	187,11	0,00	0,00
6	191,52	191,52	187,55	0,00	0,00
7	179,42	179,42	186,73	0,00	0,00
8	181,72	181,72	186,23	0,00	0,00
9	196,42	196,42	187,25	0,00	0,00
10	169,92	169,92	185,52	0,00	0,00
11	195,84	195,84	186,55	0,00	0,00
12	182,02	182,02	186,10	0,00	0,00
13	186,34	186,34	186,12	0,00	0,00
14	171,65	171,65	184,67	0,00	0,00
15	188,06	188,06	185,01	0,00	0,00
16	177,10	177,10	184,22	0,00	0,00
17	181,47	181,47	183,95	0,00	0,00
18	164,01	164,01	181,95	0,00	0,00
19	170,78	170,78	180,84	0,00	0,00

Tablo 3.7 (Devam): $\lambda=0,1$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,1$	EWMA Tahmini $\lambda=0,1$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
20	175,97	175,97	180,35	0,00	0,00
21	169,06	169,06	179,22	0,00	0,00
22	174,24	174,24	178,72	0,00	0,00
23	167,33	167,33	177,58	0,00	0,00
24	163,87	163,87	176,21	0,00	0,00
25	159,55	159,55	174,55	2,61	2,61
26	166,46	169,08	174,00	1,81	4,42
27	161,28	165,70	173,17	2,41	6,83
28	163,01	169,84	172,84	2,21	9,04
29	165,60	174,64	173,02	1,91	10,95
30	168,19	179,14	173,63	1,61	12,56
31	160,15	172,71	173,54	2,54	15,10
32	179,83	194,93	175,68	0,00	15,10
33	158,47	173,57	175,47	0,00	15,10
34	161,80	176,90	175,61	0,00	15,10
35	164,36	179,46	175,99	0,00	15,10
36	168,42	183,52	176,75	0,00	15,10
37	174,24	189,34	178,01	0,00	15,10
38	164,00	179,10	178,12	0,00	15,10
39	158,27	173,37	177,64	0,00	15,10
40	164,42	179,52	177,83	0,00	15,10

Tablodan da görüldüğü 25. gözlemden itibaren 2,61 olarak bulunan ayar miktarı 26. Gerçek gözlem değerine etki ederek ayarlanmış süreç değerini $166,64+2,61=169,08$ yapmıştır. Kullanılan yöntem ve metotlarla uygulama akışının daha iyi anlaşılabilmesi adına $\lambda=0,1$ değerinin Bütünleşik İSK/MSK akışı adım adım bu bölümde anlatılmıştır. Fakat $\lambda=0,2$; $\lambda=0,3$; $\lambda=0,4$; $\lambda=0,5$; $\lambda=0,6$; $\lambda=0,7$; $\lambda=0,8$ ve $\lambda=0,9$ değeri için yapılan hesaplamalar, ayarlama sonuçları, metodoloji kapsamında ayarlanmış olan gözlem değerleri ve ayarlanmamış gözlem değerleri için çizilen İSK için gerekli olan EWMA kontrol diyagramları ve performans değerlendirmesi 4. Bölüm olan Bulgular bölümünde incelenecektir.

3.3.6. İzleme Sinyali Analizi

Tahmin değerinin yeterli olup olmadığına karar vermeyi sağlayan yöntemlerden biri izleme sinyali yöntemidir. Bu yöntemle izleme sinyali değeri, tahmin hatalarının toplamının mutlak sapmaların ortalamasına bölünmesiyle hesaplanır. İzleme sinyali formülü Denklem (3.8)' de verilmiştir.

$$TS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - z_i)}{MAD} \quad (3.8)$$

Bu denklemdaki değişkenler;

- TS : İzleme Sinyali
 y_i : Gerçek Gözlem Değeri
 z_i : Tahmin Değeri
MAD : Ortalama Mutlak Sapma
n : Gözlem Sayısı olarak tanımlanmışlardır.

TS değeri -6 ve +6 limitlerini aşıyorsa yapılan tahmin değerinin artı ve eksi işareti bağlı olarak az ya da fazla olduğu anlamına gelmektedir. TS değeri +6'dan fazlaysa genellikle gerçek değerlerden büyük değerler tahmin edildiğinin, eğer -6'dan küçükse gerçek değerlerden küçük değerler tahmin edildiğinin bir göstergesi ve istenmeyen bir durumdur. Hedeflenen amaç tahmin ve gerçek değerlerin aynı olması olduğundan sonuçların 0 çevresinde olması kullanılan yöntemin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği anlamına gelmektedir (Chopra ve Meindl, 2012).

Bu çalışmada izleme sinyali EWMA tahmin yönteminin hangi düzeltme sabitiyle daha iyi sonuç verdiğini bulmak için kullanılacaktır. Gerçek değerlerin tahmin değerleriyle karşılaştırılması yoluyla düzeltme sabitinin performansı bulunabilir. Kullanılan tüm düzeltme sabitleri için TS değeri hesaplanıp 0'a yakın olan TS değerine sahip düzeltme sabitinin iyi sonuç vereceği söylenebilir.

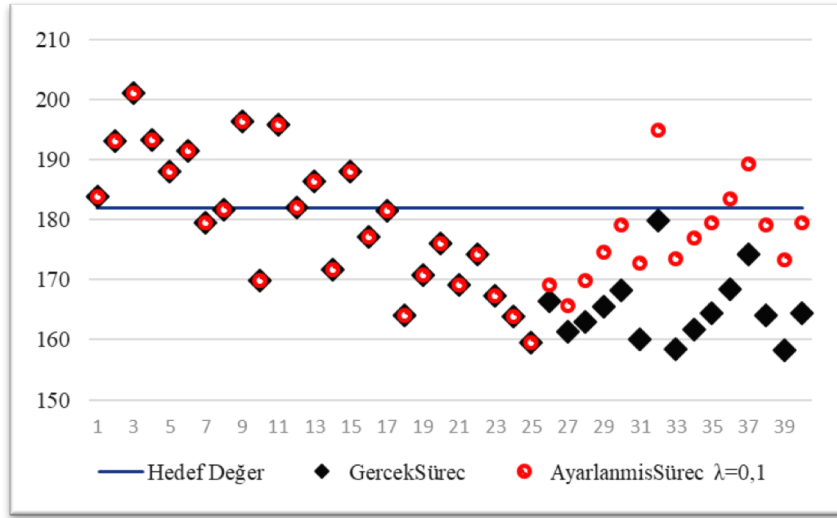
4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde üçüncü bölüm olan MALZEME ve YÖNTEM bölümünde önerilen Bütünleşik İSK/MSK sistemine ait oyun hamuru üretim sürecinden sağlanan bulgulara yer verilecektir. İSK aşamalarında kontrol diyagramlarının çizilmesi ve hipotez testlerinin sınanması için MINITAB V.19.1 istatistiksel paket yazılımı kullanılırken, MSK hesaplamaları için Microsoft Office 365 ProPlus Excel yazılımından faydalanılmıştır. Bütün hesaplamalar, Windows işletim sistemi ve OS X Mojave V.10.14.01 işletim sistemi kullanılarak 1.60 GHz Intel® Core™ i5 işlemcili Macbook Air bilgisayarda yapılmıştır.

4.1. $\lambda=0,1$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

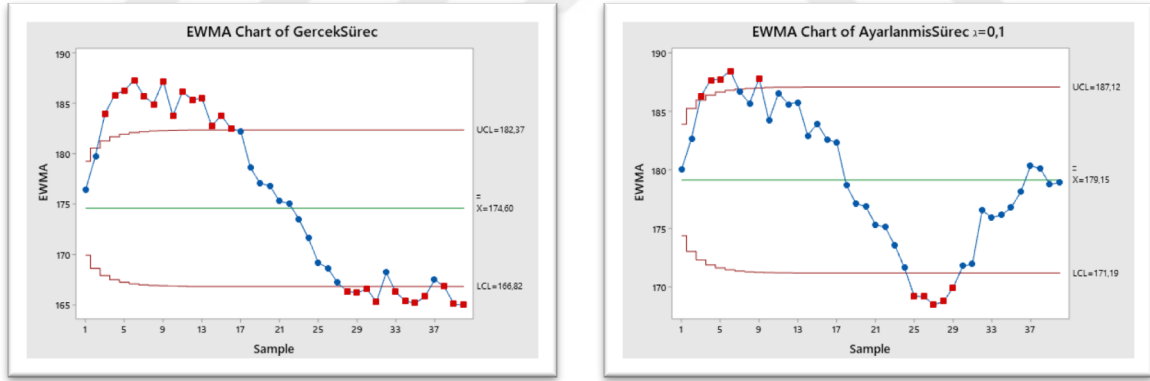
Önerilen sistemin uygulama adımları, ikinci bölümün son kısmında 0,1 düzeltme sabitini kullanarak adım adım hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sonucunda Tablo 3.7’de görüldüğü gibi $\lambda=0,1$ için EWMA tahmin değerlerinden 25’nci ve 31’nci gözlemler arasındaki tüm değerler spesifikasyon limitleri (ASL=175, ÜSL=190) dışında kaldığından bu yedi değer için ayarlama faaliyeti gerekmektedir. Denklem (2.32)’de verilen bütünleşik kontrol denkleminde faydalanarak ayar miktarları hesaplanmış orijinal süreç verileri ve ayar miktarı kullanılarak süreç verilerinin ayarlanmış değerleri hesaplanmıştır. Ayarlanmış süreç değerlerinin etkinliğinin takibi için öncelikle elde edilen zaman serisinin ortalama ve standart sapması hesaplanmış ve bu değerler ile orijinal gözlem değerlerinin ortalama ve standart sapmasının karşılaştırılmasıyla ayarlama faaliyetinin verimliliği hakkında bir fikre sahip olunmuştur.

Ayarlanmış sürecin ortalama ve standart sapması sırasıyla $\mu=179,15$ ve $\sigma=10,21$ olarak hesaplanmıştır. Müdahale edilmemiş süreç ortalaması ve standart sapması ise sırasıyla $\mu=174,60$ ve $\sigma=12,13$ ’dür. Düzeltme sabiti 0,1 iken ayarlama faaliyeti sonucunda süreç ortalamasının hedef değer olan 182’ye yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sürecin standart sapması da düşmüştür. Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası süreç verilerin hedef etrafındaki dağılımı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,1$).

Grafikten de görüldüğü gibi 26. değerden itibaren ayarlama faaliyeti sonucunda veriler büyük bir oranda hedef değere yaklaşmıştır fakat Bütünleşik sistemin amacı aynı zamanda süreci kontrol altında tutmak da olduğundan ayarlama önce ve sonrası için EWMA kontrol diyagramlarıyla sürecin istatistiksel takibinin de yapılmasına ihtiyaç vardır. Şekil 4.2’de ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası için çizilen EWMA kontrol diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.2: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,1$).

EWMA kontrol diyagramına göre süreçte gözle görülebilir bir iyileşme sağlanmıştır fakat süreç istatistiksel olarak kontrol altında değildir. Bütünleşik İSK/MSK sisteminin bir sonucu olarak yapılan ayarlama faaliyetinin başarılı kabul edilebilmesi için süreç kontrol altında olmalıdır. Bu nedenle hem EWMA tahminine hem de bütünleşik kontrolle geri besleme ayarına etki eden düzeltme sabitinin etkin seçilmesi önemlidir.

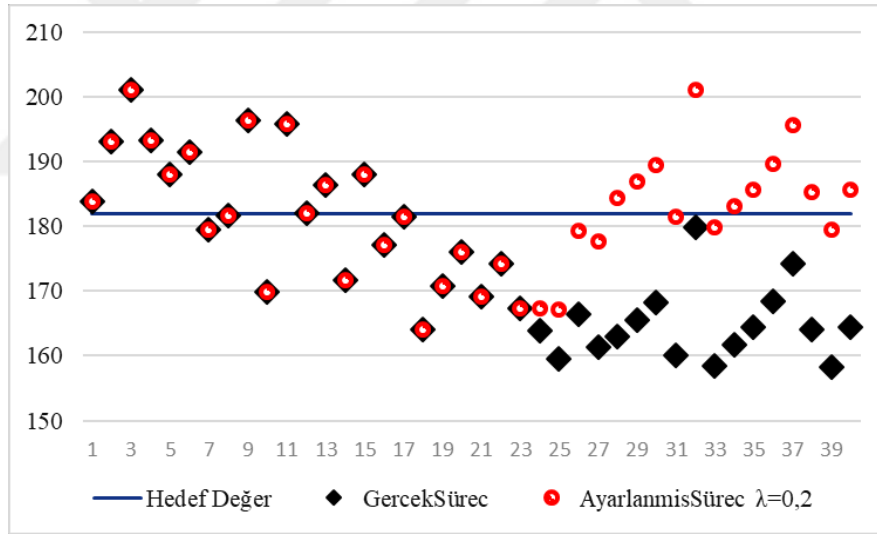
4.2. $\lambda=0,2$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

Malzeme ve materyal bölümünde önerilen Bütünleşik İSK/MSK sistemi kullanılarak tüm hesaplamalar düzeltme sabitinin $\lambda=0,2$; $\lambda=0,3$; $\lambda=0,4$; $\lambda=0,5$; $\lambda=0,6$; $\lambda=0,7$; $\lambda=0,8$ ve $\lambda=0,9$ kabul edildiği değerleri için de yapılmıştır. Süreç hedef çevresinde ve aynı zamanda kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır. $\lambda=0,2$ için yapılan hesaplamalar Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: $\lambda=0,2$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,2$	EWMA Tahmini $\lambda=0,2$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	185,60	0,00	0,00
3	201,02	201,02	188,68	0,00	0,00
4	193,25	193,25	189,59	0,00	0,00
5	188,06	188,06	189,29	0,00	0,00
6	191,52	191,52	189,73	0,00	0,00
7	179,42	179,42	187,67	0,00	0,00
8	181,72	181,72	186,48	0,00	0,00
9	196,42	196,42	188,47	0,00	0,00
10	169,92	169,92	184,76	0,00	0,00
11	195,84	195,84	186,98	0,00	0,00
12	182,02	182,02	185,98	0,00	0,00
13	186,34	186,34	186,05	0,00	0,00
14	171,65	171,65	183,17	0,00	0,00
15	188,06	188,06	184,15	0,00	0,00
16	177,10	177,10	182,74	0,00	0,00
17	181,47	181,47	182,49	0,00	0,00
18	164,01	164,01	178,79	0,00	0,00
19	170,78	170,78	177,19	0,00	0,00
20	175,97	175,97	176,95	0,00	0,00
21	169,06	169,06	175,37	0,00	0,00
22	174,24	174,24	175,14	0,00	0,00
23	167,33	167,33	173,58	3,41	3,41
24	163,87	167,29	172,32	4,22	7,63
25	159,55	167,19	171,29	5,22	12,86
26	166,46	179,32	172,90	3,62	16,47
27	161,28	177,75	173,87	4,82	21,30
28	163,01	184,31	175,96	0,00	21,30
29	165,60	186,90	178,15	0,00	21,30
30	168,19	189,49	180,41	0,00	21,30
31	160,15	181,45	180,62	0,00	21,30
32	179,83	201,13	184,72	0,00	21,30
33	158,47	179,77	183,73	0,00	21,30
34	161,80	183,10	183,60	0,00	21,30
35	164,36	185,66	184,02	0,00	21,30
36	168,42	189,72	185,16	0,00	21,30
37	174,24	195,54	187,23	0,00	21,30
38	164,00	185,30	186,84	0,00	21,30
39	158,27	179,57	185,39	0,00	21,30
40	164,42	185,72	185,46	0,00	21,30

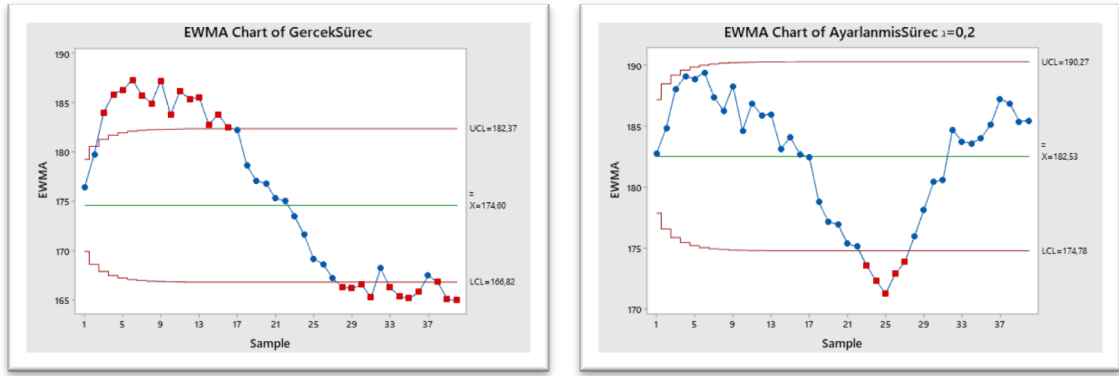
$\lambda=0,2$ için EWMA tahmin yöntemi, bütünleşik kontrol ve sınırlandırılmış ayar diyagramları yardımıyla bulunan ayar miktarına göre hesaplanmıştır ve dördüncü sütunda görüldüğü üzere spesifikasyon limitlerini aşan 5 adet EWMA tahmin değeri olduğundan ayarlama miktarı 5 kez hesaplanmış ve ayarlanan süreç verileri bulunmuştur. Başka bir ifadeyle elimizdeki süreç değerleri ve 0,1 düzeltme sabiti ile bu sürecin 5 defa ayarlanması gerekmektedir. İkinci ve üçüncü sütunda bulunan gerçek süreç değerleri ve ayarlanmış süreç değerlerinin ortalama ve standart sapması ayarlama faaliyetleri olmadan sırasıyla $\mu=174,60$ ve $\sigma=12,13$ iken ayarlama faaliyetleri sonucunda $\mu=182,53$ ve $\sigma=9,61$ olarak hesaplanmıştır. Değişen istatistik verilerinden de görüldüğü gibi Bütünleşik İSK/MSK sistemi metodolojisine uygun olarak ayarlanan sürecin TPA değerleri ortalaması hedef değer olan 182 GM'e daha fazla yaklaşmış ve standart sapması 2,52 düşmüştür. Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası süreç verilerinin hedef değerden sapmaları Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,2$)

Bunun sonucu olarak önerilen sistemin amacına uygun hizmet ettiği söylenilebilir fakat göz ardı edilmemesi gereken bir husus daha bulunmaktadır. Sürecin kontrol altında olup olmadığı da kontrol edilmeli ve ayarlanmış verilerin EWMA kontrol diyagramları aracılığı ile kontrol altında olup olmadığı izlenmelidir. Ek olarak karşılaştırma verisi elde edebilmek amacıyla ayarlanmamış süreçinde EWMA kontrol diyagramı çizilebilir.

MINITAB paket programı kullanılarak çizilen ayarlanmamış ve ayarlanmış süreç verilerine ait EWMA kontrol diyagramları Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,2$).

Şekil 4.4'den görüldüğü gibi $\lambda=0,2$ değeriyle yapılan hesaplamalar sonucunda ayarlanan süreç verileri kontrol limitleri sınırlarını aşmıştır fakat ayarlanmamış süreç değerleriyle çizilen kontrol diyagramı ile karşılaştırıldığında süreç ortalaması hedefe yaklaşmış ve kontrol dışı değerlerin sayısı 25'ten 5'e düşmüştür. Merkez çizgi spesifikasyonlarda belirtilen hedef değere yaklaşmıştır.

4.3. $\lambda=0,3$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

Malzeme ve yöntem bölümünde anlatılan adımlar izlenerek $\lambda=0,3$ için yapılan hesaplamalar Tablo 4.2 de verilmiştir. Bütünleşik İSK/MSK yöntemi kullanılarak 6 kez ayarlama faaliyeti yapılmıştır.

Tablo 4.2: $\lambda=0,3$ değeri ile süreç ayarlama.

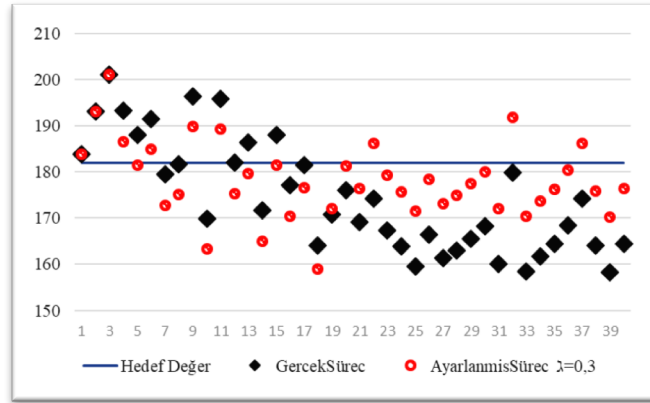
Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,3$	EWMA Tahmini $\lambda=0,3$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	186,52	0,00	0,00
3	201,02	201,02	190,87	-6,64	-6,64
4	193,25	186,61	189,59	0,00	-6,64
5	188,06	181,42	187,14	0,00	-6,64
6	191,52	184,88	186,46	0,00	-6,64
7	179,42	172,78	182,36	0,00	-6,64
8	181,72	175,08	180,17	0,00	-6,64
9	196,42	189,78	183,06	0,00	-6,64
10	169,92	163,28	177,12	0,00	-6,64
11	195,84	189,20	180,75	0,00	-6,64
12	182,02	175,37	179,13	0,00	-6,64
13	186,34	179,69	179,30	0,00	-6,64
14	171,65	165,01	175,01	0,00	-6,64
15	188,06	181,42	176,94	0,00	-6,64
16	177,10	170,46	174,99	1,71	-4,93
17	181,47	176,54	175,46	0,00	-4,93

Tablo 4.2 (Devam): $\lambda=0,3$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,3$	EWMA Tahmini $\lambda=0,3$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
18	164,01	159,08	170,54	6,28	1,35
19	170,78	172,13	171,02	3,92	5,26
20	175,97	181,23	174,08	2,11	7,37
21	169,06	176,43	174,79	4,52	11,89
22	174,24	186,13	178,19	0,00	11,89
23	167,33	179,22	178,50	0,00	11,89
24	163,87	175,76	177,68	0,00	11,89
25	159,55	171,44	175,81	0,00	11,89
26	166,46	178,35	176,57	0,00	11,89
27	161,28	173,17	175,55	0,00	11,89
28	163,01	174,90	175,35	0,00	11,89
29	165,60	177,49	176,00	0,00	11,89
30	168,19	180,08	177,22	0,00	11,89
31	160,15	172,04	175,67	0,00	11,89
32	179,83	191,72	180,48	0,00	11,89
33	158,47	170,36	177,45	0,00	11,89
34	161,80	173,69	176,32	0,00	11,89
35	164,36	176,25	176,30	0,00	11,89
36	168,42	180,31	177,50	0,00	11,89
37	174,24	186,13	180,09	0,00	11,89
38	164,00	175,89	178,83	0,00	11,89
39	158,27	170,16	176,23	0,00	11,89
40	164,42	176,31	176,25	0,00	11,89

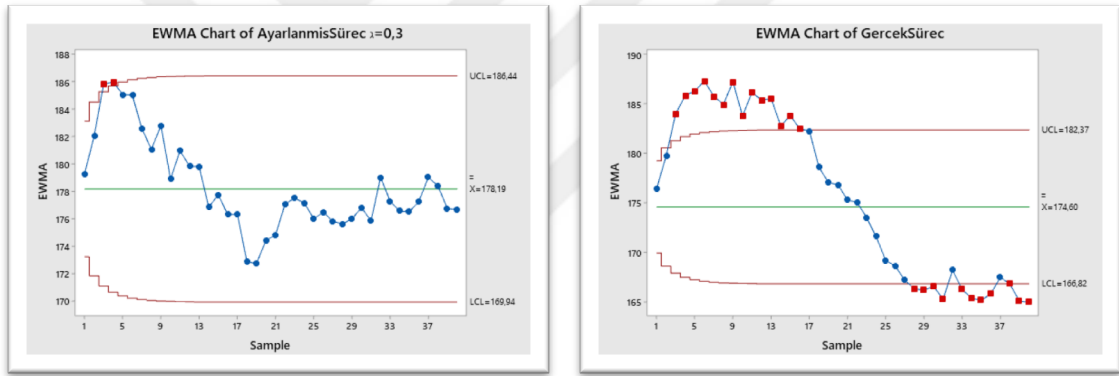
Bu ayarlama faaliyetleri sonucu ayarlanmış süreç değerleri hesaplanmış, süreç ortalaması ve standart sapması bulunmuştur. Ayarlanmış süreç ortalaması $\mu=178,19$ ve sürecin standart sapması $\sigma=8,30$ ' dur. Gerçek süreç verileriyle karşılaştırıldığında ayarlanmış sürecin ortalaması hedef değere yaklaşmış ve standart sapması düşmüştür.

Süreç ayarlanmadan önceki durumuyla kıyaslandığında ayarlanma faaliyeti ile bulunan süreç değerleri hedefe daha yakındır. Ayarlanmış süreç ve ayarlanmamış süreç verilerin hedefe olan uzaklıkları Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,3$)

Süreçin kontrol altında olup olmadığını izlemek amacıyla EWMA kontrol grafiği çizilmiştir. Karşılaştırma amacıyla Şekil 4.6'de yan yana verilen ayarlanmış süreç verileri ve ayarlanmamış süreç verilerine ait EWMA kontrol diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.6: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,3$).

$\lambda=0,3$ için ayarlanan süreç verileriyle çizilen EWMA kontrol diyagramı incelendiğinde, gerçek süreç verilerine göre iyileşme sağlandığı açıktır fakat hala kontrol altında olmayan veriler bulunmaktadır. Ayarlama yapmadan önce kontrol dışı 25 veri varken EWMA tahmin yöntemi ve bütünleşik kontrol için $\lambda=0,3$ değeri kullanılarak yapılan ayarlamalar sonucunda kontrol dışı 2 değer bulunmaktadır.

4.4. $\lambda=0,4$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

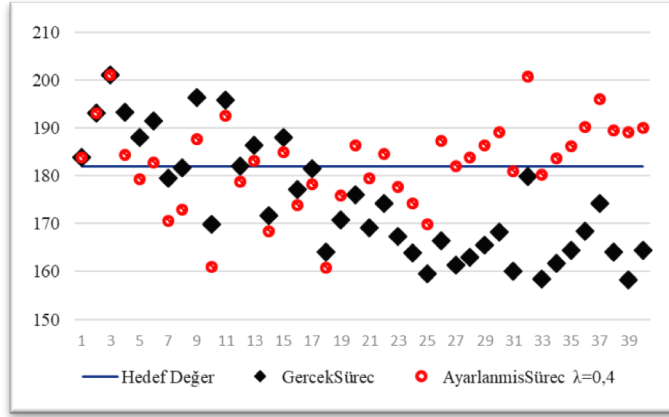
$\lambda=0,4$ değeri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3: $\lambda=0,4$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,4$	EWMA Tahmini $\lambda=0,4$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	187,45	0,00	0,00
3	201,02	201,02	192,88	-8,86	-8,86
4	193,25	184,39	189,48	0,00	-8,86
5	188,06	179,21	185,37	0,00	-8,86
6	191,52	182,66	184,29	0,00	-8,86
7	179,42	170,57	178,80	0,00	-8,86
8	181,72	172,86	176,43	0,00	-8,86
9	196,42	187,56	180,88	0,00	-8,86
10	169,92	161,06	172,95	5,62	-3,23
11	195,84	192,61	180,82	0,00	-3,23
12	182,02	178,78	180,00	0,00	-3,23
13	186,34	183,10	181,24	0,00	-3,23
14	171,65	168,42	176,11	0,00	-3,23
15	188,06	184,83	179,60	0,00	-3,23
16	177,10	173,87	177,31	0,00	-3,23
17	181,47	178,24	177,68	0,00	-3,23
18	164,01	160,78	170,92	8,38	5,14
19	170,78	175,93	172,92	5,22	10,36
20	175,97	186,33	178,29	0,00	10,36
21	169,06	179,42	178,74	0,00	10,36
22	174,24	184,60	181,09	0,00	10,36
23	167,33	177,69	179,73	0,00	10,36
24	163,87	174,24	177,53	0,00	10,36
25	159,55	169,92	174,48	10,45	20,81
26	166,46	187,28	179,60	0,00	20,81
27	161,28	182,09	180,60	0,00	20,81
28	163,01	183,82	181,89	0,00	20,81
29	165,60	186,41	183,70	0,00	20,81
30	168,19	189,01	185,82	0,00	20,81
31	160,15	180,96	183,88	0,00	20,81
32	179,83	200,64	190,58	1,01	21,82
33	158,47	180,29	186,47	0,00	21,82
34	161,80	183,62	185,33	0,00	21,82
35	164,36	186,18	185,67	0,00	21,82
36	168,42	190,24	187,50	0,00	21,82
37	174,24	196,06	190,93	3,61	25,44
38	164,00	189,44	190,33	8,38	33,81
39	155,27	189,08	189,83	0,00	33,81
40	156,14	189,95	189,88	0,00	33,81

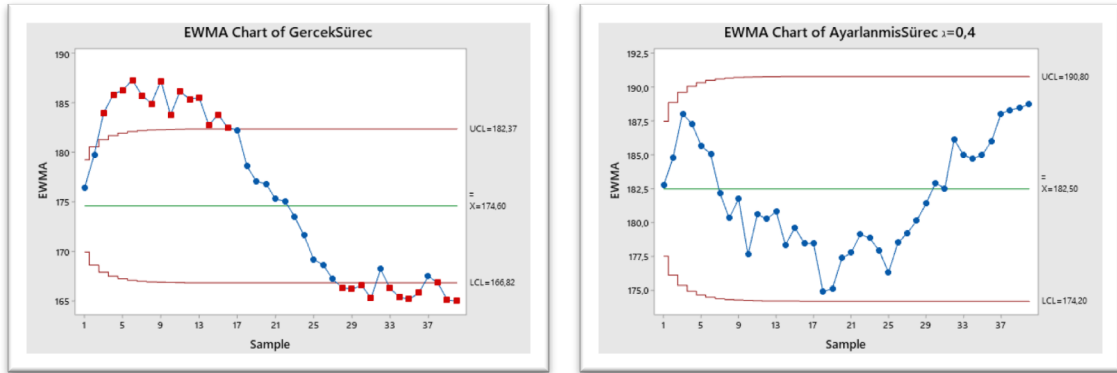
Tablo 4.3'ten görüldüğü gibi EWMA tahmin değerleri hesaplandığında 8 adet değer 175 olan ASL ve ÜSL limiti olan 190 değerini aşmıştır bu nedenle 8 kez süreçte ayar yapılması gerekmiş ve ayar miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ayar miktarları yardımıyla ayarlanmış sürecin istatistiki hesaplamaları yapılmıştır. Ayarlanmış süreç değerlerinin ortalaması $\mu=182,5$ ve sürecin standart sapması $\sigma=9,09$ olarak bulunmuştur. Ayarlanmış sürecin ortalama değeri,

hedef değere önceki düzeltme sabitleriyle yapılan hesaplara göre daha da yaklaşmıştır. Sürecin hedef değer etrafında kaldığı görsel olarak Şekil 4.7’de verilen diyagramdan da görülebilir.



Şekil 4.7: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,4$).

Ayarlanmış ve ayarlanmamış orijinal süreç verileriyle çizilen EWMA kontrol diyagramları Şekil 4.8’de verilmiştir. EWMA kontrol diyagramları incelendiğinde süreç ayarlama faaliyetlerinin başarılı olduğu görülmüştür. Ayarlanan süreç verilerinin hedef değer etrafına çekildiği, aynı zamanda sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu kesin olarak söylenebilir. Müdahale edilmemiş süreç fazla sayıda kaymaya sahipken ayarlama faaliyetleri sonucu süreç kontrol altında ve hedef değer etrafında kalmıştır.



Şekil 4.8: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,4$).

4.5. $\lambda=0,5$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

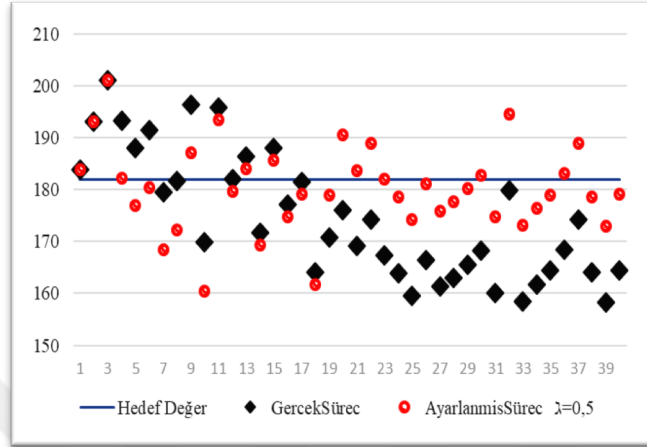
$\lambda=0,5$ değeri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4: $\lambda=0,5$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,5$	EWMA Tahmini $\lambda=0,5$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	188,37	0,00	0,00
3	201,02	201,02	194,70	-11,07	-11,07
4	193,25	182,18	188,44	0,00	-11,07
5	188,06	176,99	182,72	0,00	-11,07
6	191,52	180,45	181,58	0,00	-11,07
7	179,42	168,35	174,97	1,50	-9,57
8	181,72	172,15	173,56	0,16	-9,41
9	196,42	187,01	180,29	0,00	-9,41
10	169,92	160,51	170,40	7,03	-2,38
11	195,84	193,46	181,93	0,00	-2,38
12	182,02	179,64	180,78	0,00	-2,38
13	186,34	183,96	182,37	0,00	-2,38
14	171,65	169,27	175,82	0,00	-2,38
15	188,06	185,69	180,75	0,00	-2,38
16	177,10	174,73	177,74	0,00	-2,38
17	181,47	179,09	178,42	0,00	-2,38
18	164,01	161,63	170,02	10,47	8,09
19	170,78	178,87	174,45	6,53	14,62
20	175,97	190,58	182,52	0,00	14,62
21	169,06	183,67	183,09	0,00	14,62
22	174,24	188,86	185,98	0,00	14,62
23	167,33	181,94	183,96	0,00	14,62
24	163,87	178,49	181,22	0,00	14,62
25	159,55	174,17	177,70	0,00	14,62
26	166,46	181,08	179,39	0,00	14,62
27	161,28	175,90	177,64	0,00	14,62
28	163,01	177,62	177,63	0,00	14,62
29	165,60	180,22	178,93	0,00	14,62
30	168,19	182,81	180,87	0,00	14,62
31	160,15	174,77	177,82	0,00	14,62
32	179,83	194,45	186,13	0,00	14,62
33	158,47	173,09	179,61	0,00	14,62
34	161,80	176,42	178,01	0,00	14,62
35	164,36	178,98	178,49	0,00	14,62
36	168,42	183,04	180,77	0,00	14,62
37	174,24	188,86	184,81	0,00	14,62
38	164,00	178,62	181,71	0,00	14,62
39	158,27	172,89	177,30	0,00	14,62
40	164,42	179,04	178,17	0,00	14,62

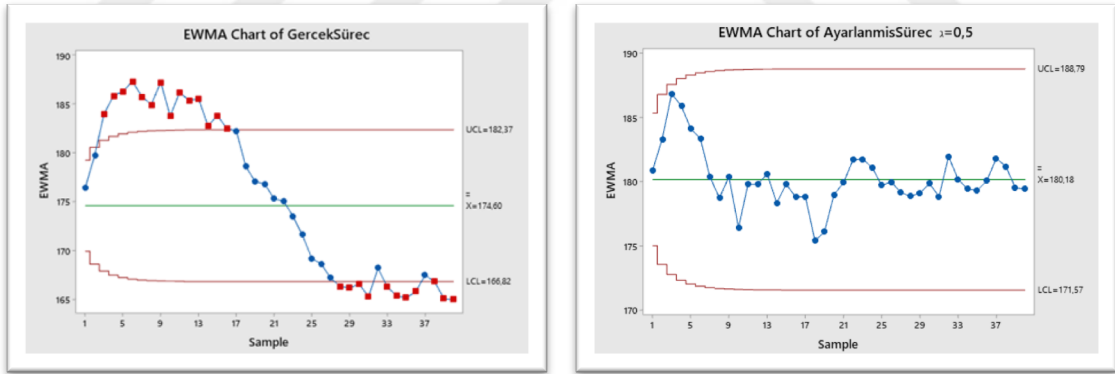
EWMA tahmin değeri verilerine göre MSK yöntemlerinden sınırlandırılmış ayar diyagramları metodu göz önüne alındığında, dördüncü sütunda görülen 6 adet EWMA tahmin değeri spesifikasyon limitleri dışında kaldığından bu limit dışı gözlemler için ayar miktarı hesaplamaları yapılmış ve orijinal sürece bu ayarlar uygulanmıştır. Bu işlemlerin sonucunda elde edilen ayarlanmış süreç verileri Tablo 4.4'de üçüncü sütunda görülmektedir.

Bu değerlerin ortalaması $\mu=180,18$ ve sürecin standart sapması $\sigma=8,31$ olarak hesaplanmıştır. Ayarlanmış süreç değerleri hedef değere yaklaşmıştır. Gerçek süreç verileri ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değer olan 182 etrafında dağılımı Şekil 4.9'de görülebilir.



Şekil 4.9: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,5$).

Ayarlama faaliyetleri öncesi ve sonrası için çizilen EWMA kontrol diyagramları Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,5$)

EWMA kontrol diyagramları incelendiğinde ayarlama faaliyetleri sonrasında sürecin kontrol altında olduğu görülmektedir. Ayrıca ayarlanan süreç verileri hedef değer etrafında salınmaktadır. Düzeltme sabiti $\lambda=0,5$ alınarak yapılan ayarlamalar sonucunda sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu ve süreç verilerinin hedef değer etrafında kaldığı sonucuna varılabilecektir.

4.6. $\lambda=0,6$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

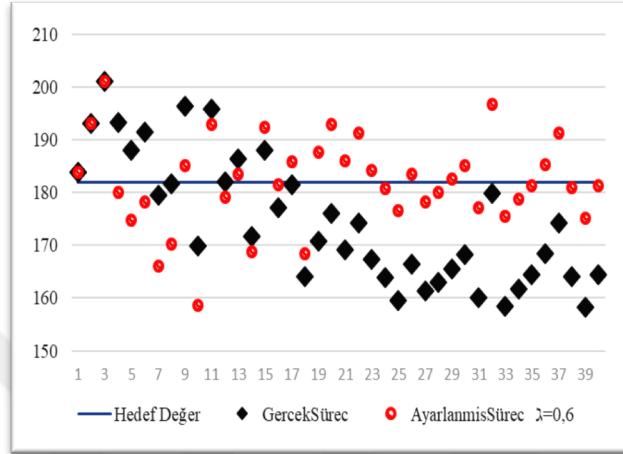
$\lambda=0,6$ değeri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.5’de verilmiştir

Tablo 4.5: $\lambda=0,6$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,6$	EWMA Tahmini $\lambda=0,6$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	189,30	0,00	0,00
3	201,02	201,02	196,33	-13,28	-13,28
4	193,25	179,96	186,51	0,00	-13,28
5	188,06	174,78	179,47	0,00	-13,28
6	191,52	178,24	178,73	0,00	-13,28
7	179,42	166,14	171,18	1,80	-11,48
8	181,72	170,24	170,61	0,20	-11,29
9	196,42	185,13	179,32	0,00	-11,29
10	169,92	158,63	166,91	8,43	-2,85
11	195,84	192,99	182,55	0,00	-2,85
12	182,02	179,16	180,52	0,00	-2,85
13	186,34	183,48	182,30	0,00	-2,85
14	171,65	168,79	174,19	7,23	4,37
15	188,06	192,44	185,14	0,00	4,37
16	177,10	181,48	182,94	0,00	4,37
17	181,47	185,84	184,68	0,00	4,37
18	164,01	168,38	174,90	12,56	16,94
19	170,78	187,72	182,59	0,00	16,94
20	175,97	192,90	188,78	0,00	16,94
21	169,06	185,99	187,11	0,00	16,94
22	174,24	191,18	189,55	0,00	16,94
23	167,33	184,26	186,38	0,00	16,94
24	163,87	180,81	183,04	0,00	16,94
25	159,55	176,49	179,11	0,00	16,94
26	166,46	183,40	181,68	0,00	16,94
27	161,28	178,22	179,60	0,00	16,94
28	163,01	179,94	179,81	0,00	16,94
29	165,60	182,54	181,45	0,00	16,94
30	168,19	185,13	183,66	0,00	16,94
31	160,15	177,09	179,71	0,00	16,94
32	179,83	196,77	189,95	0,00	16,94
33	158,47	175,41	181,22	0,00	16,94
34	161,80	178,74	179,73	0,00	16,94
35	164,36	181,30	180,67	0,00	16,94
36	168,42	185,36	183,48	0,00	16,94
37	174,24	191,18	188,10	0,00	16,94
38	164,00	180,94	183,80	0,00	16,94
39	158,27	175,21	178,64	0,00	16,94
40	164,42	181,36	180,27	0,00	16,94

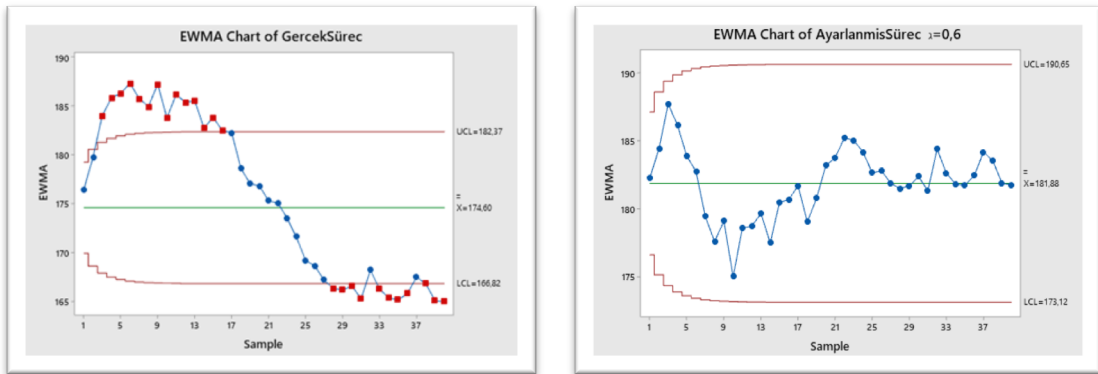
Düzeltilme sabiti 0,6 kabul edildiğinde hesaplanan EWMA tahmin değerleri Tablo 4.5’in dördüncü sütununda görülmektedir. Bu değerlerden 3’ncü, 7’nci, 8’nci, 10’ncü, 14’nci ve 18’nci gözlemlere göre hesaplanan değerler spesifikasyonlara uymamaktadır. Bu nedenle EWMA ve bütünleşik kontrol yöntemi ile ayarlanmanın ilişkisi düşünülerek, düzeltilme sabiti

$\lambda=0,6$ ile ayar miktarları bütünleşik kontrol denkleminde göre 6 kez hesaplanmış ve süreç ayarlanmıştır. Ayarlama faaliyetleri sonucu elde edilen değerlerin ortalaması $\mu=181,88$ ve sürecin standart sapması $\sigma=8,59$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan yeni süreç verilerinin hedef değere yakınlığı Şekil 4.11’den görülebilir.



Şekil 4.11: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,6$).

Ayarlanan sürecin EWMA kontrol diyagramı çizilerek sürecin istatistiksel takibi yapılmıştır. Sürecin hesaplanan yeni verileri ve orijinal verilerine ait kontrol diyagramları Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,6$).

Ayarlama faaliyetlerinin verimli sonuç verdiği ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında kaldığı görülmektedir.

4.7. $\lambda=0,7$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

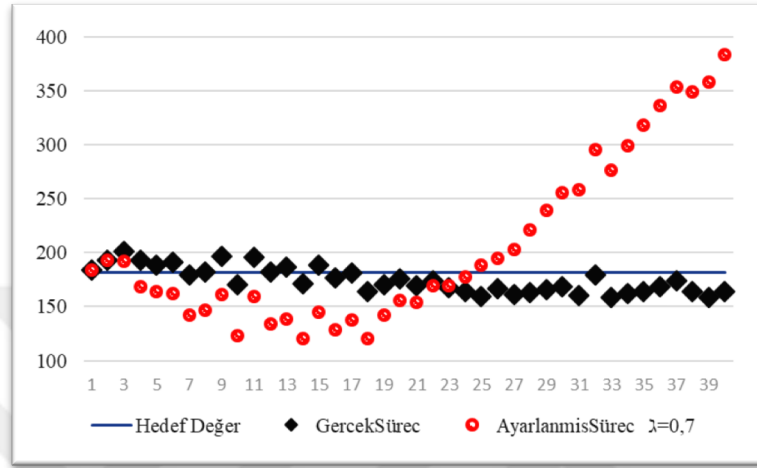
$\lambda=0,7$ değeri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.6’de verilmiştir.

Tablo 4.6: $\lambda=0,7$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,7$	EWMA Tahmini $\lambda=0,7$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	190,22	-8,96	-8,96
3	201,02	192,06	191,51	-15,50	-24,46
4	193,25	168,79	175,61	0,00	-24,46
5	188,06	163,61	167,21	-4,94	-29,40
6	191,52	162,12	163,65	-7,76	-37,15
7	179,42	142,27	148,68	2,10	-35,05
8	181,72	146,67	147,27	0,23	-34,83
9	196,42	161,59	157,30	-11,75	-46,57
10	169,92	123,35	133,53	9,84	-36,73
11	195,84	159,11	151,43	-11,27	-48,01
12	182,02	134,01	139,24	-0,01	-48,02
13	186,34	138,32	138,59	-3,53	-51,55
14	171,65	120,10	125,64	8,43	-43,12
15	188,06	144,94	139,15	-4,94	-48,06
16	177,10	129,04	132,08	3,99	-44,07
17	181,47	137,40	135,80	0,43	-43,64
18	164,01	120,37	125,00	14,66	-28,98
19	170,78	141,80	136,76	9,14	-19,85
20	175,97	156,12	150,31	4,91	-14,93
21	169,06	154,12	152,98	10,54	-4,39
22	174,24	169,85	164,79	6,32	1,93
23	167,33	169,26	167,92	11,95	13,89
24	163,87	177,76	174,81	14,77	28,65
25	159,55	188,21	184,19	0,00	28,65
26	166,46	195,12	191,84	12,66	41,31
27	161,28	202,59	199,36	16,88	58,19
28	163,01	221,20	214,65	15,47	73,66
29	165,60	239,26	231,88	13,36	87,02
30	168,19	255,21	248,21	11,25	98,27
31	160,15	258,42	255,36	17,80	116,07
32	179,83	295,90	283,73	1,77	117,83
33	158,47	276,30	278,53	19,17	137,00
34	161,80	298,80	292,72	16,46	153,46
35	164,36	317,82	310,29	14,37	167,83
36	168,42	336,25	328,46	11,06	178,89
37	174,24	353,13	345,73	6,32	185,21
38	164,00	349,21	348,17	14,66	199,87
39	158,27	358,14	355,15	19,33	219,21
40	164,42	383,63	375,08	14,32	233,53

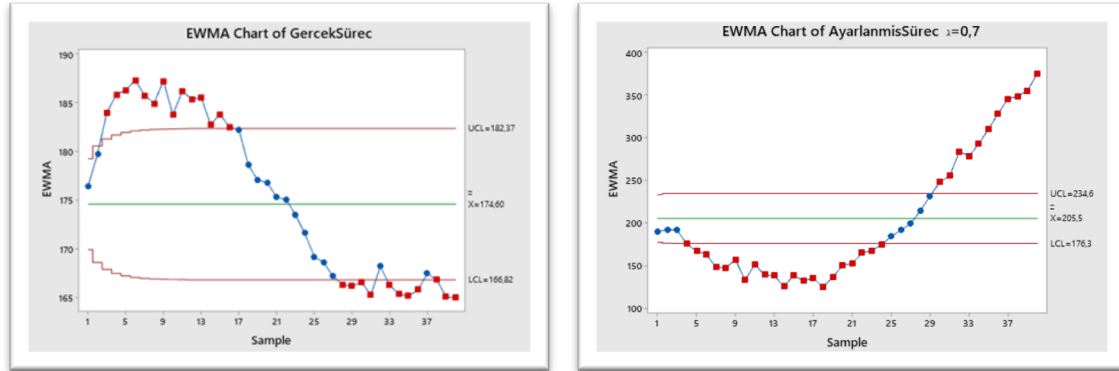
Tablo 4.6'nın 4. Sütununda bulunan EWMA tahmin yöntemi ile hesaplanan değerlerin 37 tanesi spesifikasyon sınırları dışındadır ve bu değer 37 kez ayarlama faaliyeti yapılması gerektiği anlamına gelmektedir. Düzeltme sabitinin 0,1-0,6 aralığındaki değerleriyle yapılan hesaplamalarda ayarlama faaliyeti sayısının genellikle 10 adet altında olduğu ve süreç ortalamasının hedef değerler etrafında kaldığı görülmüştü fakat $\lambda=0,7$ ile ayarlanan süreç

değerlerinin ortalaması $\mu = 205,5$ ve sürecin standart sapması $\sigma = 77$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler düzeltme sabitinin 0,7 olduğunda ayarlanan sürecin verimli olmadığını göstermektedir. İstenmeyen bir durum olan süreç ortalamasının hedeften çok uzaklaşmış olması ve standart sapmanın oldukça büyük bir değer alması durumuyla karşılaşmıştır. Ayarlama faaliyeti sonrasında TPA değerlerinin hedef etrafındaki dağılımı Şekil 4.13'de görülmektedir.



Şekil 4.13: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,7$)

Yapılan ayarlama faaliyetleri sonucunda çizilen EWMA kontrol diyagramı Şekil 4.14'de görülmektedir.



Şekil 4.14: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,7$)

EWMA kontrol diyagramlarında da görüldüğü gibi $\lambda=0,7$ düzeltme sabiti ile yapılan süreç ayarlama faaliyeti süreç ortalamasını hedef değerden uzaklaştırarak süreci istenmeyen bir duruma getirecektir. Ayrıca 37 defa ayar faaliyeti gerekmesi ayarlama maliyeti faktörünün önemini de vurgulamıştır. Bu durum karşılaşılabilecek başka bir problem olan ayarlama maliyetlerinin de bu tür durumlarda göz önünde bulundurulması gerekliliğini göstermiştir.

4.8. $\lambda=0,8$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

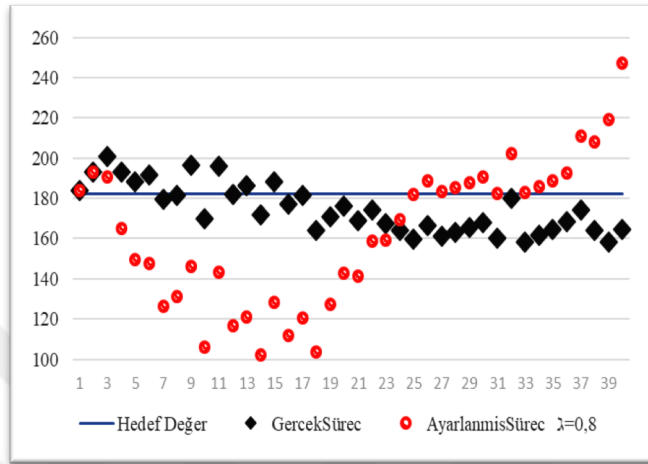
$\lambda=0,8$ değeri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: $\lambda=0,8$ değeri ile süreç ayarlama.

Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,8$	EWMA Tahmini $\lambda=0,8$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	191,15	-10,24	-10,24
3	201,02	190,78	190,86	-17,71	-27,95
4	193,25	165,30	170,41	-10,47	-38,42
5	188,06	149,64	153,79	-5,65	-44,07
6	191,52	147,45	148,72	-8,86	-52,93
7	179,42	126,49	130,94	2,40	-50,53
8	181,72	131,19	131,14	0,26	-50,27
9	196,42	146,15	143,14	-13,42	-63,70
10	169,92	106,22	113,61	11,25	-52,45
11	195,84	143,39	137,43	-12,88	-65,34
12	182,02	116,68	120,83	-0,01	-65,35
13	186,34	120,98	120,95	-4,04	-69,39
14	171,65	102,26	106,00	9,64	-59,75
15	188,06	128,31	123,85	-5,65	-65,40
16	177,10	111,71	114,14	4,56	-60,84
17	181,47	120,63	119,33	0,49	-60,34
18	164,01	103,66	106,80	16,75	-43,59
19	170,78	127,19	123,11	10,44	-33,15
20	175,97	142,82	138,87	5,62	-27,54
21	169,06	141,52	140,99	12,05	-15,49
22	174,24	158,75	155,20	7,22	-8,26
23	167,33	159,07	158,29	13,66	5,40
24	163,87	169,27	167,07	16,88	22,27
25	159,55	181,83	178,88	0,00	22,27
26	166,46	188,74	186,77	0,00	22,27
27	161,28	183,55	184,20	0,00	22,27
28	163,01	185,28	185,07	0,00	22,27
29	165,60	187,87	187,31	0,00	22,27
30	168,19	190,47	189,84	0,00	22,27
31	160,15	182,42	183,91	0,00	22,27
32	179,83	202,10	198,47	2,02	24,30
33	158,47	182,77	185,91	0,00	24,30
34	161,80	186,10	186,06	0,00	24,30
35	164,36	188,66	188,14	0,00	24,30
36	168,42	192,72	191,80	12,64	36,94
37	174,24	211,18	207,30	7,22	44,16
38	164,00	208,16	207,99	16,76	60,92
39	158,27	219,19	216,95	22,09	83,01
40	164,42	247,43	241,34	16,37	99,38

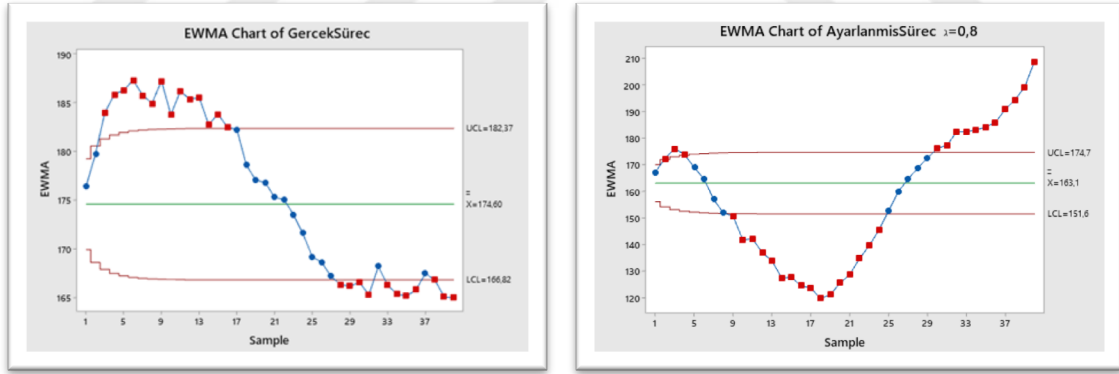
Düzeltilme sabiti 0,8 olduğunda hesaplanan EWMA tahmin değerleri 4. Sütunda görülmektedir. Bu sonuçlara göre 29 değer spesifikasyon limitleri dışında kaldığından 29 kez ayar miktarı hesaplanmış ve ayar faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Ayarlanan sürecin ortalamasının $\mu=163,12$

ve sürecin standart sapması $\sigma=35,83$ olduğu görülmüştür. $\lambda=0,7$ ile yapılan ayarlama faaliyeti sonuçlarıyla kıyaslandığında düzeltme sabitinin $0,7$ olduğu durumda hedeften pozitif yönde bir uzaklaşma görülürken, düzeltme sabiti $0,8$ olduğunda süreç ortalaması hedef değer altında kalmıştır ve standart sapma değeri hala çok yüksektir. Süreç değerlerinin hedeften uzaklaşması Şekil 4.15’de görülebilir.



Şekil 4.15: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,8$).

Ayarlama faaliyeti sonucu çizilen EWMA kontrol diyagramı Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,8$).

EWMA kontrol diyagramından alınan sonuca göre sürecin kontrol altına alınamadığı ve süreç ortalamasının hedef değer etrafına çekilemediği aksine uzaklaştığı görülmüştür. Bu nedenle $0,8$ düzeltme sabiti ile yapılan ayarlama faaliyetlerinde istenen etkinin yaratılamadığı sonucuna varabilmekteyiz.

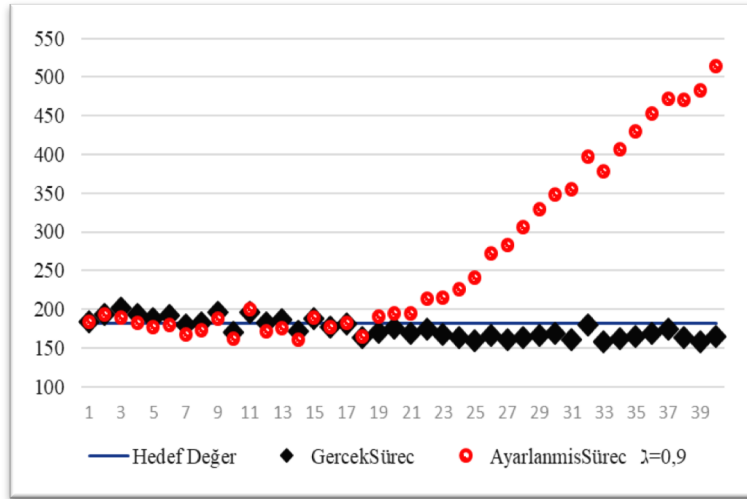
4.9. $\lambda=0,9$ İLE AYARLANAN SÜREÇ BULGULARI

$\lambda=0,9$ değeri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: $\lambda=0,9$ değeri ile süreç ayarlama.

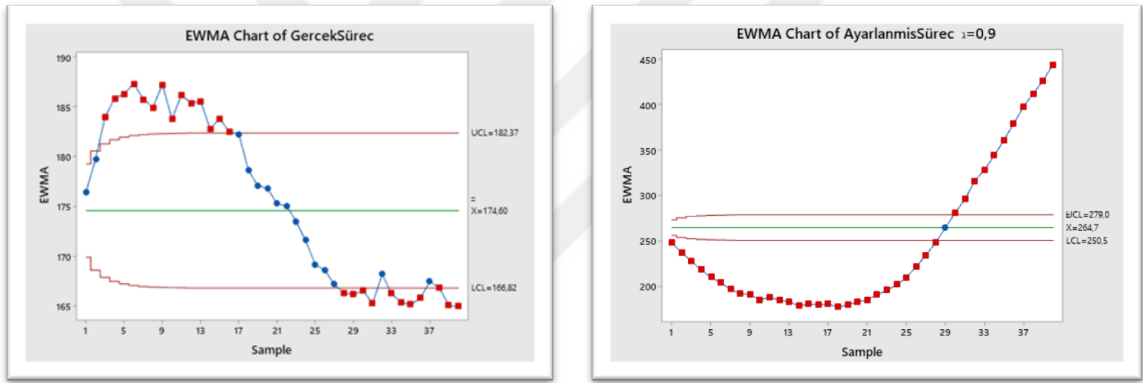
Gözlem No	Gerçek Süreç TPA Değeri	Ayarlanmış Süreç $\lambda=0,9$	EWMA Tahmini $\lambda=0,9$	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	183,74	183,74	183,74	0,00	0,00
2	193,00	193,00	192,07	-11,52	-11,52
3	201,02	189,50	189,76	0,00	-11,52
4	193,25	181,73	182,53	0,00	-11,52
5	188,06	176,54	177,14	0,00	-11,52
6	191,52	180,00	179,71	0,00	-11,52
7	179,42	167,90	169,08	2,70	-8,82
8	181,72	172,90	172,52	0,29	-8,53
9	196,42	187,89	186,35	0,00	-8,53
10	169,92	161,39	163,89	12,65	4,12
11	195,84	199,96	196,35	-14,50	-10,37
12	182,02	171,64	174,11	-0,02	-10,39
13	186,34	175,95	175,76	0,00	-10,39
14	171,65	161,26	162,71	10,84	0,45
15	188,06	188,52	185,94	0,00	0,45
16	177,10	177,56	178,39	0,00	0,45
17	181,47	181,92	181,57	0,00	0,45
18	164,01	164,46	166,17	18,84	19,30
19	170,78	190,08	187,69	0,00	19,30
20	175,97	195,26	194,51	6,32	25,61
21	169,06	194,67	194,65	13,56	39,17
22	174,24	213,41	211,54	8,13	47,30
23	167,33	214,63	214,32	15,37	62,67
24	163,87	226,54	225,32	18,99	81,65
25	159,55	241,20	239,62	23,51	105,16
26	166,46	271,63	268,43	16,27	121,44
27	161,28	282,72	281,29	21,70	143,14
28	163,01	306,14	303,66	19,89	163,03
29	165,60	328,63	326,13	17,18	180,21
30	168,19	348,40	346,17	14,46	194,67
31	160,15	354,82	353,95	22,88	217,55
32	179,83	397,38	393,04	2,27	219,82
33	158,47	378,29	379,77	24,64	244,47
34	161,80	406,27	403,62	21,16	265,63
35	164,36	429,99	427,35	18,48	284,10
36	168,42	452,52	450,00	14,22	298,32
37	174,24	472,56	470,31	8,13	306,45
38	164,00	470,45	470,44	18,85	325,31
39	158,27	483,58	482,26	24,85	350,16
40	164,42	514,58	511,35	18,41	368,57

Düzeltilme sabiti 0,9 kabul edilip tüm adımlar tekrarlandığında Tablo 4.8'deki veriler elde edilmiştir. Görüldüğü gibi 29 kez ayarlama faaliyeti yapılması gerekmektedir ve bu ayarlamalar sonucunda yeni süreç ortalaması ve standart sapması sırasıyla $\mu=264,7$ ve $\sigma=111,9$ olmuştur. Süreç ortalaması hedef değerden çok uzaklaşmış ve standart sapma artmıştır. Süreç değerlerinin 0,9 düzeltilme sabiti ile hedeften uzaklaştığı Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17: Gerçek ve ayarlanmış süreç verilerinin hedef değerden sapmaları ($\lambda=0,9$).

Çizilen EWMA kontrol diyagramları Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18: Ayarlama faaliyeti öncesi ve sonrası EWMA kontrol diyagramları ($\lambda=0,9$).

Ayarlanan süreç kontrol altında değildir. Kontrol diyagramı ve süreç ortalaması göz önüne alındığında 0,9 düzeltme sabiti süreç ayarlama faaliyeti için doğru bir sabit değildir ve tercih edilmemelidir.

4.10. FARKLI DÜZELTİM SABİTİ VE SÜREÇ KAZANCI DEĞERLERİ İÇİN ORTAK BULGULAR

Malzeme ve materyal bölümünde düzeltme sabitinin seçimi için literatürde birçok farklı görüş olduğundan bahsedilmişti, fakat sürecin yapısı ve veriler bu seçimde çok etkin olduğundan 0,1’den 0,9’a kadar değerlerin denenerek seçildiği yöntem literatürde en fazla rağbet gören ve iyi sonuç veren bir yöntemdir (Fildes ve diğ., 1998). Bu şekilde bir denemeye süreç için en uygun olan düzeltme sabiti belirlenebilecektir.

Oyun hamuru üretim sürecinden alınan verilerle yapılan ayarlama faaliyetleri sonucu 0,4;0,5 ve 0,6 düzeltme sabitleriyle ayarlanan sürecin istatistiksel olarak kontrol altında kaldığı ve süreç değerlerinin hedef değere yaklaştığı görülmüştür. Diğer düzeltim sabiti değerleriyle yapılan ayarlamalar için süreç kontrol altında kalamamıştır. En iyi değeri veren düzeltme sabiti seçimi birçok faktöre bağlıdır. Örneğin ayarlama maliyetleri önemli olan süreç üzerinde çalışılıyorsa ayar sayısı önem arz ederken, değerli ürünlerin üretiminde ise ayar sayısının önemi daha az, hedefe yakın olma durumu daha önemli olabilecektir.

4.10.1. İzleme Sinyali Analizi

Önerilen Bütünleşik İSK/MSK sisteminde EWMA tahmin değerlerini optimum yapan düzeltim katsayısı seçimi süreç ortalamasının hedefe yakınlığı, süreç değerlerinin hedefe olan uzaklıkları, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı ve izleme sinyali gibi birçok faktör göz önüne alınarak seçilecektir bu nedenle izleme sinyali analizi yapılmıştır. İzleme sinyali analizinin teorik alt yapısı 2. bölümde anlatılmıştır. Sürecin farklı düzeltme sabitine göre hesaplanan EWMA tahmin değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: Farklı düzeltme sabitleri için EWMA tahmin değerleri.

Gerçek Süreç	EWMA $\lambda=0,1$	EWMA $\lambda=0,2$	EWMA $\lambda=0,3$	EWMA $\lambda=0,4$	EWMA $\lambda=0,5$	EWMA $\lambda=0,6$	EWMA $\lambda=0,7$	EWMA $\lambda=0,8$	EWMA $\lambda=0,9$
183,74	183,74	183,74	183,74	183,74	183,74	183,74	183,74	183,74	183,74
193,00	184,67	185,60	186,52	187,45	188,37	189,30	190,22	191,15	192,07
201,02	186,31	188,68	190,87	192,88	194,70	196,33	191,51	190,86	189,76
193,25	187,00	189,59	189,59	189,48	188,44	186,51	175,61	170,41	182,53
188,06	187,11	189,29	187,14	185,37	182,72	179,47	167,21	153,79	177,14
191,52	187,55	189,73	186,46	184,29	181,58	178,73	163,65	148,72	179,71
179,42	186,73	187,67	182,36	178,80	174,97	171,18	148,68	130,94	169,08
181,72	186,23	186,48	180,17	176,43	173,56	170,61	147,27	131,14	172,52
196,42	187,25	188,47	183,06	180,88	180,29	179,32	157,30	143,14	186,35
169,92	185,52	184,76	177,12	172,95	170,40	166,91	133,53	113,61	163,89
195,84	186,55	186,98	180,75	180,82	181,93	182,55	151,43	137,43	196,35
182,02	186,10	185,98	179,13	180,00	180,78	180,52	139,24	120,83	174,11
186,34	186,12	186,05	179,30	181,24	182,37	182,30	138,59	120,95	175,76
171,65	184,67	183,17	175,01	176,11	175,82	174,19	125,64	106,00	162,71
188,06	185,01	184,15	176,94	179,60	180,75	185,14	139,15	123,85	185,94
177,10	184,22	182,74	174,99	177,31	177,74	182,94	132,08	114,14	178,39
181,47	183,95	182,49	175,46	177,68	178,42	184,68	135,80	119,33	181,57
164,01	181,95	178,79	170,54	170,92	170,02	174,90	125,00	106,80	166,17
170,78	180,84	177,19	171,02	172,92	174,45	182,59	136,76	123,11	187,69
175,97	180,35	176,95	174,08	178,29	182,52	188,78	150,31	138,87	194,51
169,06	179,22	175,37	174,79	178,74	183,09	187,11	152,98	140,99	194,65

Tablo 4.9 (Devam): Farklı düzeltme sabitleri için EWMA tahmin değerleri.

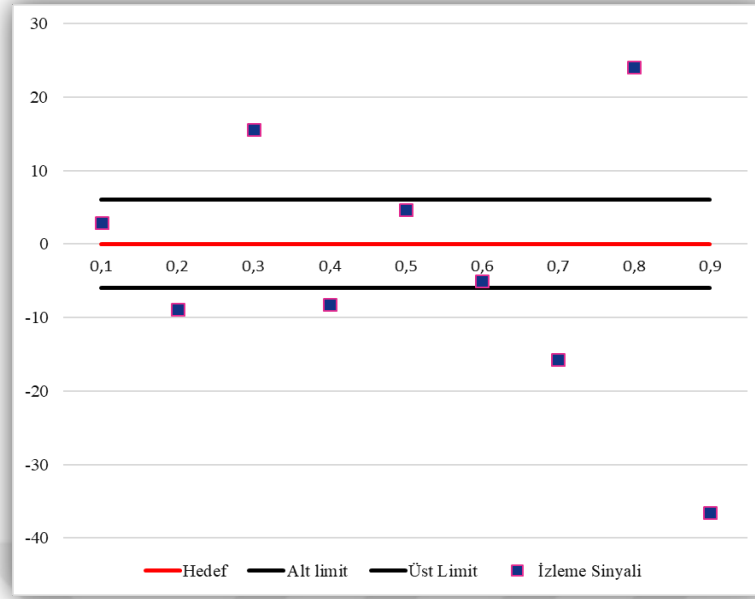
Gerçek Süreç	EWMA $\lambda=0,1$	EWMA $\lambda=0,2$	EWMA $\lambda=0,3$	EWMA $\lambda=0,4$	EWMA $\lambda=0,5$	EWMA $\lambda=0,6$	EWMA $\lambda=0,7$	EWMA $\lambda=0,8$	EWMA $\lambda=0,9$
174,24	178,72	175,14	178,19	181,09	185,98	189,55	164,79	155,20	211,54
167,33	177,58	173,58	178,50	179,73	183,96	186,38	167,92	158,29	214,32
163,87	176,21	172,32	177,68	177,53	181,22	183,04	174,81	167,07	225,32
159,55	174,55	171,29	175,81	174,48	177,70	179,11	184,19	178,88	239,62
176,91	174,00	172,90	176,57	179,60	179,39	181,68	191,84	186,77	268,43
178,96	173,17	173,87	175,55	180,60	177,64	179,60	199,36	184,20	281,29
180,69	172,84	175,96	175,35	181,89	177,63	179,81	214,65	185,07	303,66
183,28	173,02	178,15	176,00	183,70	178,93	181,45	231,88	187,31	326,13
185,87	173,63	180,41	177,22	185,82	180,87	183,66	248,21	189,84	346,17
177,83	173,54	180,62	175,67	183,88	177,82	179,71	255,36	183,91	353,95
197,51	175,68	184,72	180,48	190,58	186,13	189,95	283,73	198,47	393,04
176,15	175,47	183,73	177,45	186,47	179,61	181,22	278,53	185,91	379,77
179,48	175,61	183,60	176,32	185,33	178,01	179,73	292,72	186,06	403,62
182,04	175,99	184,02	176,30	185,67	178,49	180,67	310,29	188,14	427,35
186,10	176,75	185,16	177,50	187,50	180,77	183,48	328,46	191,80	450,00
191,92	178,01	187,23	180,09	190,93	184,81	188,10	345,73	207,30	470,31
181,68	178,12	186,84	178,83	190,33	181,71	183,80	348,17	207,99	470,44
175,95	177,64	185,39	176,23	189,83	177,30	178,64	355,15	216,95	482,26
182,10	177,83	185,46	176,25	189,88	178,17	180,27	375,08	241,34	511,35

Denklem (3.8)' yardımıyla hesaplanan izleme sinyali (TS) değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: EWMA tahminlerinin izleme sinyali değerleri.

Düzeltilme Sabiti	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
İzleme Sinyali	2,89	-8,87	15,58	-8,24	4,67	-5,07	-15,70	24,06	-36,55

İzleme sinyali değerleri +6 ve -6 aralığında ise kabul edilebilir bir tahmin olduğu ikinci bölümde anlatılmıştı. Bu nedenle 0,1; 0,5 ve 0,6 düzeltim sabitleri diğer sabitlerle karşılaştırıldığında daha iyi sonuç vermiştir fakat tasarlanan sistemde TS değeri düzeltme sabiti seçimi için tek başına yeterli değildir. İzleme sinyali ve limit değerlere göre çizilen grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19: İzleme sinyali değerleri.

4.10.2. Ayarlanmış Değerlerin Hedeye Olan Uzaklıklarının Ortalaması

Montgomery (2012)' de önerdiği performans karşılaştırma yöntemi, ayarlanmış süreç değerlerinin hedef değerden olan uzaklıklarının ortalaması ve gerçek süreç çıktılarının hedeften sapmalarını kontrol edip karşılaştırılması temeline dayanmaktadır, performans değerlendirme formülü Denklem (4.1)'de görülmektedir.

$$\text{Performans Ölçütü} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - T)^2}{n} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)' e göre hesaplanmış farklı düzeltme sabiti değerlerine göre ayarlanmış süreçlerin performans ölçütü değerleri Tablo 4.11'de görülmektedir. En küçük üç değerle sırasıyla $\lambda=0,5$; $\lambda=0,6$ ve $\lambda=0,4$ düzeltme sabiti değerleriyle hesaplandığı görülmüştür.

Tablo 4.11: Süreçlerin performans ölçütü değerleri.

Süreçler	Gerçek Süreç	$\lambda=0,1$	$\lambda=0,2$	$\lambda=0,3$	$\lambda=0,4$	$\lambda=0,5$	$\lambda=0,6$	$\lambda=0,7$	$\lambda=0,8$	$\lambda=0,9$
Performans Ölçütü	198,18	109,6	90,34	19047,3	80,8	70,57	71,91	6326,5	1608,25	19047,3

4.10.3. Standart Hataların Ortalaması

Standart hata (SE), bir istatistiğin örnekleme dağılımının tahmini standart sapmasıdır. Bir numunenin ana kütleyle ne kadar doğru bir şekilde temsil ettiğini göstererek, ortalamanın güvenilirliğini gösterir. İstatistiklerde, herhangi bir örneklem ortalaması bir popülasyonun gerçek ortalamasından sapmaktadır ve standart hata gözlemlenen örneklem ortalamasında ne

kadar güvende olabileceğimizi söylemektedir. Daha büyük bir örneklem boyutu genellikle daha küçük bir standart hatayla sonuçlanır. Ayarlanmış süreçlerin standart hatalarını gerçek sürecin standart hatasıyla karşılaştırmak faydalı olacaktır.

Tablo 4.12: Standart hataların ortalaması.

Süreçler	Gerçek Süreç	$\lambda=0,1$	$\lambda=0,2$	$\lambda=0,3$	$\lambda=0,4$	$\lambda=0,5$	$\lambda=0,6$	$\lambda=0,7$	$\lambda=0,8$	$\lambda=0,9$
Standart Hata Ort.	1,92	1,61	1,52	1,31	1,44	1,31	1,36	12,20	5,67	17,70

4.10.4. Standart Sapma

Gerçek süreç değerleri ve ayarlanmış sürecin değerlerinin standart sapmaları hesaplanarak, ayarlanan sürecin yayılımı gerçek sürece göre kıyaslanmıştır. Farklı düzeltim sabitlerine göre hesaplanan standart sapmalar Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13: Standart sapma değerleri.

Süreçler	Gerçek Süreç	$\lambda=0,1$	$\lambda=0,2$	$\lambda=0,3$	$\lambda=0,4$	$\lambda=0,5$	$\lambda=0,6$	$\lambda=0,7$	$\lambda=0,8$	$\lambda=0,9$
Standart Sapma	12,13	10,21	9,61	8,30	9,09	8,31	8,59	77,00	35,83	111,90

4.10.5. Toplam Ayar Sayısı

Sürecin İSK ile takibi ve MSK ile ayarlanması sonucu hedef değer etrafında kalmasını sağlayacak hesaplamalar farklı düzeltim sabiti ve süreç kazancı değerlerine göre yapılmıştır. Aynı süreç farklı sabitlerle ayarlanmış ve her ayarlanan sürecin farklı ayar faaliyeti sayısına sahip olduğu görülmüştür. Yapılan ayar faaliyetlerinin kaç kez olduğu bütünleşik İSK/MSK sistemi için sürecin yapısına bağlıdır ve süreçler için farklı derecelerde öneme sahiptir. Ayarlama maliyetinin yüksek olduğu süreçlerde daha az ayar sayısı istenecekken; ayarlama maliyetinin önemsiz olduğu süreçler de ise ayar faaliyeti sayısı önemsiz olacaktır. Bu nedenle süreçte yapılan ayar faaliyetlerinin adedinin kaydedilerek takip edilmesi fayda sağlayacaktır.

Tablo 4.14: Toplam ayar sayısı.

Süreçler	Gerçek Süreç	$\lambda=0,1$	$\lambda=0,2$	$\lambda=0,3$	$\lambda=0,4$	$\lambda=0,5$	$\lambda=0,6$	$\lambda=0,7$	$\lambda=0,8$	$\lambda=0,9$
Performans Ölçütü	-	7	5	6	8	6	6	37	29	29

4.10.6. Ayarlanmış Sürecin İzlenmesi

Önerilen İSK/MSK sisteminin ana hedefi sürecin istatistiksel takibi yapılarak, gerekli durumlarda yapılan ayarlama faaliyetleriyle sürecin hedef değer etrafında çıktılar üretmesini sağlamaktır. Bu nedenle gerçek süreç değerlerinde MSK yöntemleri ile hesaplanan ayar miktarları kullanılarak yapılan ayarlamalar sonucunda süreç, ayarlanmamış sürece göre hedef değer etrafına çekilse dahi kontrol edilmesi gereken önemli bir husus da sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmamasıdır. Bu nedenle ayarlanmış süreç değerleriyle çizilen EWMA kontrol diyagramından bu hususu değerlendirmek için faydalanılmıştır. Farklı sabiti ile yapılan ayarlamalar sonucunda çizilen EWMA kontrol diyagramları bulgular bölümünde verilmiştir. Tablo 4.15’de her değer için sürecin kontrol altında olup olmadığı görülmektedir.

Tablo 4.15: EWMA kontrol diyagramı sonuçları.

İSK	
Gözlem	Kontrol dışı
$\lambda=0,1$	Kontrol dışı
$\lambda=0,2$	Kontrol dışı
$\lambda=0,3$	Kontrol dışı
$\lambda=0,4$	Kontrol altında
$\lambda=0,5$	Kontrol altında
$\lambda=0,6$	Kontrol altında
$\lambda=0,7$	Kontrol dışı
$\lambda=0,7$	Kontrol dışı
$\lambda=0,9$	Kontrol dışı

Tüm yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 4.16’de görülen özet tablo elde edilmiştir

Tablo 4.16: Özet sonuç değerleri.

	Ortalama	Hedeften Sapma	Standart Hata Ort.	Standart Sapma	Performans ölçütü	TS	Ayar sayısı	İSK
Gözlem	174,60	-7,40	1,92	12,13	198,18	-	-	Kontrol dışı
$\lambda=0,1$	179,15	-2,85	1,61	10,21	109,64	2,89	7	Kontrol dışı
$\lambda=0,2$	182,53	0,53	1,52	9,61	90,34	-8,87	5	Kontrol dışı
$\lambda=0,3$	178,19	-3,81	1,31	8,30	19047,31	15,58	6	Kontrol dışı
$\lambda=0,4$	182,50	0,50	1,44	9,09	80,76	-8,24	8	Kontrol altında
$\lambda=0,5$	180,18	-1,82	1,31	8,31	70,57	4,67	6	Kontrol altında
$\lambda=0,6$	181,88	-0,12	1,36	8,59	71,91	-5,07	6	Kontrol altında

Tablo 4.16 (Devam): Özet sonuç değerleri.

	Ortalama	Hedeften Sapma	Standart Hata Ort.	Standart Sapma	Performans ölçütü	TS	Ayar sayısı	İSK
$\lambda=0,7$	205,50	23,50	12,20	77,00	6326,51	-15,70	37	Kontrol dışı
$\lambda=0,8$	163,12	-18,88	5,67	35,83	1608,25	24,06	29	Kontrol dışı
$\lambda=0,9$	264,70	82,70	17,70	111,90	19047,31	-36,55	29	Kontrol dışı

Tablo 4.16’da görüldüğü gibi İSK diyagramı sonuçlarına göre ayarlanmış süreç verileri $\lambda=0,4$; $\lambda=0,5$ ve $\lambda=0,6$ değerleri için kontrol altında kalmıştır. Bu nedenle bu üç düzeltim sabiti değerinden birinin seçilmesi anlamlı olacaktır. Ayarlanmış süreç verilerini İSK tekniklerine göre kontrol altında tutan en küçük standart sapma ve en küçük hedefe olan uzaklık değerlerine sahip düzeltim sabiti 0,5 olduğundan sürecin geri kalan tüm ayarlama faaliyetlerinde $\lambda=0,5$ değeri kullanılarak tahmin ve ayarlama yapılacaktır.

4.11. BÜTÜNLEŞİK İSK/MSK SİSTEMİNİN FARKLI PARTİLER İÇİN ÇALIŞTIRILMASI

Yapılan tüm hesaplamalar sonucunda, oyun hamuru üretim süreci için düzeltim sabiti 0,5 olarak seçilmiştir. Artık tüm hesaplamalarda bu sabit kullanılacaktır. Kullanılan bu katsayı EWMA tahmin değeri ve bütünleşik geri besleme kontrolü denklemlerine etki edecektir.

Üretimde farklı günler ve saatlerde 15 farklı partiye bütünleşik İSK/MSK sistemi uygulanmıştır. Bu uygulamaların sonucunda elde edilen istatistiksel veriler Tartışma ve Sonuç bölümünde Tablo 4.17’de görülmektedir. Bu uygulama değerlerine ait hesaplama tabloları tez çalışmasının Ekler bölümünde verilmiştir. Özetle elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bütünleşik sistemle izlenen ve ayarlanan her partinin ortalaması, hedef değer etrafına gerçek sürece göre daha yakındır ve istatistiksel olarak kontrol dışı olan süreçler bütünleşik sistemle kontrol altına alınmıştır. Kontrol altında olmayan süreçlerin ise süreç ortalaması hedef değer çevresine yaklaşmıştır. Farklı partilere ait sonuçlar TARTIŞMA VE SONUÇ bölümünde tablo halinde verilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Hizmet ve üretim sektöründe faaliyet gösteren firmaların devamlılıklarını sağlayabilmeleri tüketici ile aralarındaki alışverişi sürdürülebilir tutmakla mümkün olacaktır. Bu durum sadece kalitenin sürdürülebilir olması ile mümkündür. Bu nedenle kalitenin süreç içinde kontrol edilmesi ve bu etkinin süreç çıktısına iyileştirici yönde tesir etmesini sağlamak, istenen standartlarda ürünler üretebilmeyi ya da hizmet verebilmeyi de sağlamaktadır.

İSK ve MSK ile ilgili yapılan literatür araştırmaları sonucunda; iki yöntemin birlikte kullanıldığı uygulamalarda başarı sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu başarıyı getiren temel neden, MSK çerçevesi dışında gerçekleşen kontrol dışı durumları İSK kullanarak hata nedenlerini sisteme dahil edebilmenin ve giderebilmenin mümkün olmasıdır.

MSK, süreç girişini ve çıkışını birbirine bağlayan belirli bir dinamik model olduğunu varsayar. Bu model doğruysa, MSK süreç ayarlama kuralları çıktı hedefi çevresindeki varyasyonu en aza indirir. Bununla birlikte, bu dinamik modelin çerçevesi dışında belirli dışsal bozulmalar veya belirlenebilir nedenler ortaya çıktığında, MSK bu olumsuzluğu tamamen hesaba katamayacak ve varyasyon artacaktır. İSK'yi belirli bir şekilde sisteme dahil ederek, bu bozulma nedenleri tespit edilebilecek ve dolayısıyla bütünleştirilmiş İSK/MSK prosedürü, yalnız uygulanan bir MSK ya da İSK'den daha etkili olacaktır.

İstatistiksel süreç kontrol diyagramları ile süreç izlenerek, süreçteki kaymalar takip edilebilir ve sürecin kontrol altında olup olmadığı belirlenebilir. Mühendislik süreç kontrolün amacı ise süreçteki girdilere etki ederek süreç çıktısını hedef değer etrafında tutmaktır. Literatürde iki yöntemin ortak özelliği yokmuş gibi görünse de iki yöntemim birbirini tamamlayıcı özellikleri vardır. Sürecin kontrol dışına çıktığı anlarda süreç girdisinde değişiklikler yapılarak süreç değerleri spesifikasyon limitleri içine çekilebilir ve hedef değere yaklaşabilir.

Bu çalışmada bir oyun hamuru üretim firması için bütünleşik İSK/MSK sistemi tasarlanmıştır. Firmanın üretim süreci oyun hamuru üretimi için fiziksel bir karışım sürecidir. Ürünün hammaddeleri belirli oranlarda ve ayrı zamanlarda karışım kazanına eklenir ve süreç sonunda oyun hamuru kıvamını alır. Oyun hamuru kazandan ilk çıktığı anda ölçülen en önemli kalite karakteristiği TPA değeridir. Bu değer belirlenen spesifikasyon değerleri arasında değilse

üretilen hamur hurda olmakta ve firma yüksek maliyetler nedeniyle maddi kayba uğramaktadır. Üretim esnasında da ölçümü yapılabilen bu kalite karakteristiğın İSK ile takibi ve MSK ile düzeltici faaliyetlerle hedef etrafında tutulması amaçlanmıştır. Dinamik üretim süreçlerinde alınan numune bir sonraki değeri tahmin etmede kullanılabilir ve tahmin edilen değerin spesifikasyon sınırları içinde kalıp kalmadığı kontrol edilerek; bu sonuca göre MSK ayarlama faaliyetleri düzenlenebilir.

Bu fikir temel alınarak, üretim süreci EWMA kontrol diyagramı ile takip edilmiştir. Süreçte kalite karakteristiğının bir sonraki adımda sahip olabileceğı değer EWMA tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilmiş ve sınırlandırılmış ayar şemaları temelinde spesifikasyon değerleri alt ve üst limit; hedef değeri ise merkez çizgi kabul edilerek değerler izlenmiştir. Spesifikasyon limitleri dışında kalan değerler için MSK faaliyetleri bütünlük geri besleme kontrolü yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Literatürde yapılan birçok bütünlük çalışmasında yalnızca bütünlük çerçevesi sunulmuş ama uygulama yapılmamıştır. Yapılan az sayıda uygulama ise genellikle kimyasal süreçlerde yapılmıştır. Bunun en önemli nedeni kimyasal süreçler süreç dinamiklerini temsil eden bir kimyasal denkleme sahiptir ve bu denklemin değişkenlerinde yapılan değişikliklerle sürecin çıktısına etki edilebilmektedir. Bu şekilde süreç çıktısı hedef etrafında kalabilmektedir.

Bu çalışmada bir üretim sürecinde dinamik kalite kontrol yaklaşımı ile kalitenin devamlılığını sağlanması amaçlanmıştır. İstatistiksel olarak kalite süreç düzeyinde takip edilerek gerekli durumlarda yapılan ayarlama faaliyetleriyle süreç çıktısının hedef değeri etrafında kalması istenmektedir. İki sistemin bütünlük edilmesi ile ilgili literatür incelemesinde çok az uygulama çalışması olduğu ve bu uygulama alanlarının da genellikle kimya sektöründe yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada, uygulama alanı olarak fiziksel bir karışım sürecine sahip olan oyun hamuru üretimi seçilmiştir.

Bu doğrultuda yapılan detaylı literatür incelemesi sonucunda, bütünlük İSK/MSK sistemi ile ilgili çalışmaların 1980'li yıllarda ilgi görmeye başladığı fakat yapılan çalışmalarda bilim adamlarının iki yöntemin birleştirilmesinin faydalı olup olmayacağı konusunda ki karşıt görüşlere sahip olmaları, iki yöntemin birleştirilmesi ile yapılacak çalışmalara gölge düşürmüştür.

90'lı yıllarda çok az çalışma yapılmış ve sadece bütünleşik bir İSK/MSK çerçevesi oluşturulmuştur. 2000-2010 yılları arasında yapılan çalışmalar ise genellikle iki yöntemin tamamlayıcı özelliği üzerinde durmuştur.

2010 yılından sonra önerilen bütünleştirme çerçevelerine uygulama çalışmaları eklenmiştir. Bu uygulama çalışmaları genellikle kimyasal üretim süreçlerinde yapılmıştır çünkü kimyasal süreçler doğası gereği bir denkleme sahiptir. Bu denklem sayesinde girdi değişkeninde yapılan değişikliklerin çıktı üzerindeki etkisi net bir şekilde görülebilmektedir. Bu nedenle denklemin varlığı MSK ile ayar faaliyetini kolaylaştırmaktadır.

Çalışmadaki uygulama alanı fiziksel bir karışım süreci olduğundan kimyasal bir denkleme sahip değildir. Bu özellik çalışmaya özgünlük kazandırmaktadır. Ulusal çalışmalar tarandığında sadece bütünleştirme çerçevesi bile ülkemizde yapılan ilk çalışmadır. Uluslararası çalışmalar incelendiğinde ise kimyasal olmayan fiziksel bir karışım sürecine uygulanan tek çalışmadır. Çalışma kapsamında üçüncü bölümde verilen Malzeme ve Yöntemlerde verilen metodlara sadık kalınmış bütünleşik İSK/MSK sistemi tasarlanmıştır.

Uygulama çalışmasının verimli bir şekilde yapılabilmesi için üçüncü bölümde açıklanan yöntemler ve kurallar ışığında en iyi çözüm veren parametrelerin bulunması için karşılaştırmalı hesaplar yapılmıştır ve bu özelliği ile de tez çalışması diğer uygulamalardan farklılık göstermektedir.

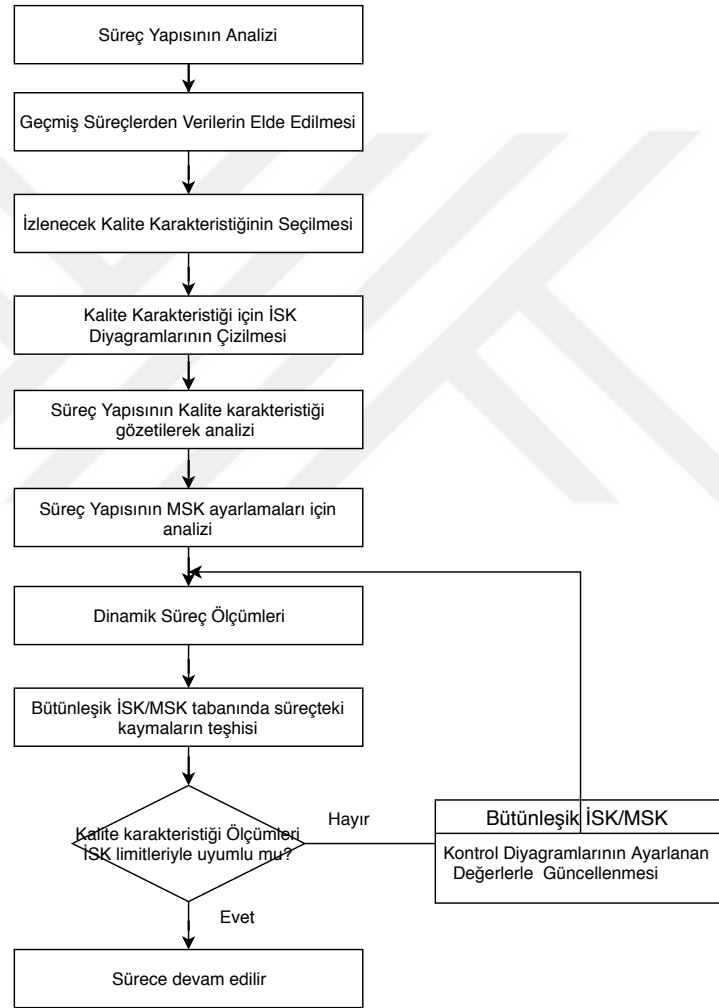
Süreç kimyasal bir denkleme sahip olmadığından girdide yapılan değişikliklerin çıktıya olan etkisini gösterecek teorik bir denkleme ihtiyaç duyulmuştur. Bu denklem süreçte yapılan ayarlamalar gözetilerek kurulmuştur. Yapılan ayarlamalar ile hesaplanan teorik TPA değeri ve aynı sürecin ölçülen gerçek TPA değerleri kaydedilerek iki zaman serisi arasında regresyon denklemi kurulmuş ve teorik sonuçların gerçek değerleri açıklama seviyesi belirlenmiştir. Kurulan regresyon denkleminin regresyon katsayısı süreç kazancı olarak kullanılmıştır. Regresyon katsayısının süreç kazancı olarak kullanılabileceği literatürde yapılan çalışmalarda mevcuttur (Box ve MacGregor, 1976).

Hesaplanan süreç kazancı bütünleşik kontrolle geri besleme yönteminde kullanılan ayar denkleminde girdi olarak kullanılmış ve gerekli ayar miktarı hesaplanmıştır. Hem bütünleşik

kontrol yöntemi ile ayar miktarı hesabında hem de EWMA tahmininde girdi parametresi olarak kullanılan bir sabit bulunmaktadır. Öncelikle bu sabitin aldığı değer süreç ayarlaması için önem arz ettiğinden süreç için en uygun düzeltim katsayısı seçilmiştir ve önerilen bütünleşik İSK/MSK metodolojisi bu katsayının seçimiyle tamamlanmıştır.

Materyal ve malzeme bölümünde önerilen İSK/MSK sistemi ayrıntılı şekilde gösterilmiştir. Önerilen sistemin özet akış diyagramı Şekil 5.1’de görülebilir.

Bütünleşik İSK/MSK Sistemi Özet Akışı



Şekil 5.1: Bütünleşik İSK/MSK Sistemi Özet Akışı.

Edinilen verilerle, modelin performansının değerlendirilmesi, sonuçların karşılaştırılabilir olması ve önerilen sistemin geçerli olup olmadığının ispatı çalışmanın sonucu için önem taşımaktadır.

Oyun hamuru süreci verileri kullanılarak farklı düzeltim sabitiyle yapılan analizler sonucunda elde edilen bütünleşik İSK/MSK sistemine ait sonuçlar Bulgular bölümünde Tablo 4.16'da özetlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre süreci istatistiksel olarak kontrol altında tutan 3 farklı değer vardır. Bu değerler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Süreci kontrol altında tutan λ değerleri.

	Ortalama	Hedeften Sapma	Standart Hata Ort.	Standart Sapma	Performans ölçütü	TS	Ayar sayısı	İSK
Gözlem	174,60	-7,40	1,92	12,13	198,18	-	-	Kontrol dışı
$\lambda=0,4$	182,50	0,50	1,44	9,09	80,76	-8,24	8	Kontrol altında
$\lambda=0,5$	180,18	-1,82	1,31	8,31	70,57	4,67	6	Kontrol altında
$\lambda=0,6$	181,88	-0,12	1,36	8,59	71,91	-5,07	6	Kontrol altında

Analiz sonuçlarına göre 0,5 düzeltim sabiti en optimum performans kriteri sonuçlarını verdiği için oyun hamuru üretim süreci için bu değer kullanılacaktır. Bu sabit kullanılarak Bütünleşik İSK/MSK sisteminin farklı partilerde nasıl sonuçlar verdiğini görmek için farklı günlerde rasgele seçilen süreçler için tasarlanan bütünleşik sistem uygulanmıştır.

Bu nedenle belirlenen performans değerlendirme kriterleri ışığında seçilen parametreler ile en uygun sonucu veren tasarlanmış Bütünleşik İSK/MSK sistemi ile deneme üretimleri yapılmış üçüncü bölümde yer alan hesaplama akışı kullanılarak Tablo 5.2'de yer alan tüm partilere ait özet sonuçlar bulunmuştur.

Tablonun 1. Sütunundaki U1, birinci partinin gerçek TPA değerlerini; AU1 ise birinci partinin ayarlanmış TPA değerlerini temsil etmek için kullanılmıştır. Sırasıyla artan numaralar parti sayılarıdır. Tüm partilere Bütünleşik İSK/MSK sistemiyle izleme ve ayarlama yapıldığında tabloda görülen süreç ortalamalarından da anlaşılacağı gibi ayarlama faaliyetleri sonucunda tüm partilerin süreç ortalamaları hedef değere yaklaşmıştır. Örneğin 1. Partinin ayarlama faaliyeti olmadığında TPA değeri ortalaması 169,36 iken ayarlama faaliyetleri sonucunda 181,72 olmuştur. Spesifikasyon değerlerinde belirtilen hedef değer 182'dir. Ayarlama faaliyeti sonucunda süreç değerlerinin hedef TPA değerine yaklaşıldığı görülmektedir. Ayrıca ayarlanmamış süreçte 11,76 olan standart sapma ayarlanmış süreçte 7,42 olmuştur. TPA değerlerinin hedef değere uzaklıklarının ortalamasını veren performans ölçütü değeri ise ciddi anlamda düşmüş süreç değerleri hedef değere yaklaşmıştır. Ayarlanmamış ve ayarlanmış süreç için bu değerler sırasıyla 194,70 ve 53,71'dir.

Tablo 5.2: Farklı partilere ait sonuçlar.

Süreçler	Ortalama	Standart Hata Ort.	Standart Sapma	Performans Ölçütü	Ayar Sayısı	İSK
U1	169,36	1,86	11,76	294,70		Hayır
AU1	181,72	1,17	7,42	53,71	2	Evet
U2	175,93	1,51	9,58	126,31		Evet
AU2	182,78	1,69	10,7	112,19	9	Evet
U3	176,95	1,47	9,27	109,39		Hayır
AU3	182,22	1,3	8,2	65,62	3	Evet
U4	176,6	1,62	10,21	130,88		Evet
AU4	181,37	1,67	10,59	109,70	6	Evet
U5	174,17	1,5	9,48	148,97		Evet
AU5	183,13	1,69	10,66	112,09	8	Evet
U6	171,57	1,91	12,08	251,11		Hayır
AU6	180,02	1,24	7,84	63,85	6	Evet
U7	168,84	1,5	9,49	251,11		Hayır
AU7	180,71	0,942	5,96	63,85	2	Evet
U8	175,55	1,5	9,49	129,47		Hayır
AU8	183,31	1,62	10,25	104,10	10	Evet
U9	174,56	1,01	6,39	95,14		Evet
AU9	181,4	1,07	6,8	45,38	2	Evet
U10	171,27	1,47	9,29	199,13		Evet
AU10	180,84	1,41	8,93	79,04	4	Evet
U11	178,29	1,42	8,96	92,01		Hayır
AU11	182,07	1,11	7,03	48,23	8	Evet
U12	172,09	1,01	6,4	138,05		Hayır
AU12	182,07	0,943	5,97	34,70	2	Evet
U13	186,12	1,54	9,76	109,78		Hayır
AU13	182,22	1,45	9,18	82,22	7	Evet
U14	175,81	0,827	5,23	64,99		Hayır
AU14	181,32	0,83	5,25	27,31	4	Evet
U15	173,45	1,1	6,96	120,31		Hayır
AU15	179,41	1,07	6,8	51,78	2	Evet

Uygulama yapılan 15 farklı parti için değerler Tablo 5.2’de mevcuttur. Bu partilere ait ölçüm değerleri, hesap tabloları ve süreç kontrol diyagramları tez çalışmasının EKLER bölümünde verilmiştir.

Tez çalışmasının verilerinin oyun hamuru üreten bir firmadan alınması veri açısından bakıldığında da çalışmanın orijinalliğinin göstergesidir. Hesaplamaların adım adım gerçek verilerle yapılması başka çalışmalar için zemin oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma farklı sektörler için de alt yapı sunmaktadır. Yapılacak diğer sektör uygulamaları ile bu çalışmanın metot ve sonuçları karşılaştırılabilir. Özellikle süreç dinamiklerini temsil eden bir denkleme sahip olmayan süreçler için deney tasarımı çalışmaya dahil edilebilir. Ayrıca tez çalışmasında en iyi parametrenin seçilmesi için kesikli değerler kullanılmıştır. Bir optimizasyon modeli yardımıyla sürekli değerler için optimum parametre değerinin temini sağlanabilir.

İstatistiksel süreç izleme, süreç yapısına uygun olarak seçilen EWMA diyagramı ile yapılmıştır. Diyagramların analizi ve istatistiki değerlerin hesabı için MINITAB 19.1 (64 bit) paket programından faydalanılmıştır. MSK hesaplamaları ise Microsoft Office 365 ProPlus Excel hesap tablosu ile yapılmıştır. İSK/MSK için bu iki adımı tek bir yazılımla yapacak bir paket program geliştirilerek literatüre katkı sağlanabilir.

Bu tez çalışmasında Endüstri Mühendisliği için temel alanlardan olan “istatistiksel kalite kontrol” konusunda, İSK ve MSK yöntemlerini bir üretim süreci için birleştiren bir çerçeve sunulmuş ve bir üretim sürecinde uygulanmıştır. Çalışmanın çeşitli bölümlerinde bahsedilen özgünlüğü ile gelecekte yapılacak çalışmalar için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akram, M. A., Saif, A.-W. A., & Rahim, M. A. (2012). Quality monitoring and process adjustment by integrating SPC and APC: a review. *Int. J. of Industrial and Systems Engineering*, 11(4), pp.375-405. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2012.047543>.
- Aljebory, K. M., & Alshebeb, M. (2014). Quality Improvement (A Case Study : Chemical Industry - National Chlorine Industries). *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 8(4), 243–256.
- Amrit, R., Rawlings, J. B., & Biegler, L. T. (2013). Optimizing process economics online using model predictive control. *Computers and Chemical Engineering*, 58, 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.07.015>.
- Åström, K., & Wittenmark, B. (1971). Problems of identification and control. *Journal Of Mathematical Analysis And Applications*, 34(1), 90-113. doi: 10.1016/0022-247x(71)90161-2.
- Baray, A. (2008). *Üretimde Varyasyon – İstatistiksel Yaklaşım* (1. Baskı). İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Bissel. (1994). Statistical Methods for SPC and TOM. In *Springer Science Business Media, B.V.* (Vol. 91).
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (3rd Ed.). New Jersey.: Prentice-Hall, Inc.
- Box and MacGregor. (1976). Parameter estimation with closed-loop operating data. *Technometrics*, 18(4), 371–384.
- Box, G. E. P., Coleman, D. E., & Baxley, R. V. (1997). A Comparison of Statistical Process Control and Engineering Process Control. *Journal of Quality Technology*, 29(2), 128–130. <https://doi.org/10.1080/00224065.1997.11979740>.
- Box, G., Hunter, W., & Hunter, J. (1978). *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis, and model building*. New York - Chichester etc: Wiley XVIII.
- Box, G. E. P., & Jenkins, G. M. (1970). *Time Series Analysis Forecasting and Control*. Holden Day Inc.
- Box, G. E. P., & Luceno, A. (2012). *Statistical Control: By Monitoring and Feedback Adjustment* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Box, G., & Kramer, T. (1992). Statistical process monitoring and feedback adjustment—a discussion. *Technometrics*, 34(3), 251–267. <https://doi.org/10.1080 /00401706.1992.10485271>.

- Brence, J. R., & Mastrangelo, C. M. (2006). Parameter selection for a robust tracking signal. *Quality and Reliability Engineering International*, 22(4), 493–502. <https://doi.org/10.1002/qre.724>.
- Castillo, E. del. (2002). *Statistical Process Adjustment for Quality Control*. Wiley-Interscience; 1 edition (April 4, 2002).
- Chang, H.-K., Qasaimeh, A., Lu, S. S., & Lu, H. (2016). Intelligent Integration of SPC/EPC for Quality Control and Fault Diagnosis. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, 4(3), 191–197. <https://doi.org/10.18178/jiii.4.3.191-197>.
- Chang, S., & Zhang, K. (2007). Statistical Process Control for Variance Shift Detections of Multivariate Autocorrelated Processes. *Quality Technology & Quantitative Management*, 4(3), 413-435. doi: 10.1080/16843703.2007.11673161.
- Chen, & Elsayed. (2000). An alternative mean estimator for processes monitored by spc charts. *International Journal of Production Research*, 38(13), 3093–3109.
- Chopra, S. (2012). *Supply chain management*. Boston: Pearson.
- De la Torre-Gutiérrez, H., & Pham, D. (2019). A control chart pattern recognition system for feedback-control processes. *Expert Systems with Applications*, 138, 112826. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112826>.
- Duffuaa, S. O., Khurshed, S. N., & Noman, S. M. (2004). Integrating statistical process control, engineering process control and Taguchi's quality engineering. *International Journal of Production Research*, 42(19), 4109–4118. <https://doi.org/10.1080/00207540410001704069>.
- Dunn, K. (2015). *Process Improvement using Data*. (December). Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=pid>.
- Ertaş, N., & Doğruer, Y. (2010). Besinlerde Tekstür. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 7(1), 35–42.
- Evans, J. R., ve Lindsay, W. M. (1996). *The Management and Control of Quality (3rd ed.)*. (3rd Ed.). Minneapolis West.
- Fildes, R., Hibon, M., Makridakis, S., & Meade, N. (1998). Generalising about univariate forecasting methods: Further empirical evidence. *International Journal of Forecasting*, 14(3), 339–358. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(98\)00009-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(98)00009-0).
- Franco-Santos, M., Kennerley, M., Micheli, P., Martinez, V., Mason, S., Marr, B., Neely, A. (2007). Towards a definition of a business performance measurement system. *International Journal of Operations and Production Management*, 27(8), 784–801. <https://doi.org/10.1108/01443570710763778>.

- Gardner, J. E. S. (1985). Exponential smoothing: The state of the art. *Journal of Forecasting*, 4, 1–28.
- Guo, R.S., Chen, A. (2000). *An enhanced EWMA controller for processes subject to random disturbances*. CRC press.
- Han, W., Zhuo, Y., Tang, C., Liu, W., Zhou, S., Liu, S., ... Xie, K. (2019). *Analytical Analysis of Multiscale Entropy of Time Series : White Noise and 1 / f Noise*. 91, 202–209.
- Hoer, R. W., & Palm, A. C. (1992). Discussion: Integrating SPC and APC. *Technometrics*, 34(3), 268–272. <https://doi.org/10.1080/00401706.1992.10485272>.
- Hu, Y., & Cheng, X. (2012). A quality control approach of PVC gloves based on the integration of SPC and EPC. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 41(24), 4470–4483. <https://doi.org/10.1080/03610926.2012.728276>.
- Huang, C. H., & Lin, Y. N. (2002). Decision rule of assignable causes removal under an SPC-EPC integration system. *International Journal of Systems Science*, 33(10), 855–867. <https://doi.org/10.1080/00207720210167005>.
- Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K., & Snyder, R. D. (2008). *Springer Series in Statistics Forecasting with Exponential Smoothing*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-71918-2>
- John, B., & Singhal, S. (2019). An application of integrated EPC–SPC methodology for simultaneously monitoring multiple output characteristics. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 36(5), 669–685. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2018-0104>.
- Kruger, U., & Xie, L. (2012). Statistical Monitoring of Complex Multivariate Processes. In *Statistical Monitoring of Complex Multivariate Processes*. <https://doi.org/10.1002/9780470517253>.
- Kusano, T., Liu, Y., Paliyawan, P., Thawonmas, R., & Harada, T. (2019). Motion Gaming AI using Time Series Forecasting and Dynamic Difficulty Adjustment. *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, CIG*, 2019-August. <https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8847991>.
- Lee, M. H. (2010). Economic Design of Cumulative Sum Control Charts for Monitoring a Process with Correlated Samples. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 39(10), 1909–1922. <https://doi.org/10.1080/03610918.2010.524333>.
- Luceno, A. (1993). Performance of EWMA versus last observation for feedback control. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 22(1), 241–255.
- MacGregor, J. (1988). On-line statistical process control. *Chem. Eng. Prog.*, 84, 10, 21-31, 1988.
- MacGregor, J. F. (1991). Discussion of Some statistical process control methods for autocorrelated data. *Journal of Quality Technology*, 198–199.

- MacGregor, John F., Jaeckle, C., Kiparissides, C., & Koutoudi, M. (1994). Process monitoring and diagnosis by multiblock PLS methods. *AIChE Journal*, 40(5), 826–838. <https://doi.org/10.1002/aic.690400509>.
- Makridakis, S., & Hibon, M. (1997). ARMA models and the Box-Jenkins methodology. *Journal of Forecasting*, 16(3), 147–163. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-131X\(199705\)16:3<147::AID-FOR652>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-131X(199705)16:3<147::AID-FOR652>3.0.CO;2-X).
- Messina, W. S. (1992). *Strategies for the integration of statistical and engineering process control*.
- Montgomery, D. (2012). *Statistical Quality Control, 7th Edition*. John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. (2009). Introduction to Statistical Quality Control. In *Plastics and rubber international* (6th Edition, Vol. 10). <https://doi.org/10.2307/2988304>.
- Montgomery, D., Keats, J., Runger, G., & Messina, W. (1994). Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control. *Journal Of Quality Technology*, 26(2), 79-87. doi: 10.1080/00224065.1994.11979508.
- Montgomery D. and Mastrangelo, C. M. (1991). Some statistical process control methods for autocorrelated data. *Journal of Quality Technology*, 179–204.
- Montgomery, D., Jennings, C., & Kulahci, M. (2008). *Solutions manual to accompany Introduction to time series analysis and forecasting*. Hoboken: Wiley.
- Musheng, Y., & Yu, Z. (2007). Intelligent integrated method of EPC and SPC in manufacturing process quality control. *2007 IEEE International Conference on Control and Automation, ICCA*, 1812–1816. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2007.4376674>.
- Pan, R., & Del Castillo, E. (2003). Integration of sequential process adjustment and process monitoring techniques. *Quality and Reliability Engineering International*, 19(4), 371–386. <https://doi.org/10.1002/qre.590>.
- Park, C. (2007). An algorithm for the properties of the integrated process control with bounded adjustments and EWMA monitoring. *International Journal of Production Research*, 45(23), 5571–5587. <https://doi.org/10.1080/00207540701325397>.
- Park, Changsoon. (2010). Linear filter model representations for integrated process control with repeated adjustments and monitoring. *Journal of the Korean Statistical Society*, 39(2), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.jkss.2009.05.004>.
- Park, Changsoon, & Reynolds, M. R. (2008). Economic design of an integrated process control procedure with repeated adjustments and EWMA monitoring. *Journal of the Korean Statistical Society*, 37(2), 155–174. <https://doi.org/10.1016/j.jkss.2007.10.005>.
- Pegels, C. C. (1969). Exponential Forecasting : Some New Variations. *Management Science*, 15(5), 311–315.

- Qui, P. (2014). Introduction to statistical process control. In *Taylor & Francis/CRC*. <https://doi.org/10.1080/00224065.2014.11917963>.
- Roberts, S. A. (1982). A General Class of Holt-Winters Type Forecasting Models. *Management Science*, 28(7), 808–820. <https://doi.org/10.1287/mnsc.28.7.808>.
- Roslan, A. H., Abd Karim, S. F., & Hamzah, N. (2018). Performance analysis of different tuning rules for an isothermal CSTR using integrated EPC and SPC. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/334/1/012019>.
- Saif, A. W. (2019). A Frame Work for the Integration of Statistical Process Control and Engineering Process Control. *2019 Industrial and Systems Engineering Conference, ISEC 2019*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IASEC.2019.8686557>.
- Schippers, W. A. J. (2001). An integrated approach to process control Werner. *Int. J. Production Economics*, 69, 93–105. <https://doi.org/10.1176/ajp.154.4.510>.
- Seborg, D. E., Edgar, T. F., & Mellichamp, D. A. (2017). *Process Dynamics and Control, 4th Edition*.
- Shao, Y. E. (2014). Recognition of process disturbances for an SPC/EPC stochastic system using support vector machine and artificial neural network approaches. *Abstract and Applied Analysis*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/519705>.
- Shao, Y. E., & Chiu, C. C. (2016). Applying emerging soft computing approaches to control chart pattern recognition for an SPC–EPC process. *Neurocomputing*, 201, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.04.004>.
- Shao, Y. E., & Wang, Y.-H. (2016). Computational Intelligence Approaches for Determination of Process Disturbance Patterns in an SPC-EPC System. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, 4(2), 136–140. <https://doi.org/10.18178/jiii.4.2.136-140>.
- Siddiqui, Y. A., Saif, A. W. A., Cheded, L., Elshafei, M., & Rahim, A. (2015). Integration of multivariate statistical process control and engineering process control: a novel framework. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(1–4), 259–268. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6641-6>.
- Taguchi G. (1985). Quality Engineering in Japan. *Theory and Methods*, 2785–2801.
- Tommy, R., Mhaisekar, M., Kallepally, S., Varghese, L., Ahmed, S., & Somaraju, M. D. (2016). Dynamic quality control in agile methodology for improving the quality. *2015 IEEE International Conference on Computer Graphics, Vision and Information Security, CGVIS 2015*, 233–236. <https://doi.org/10.1109/CGVIS.2015.7449927>.
- Tseng, S. T., Yeh, A. B., Tsung, F., & Chan, Y. Y. (2003). A study of variable EWMA controller. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 16(4), 633–643. <https://doi.org/10.1109/TSM.2003.818960>.

- Vander, S. A., Tucker, W. T., Faltin, F. W., Wiel, S. A. Vander, Tucker, T., & Faltin, W. (1992). *Statistical Process Control : Algorithmic Concepts and an Application*. 34(3), 286–297.
- Vander Wiel, S. A., & Vardeman, S. B. (1992). Statistical Process Monitoring and Feedback Adjustment: Discussion. *Technometrics*, 34(3), 278–281. <https://doi.org/10.2307/1270032>
- Wetherill, G., & Brown, D. (1991). *Statistical process control*. London: Chapman & Hall.
- Wiklund, S. (1992). Estimating the process mean when using control charts. *Economic Quality Control*, (7), 105–120.
- Yamak, O. (2015). *Kalite Odaklı Mükemmellik* (1. Basım). İstanbul: Nobel Yayınevi.
- Yao, D. D., & Zheng, S. (2002). Dynamic Control of Quality in Production-Inventory Systems: Coordination and Optimization. *Springer Series in Operations Research*, 218.

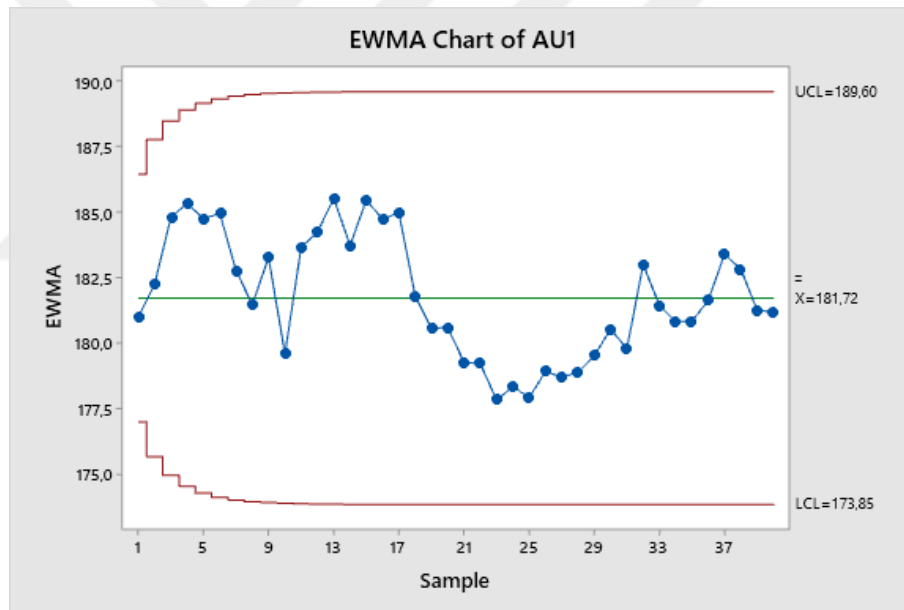
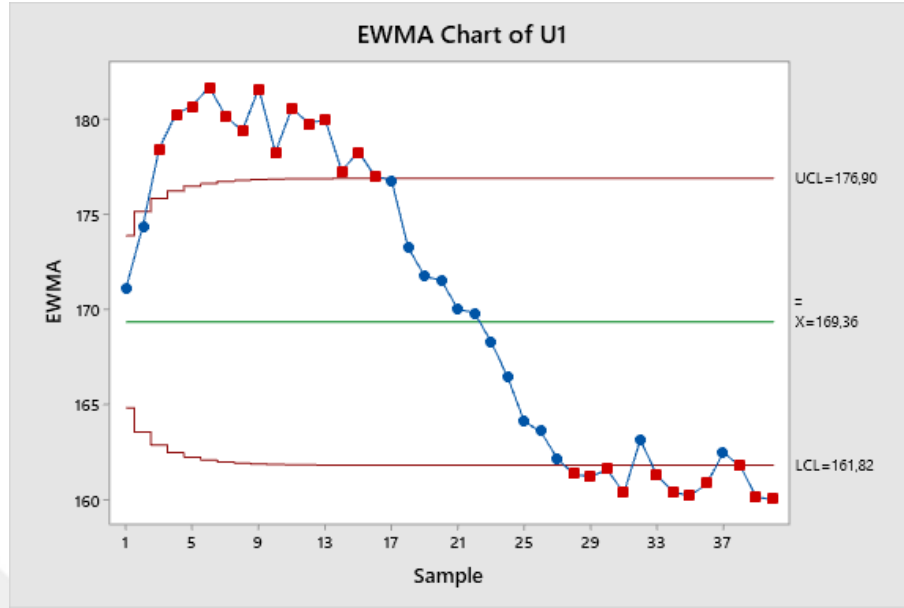


EKLER

EK 1. Uygulama 1'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U1	AU1	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	178,23	178,23	178,23	0,00	0,00
2	187,21	187,21	182,72	0,00	0,00
3	194,99	194,99	188,86	0,00	0,00
4	187,45	187,45	188,15	0,00	0,00
5	182,42	182,42	185,29	0,00	0,00
6	185,77	185,77	185,53	0,00	0,00
7	174,04	174,04	179,79	0,00	0,00
8	176,27	176,27	178,03	0,00	0,00
9	190,53	190,53	184,28	0,00	0,00
10	164,82	164,82	174,55	10,00	10,00
11	189,96	199,96	187,25	0,00	10,00
12	176,56	186,55	186,90	0,00	10,00
13	180,75	190,74	188,82	0,00	10,00
14	166,50	176,49	182,66	0,00	10,00
15	182,42	192,42	187,54	0,00	10,00
16	171,79	181,79	184,66	0,00	10,00
17	176,03	186,02	185,34	0,00	10,00
18	159,09	169,08	177,21	0,00	10,00
19	165,66	175,66	176,43	0,00	10,00
20	170,69	180,68	178,56	0,00	10,00
21	163,98	173,98	176,27	0,00	10,00
22	169,01	179,01	177,64	0,00	10,00
23	162,31	172,30	174,97	11,46	21,45
24	158,96	180,41	177,69	0,00	21,45
25	154,77	176,22	176,95	0,00	21,45
26	161,47	182,92	179,94	0,00	21,45
27	156,44	177,89	178,92	0,00	21,45
28	158,12	179,57	179,24	0,00	21,45
29	160,63	182,09	180,66	0,00	21,45
30	163,15	184,60	182,63	0,00	21,45
31	155,35	176,80	179,72	0,00	21,45
32	174,44	195,89	187,80	0,00	21,45
33	153,72	175,17	181,49	0,00	21,45
34	156,95	178,40	179,94	0,00	21,45
35	159,43	180,88	180,41	0,00	21,45
36	163,37	184,82	182,62	0,00	21,45
37	169,01	190,47	186,54	0,00	21,45
38	159,08	180,53	183,54	0,00	21,45
39	153,52	174,98	179,26	0,00	21,45
40	159,49	180,94	180,10	0,00	21,45

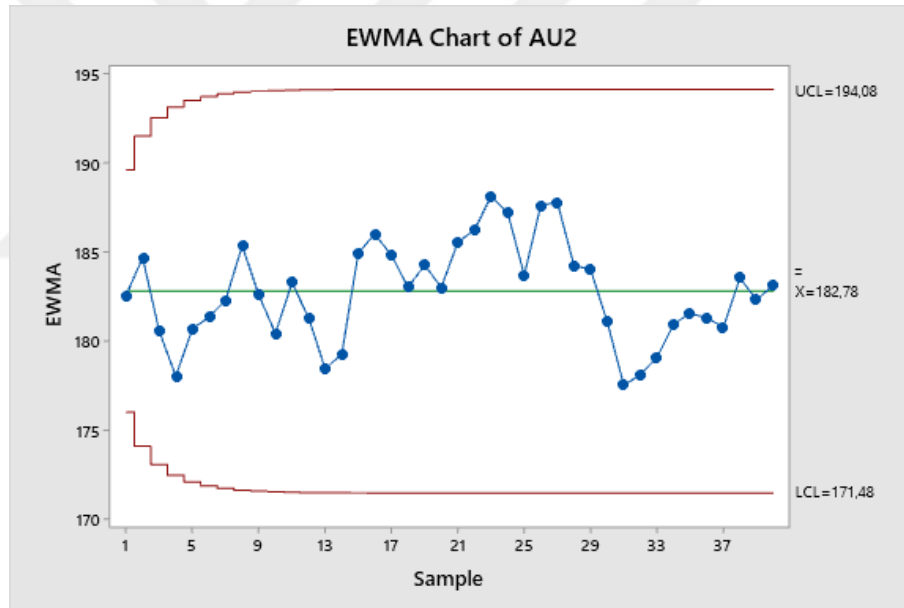
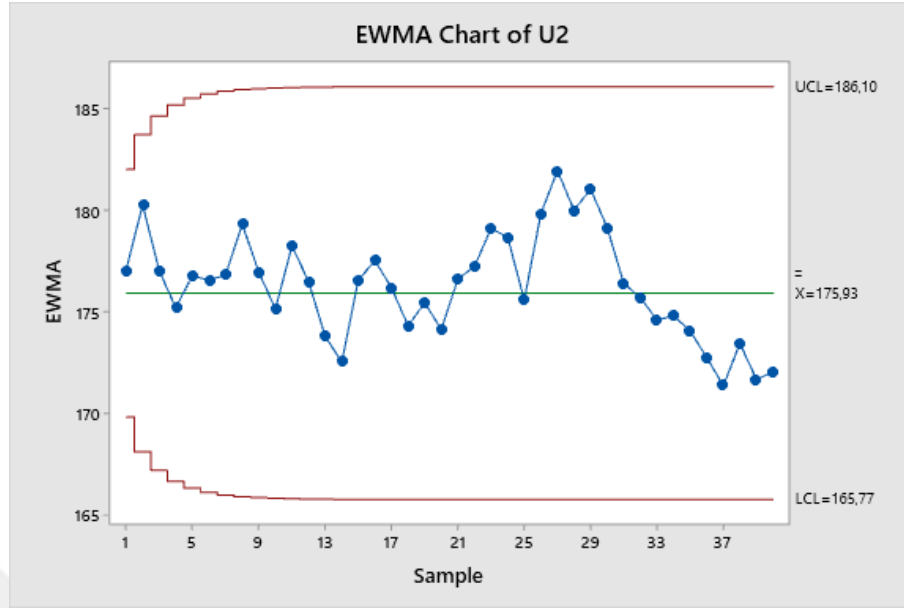
EK 2. Uygulama 1'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 3. Uygulama 2'nin gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U2	AU2	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	181,56	181,56	181,56	0,00	0,00
2	193,17	193,17	187,37	0,00	0,00
3	164,05	164,05	175,71	0,00	0,00
4	167,89	167,89	171,80	8,21	8,21
5	183,16	191,37	181,58	0,00	8,21
6	175,65	183,86	182,72	0,00	8,21
7	177,91	186,12	184,42	0,00	8,21
8	189,30	197,51	190,97	-4,25	3,96
9	167,57	171,53	181,25	0,00	3,96
10	167,84	171,81	176,53	0,00	3,96
11	190,67	194,63	185,58	0,00	3,96
12	169,51	173,47	179,52	0,00	3,96
13	163,03	166,99	173,26	11,04	15,00
14	167,46	182,46	177,86	0,00	15,00
15	192,71	207,71	192,78	-6,23	8,76
16	181,36	190,12	191,45	0,37	9,13
17	170,87	180,01	185,73	0,00	9,13
18	166,78	175,91	180,82	0,00	9,13
19	180,07	189,20	185,01	0,00	9,13
20	168,82	177,96	181,48	0,00	9,13
21	186,57	195,71	188,60	0,00	9,13
22	179,74	188,88	188,74	0,00	9,13
23	186,57	195,71	192,22	-2,66	6,48
24	177,01	183,49	187,86	0,00	6,48
25	163,19	169,67	178,76	0,00	6,48
26	196,81	203,28	191,02	-8,62	-2,14
27	190,47	188,33	189,68	0,00	-2,14
28	172,24	170,10	179,89	0,00	-2,14
29	185,21	183,06	181,47	0,00	-2,14
30	171,55	169,41	175,44	0,00	-2,14
31	165,41	163,27	169,36	9,65	7,51
32	172,92	180,43	174,89	5,28	12,79
33	170,19	182,98	178,94	0,00	12,79
34	175,65	188,44	183,69	0,00	12,79
35	171,05	183,85	183,77	0,00	12,79
36	167,56	180,35	182,06	0,00	12,79
37	165,82	178,62	180,34	0,00	12,79
38	181,79	194,59	187,46	0,00	12,79
39	164,52	177,31	182,39	0,00	12,79
40	173,60	186,40	184,39	0,00	12,79

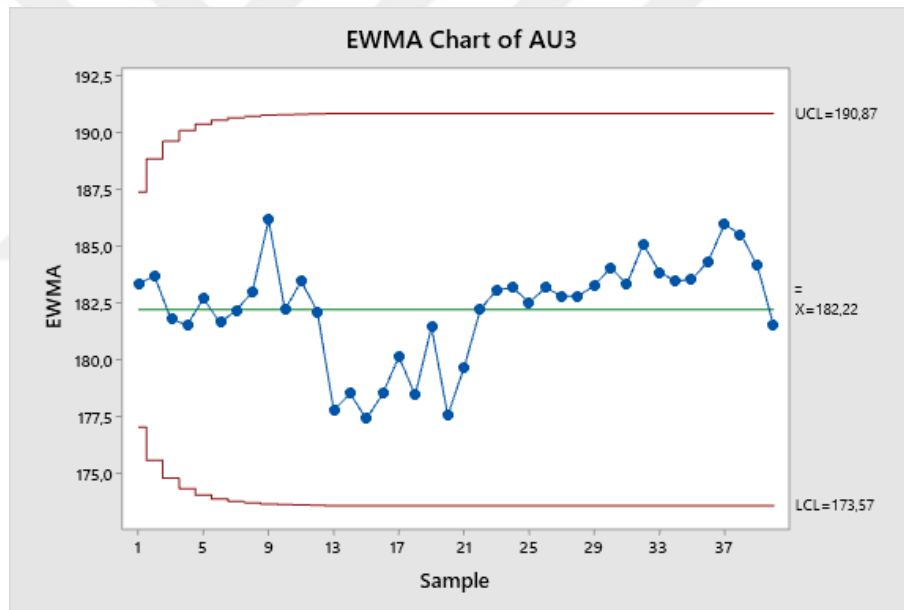
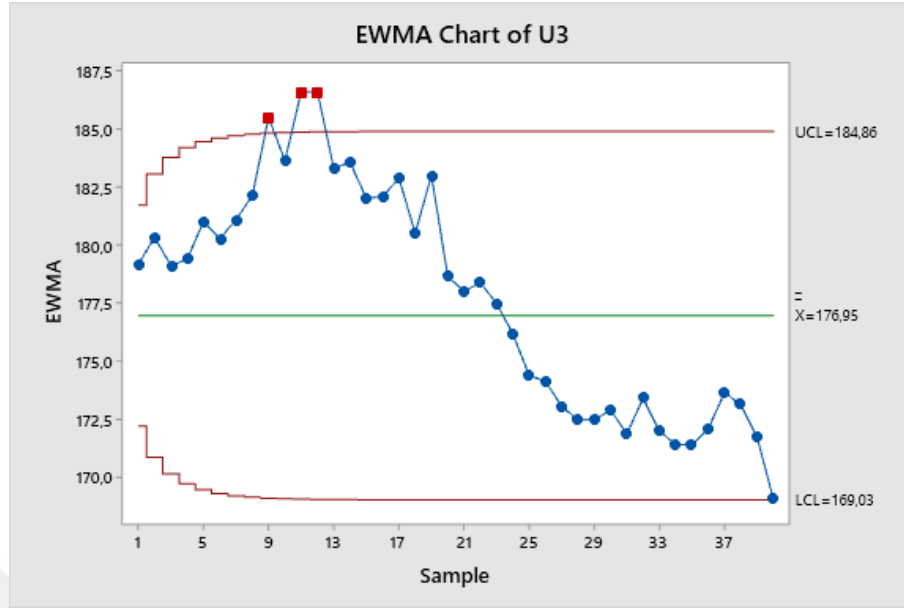
EK 4. Uygulama 2'nin gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 5. Uygulama 3'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U3	AU3	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	188,02	188,02	188,02	0,00	0,00
2	184,91	184,91	186,46	0,00	0,00
3	174,21	174,21	180,34	0,00	0,00
4	180,54	180,54	180,44	0,00	0,00
5	187,42	187,42	183,93	0,00	0,00
6	177,34	177,34	180,63	0,00	0,00
7	184,30	184,30	182,47	0,00	0,00
8	186,28	186,28	184,37	0,00	0,00
9	198,92	198,92	191,65	-9,85	-9,85
10	176,13	166,29	178,97	0,00	-9,85
11	198,42	188,58	183,77	0,00	-9,85
12	186,53	176,69	180,23	0,00	-9,85
13	170,18	160,33	170,28	6,88	-2,97
14	184,54	181,57	175,93	0,00	-2,97
15	175,83	172,86	174,39	3,59	0,62
16	182,31	182,93	178,66	0,00	0,62
17	186,06	186,69	182,67	0,00	0,62
18	171,05	171,67	177,17	0,00	0,62
19	192,88	193,50	185,34	0,00	0,62
20	161,33	161,95	173,64	12,03	12,65
21	175,39	188,04	180,84	0,00	12,65
22	179,85	192,50	186,67	0,00	12,65
23	173,90	186,55	186,61	0,00	12,65
24	170,93	183,58	185,09	0,00	12,65
25	167,21	179,86	182,48	0,00	12,65
26	173,16	185,81	184,14	0,00	12,65
27	168,70	181,35	182,75	0,00	12,65
28	170,19	182,84	182,79	0,00	12,65
29	172,42	185,07	183,93	0,00	12,65
30	174,65	187,29	185,61	0,00	12,65
31	167,73	180,38	182,99	0,00	12,65
32	179,56	192,21	187,60	0,00	12,65
33	166,28	178,93	183,27	0,00	12,65
34	169,15	181,80	182,53	0,00	12,65
35	171,35	184,00	183,27	0,00	12,65
36	174,84	187,49	185,38	0,00	12,65
37	179,85	192,50	188,94	0,00	12,65
38	171,04	183,69	186,31	0,00	12,65
39	166,11	178,76	182,54	0,00	12,65
40	158,41	171,06	176,80	0,00	12,65

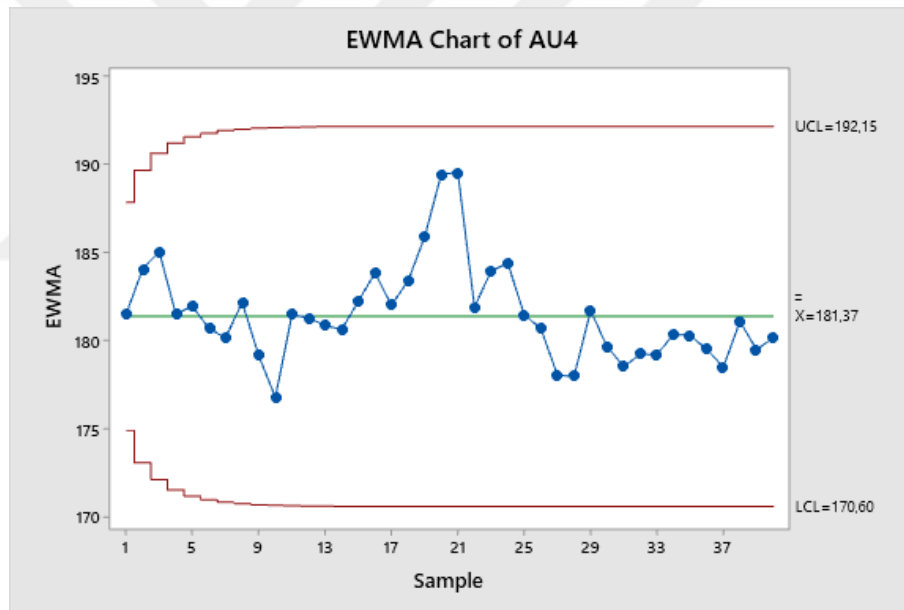
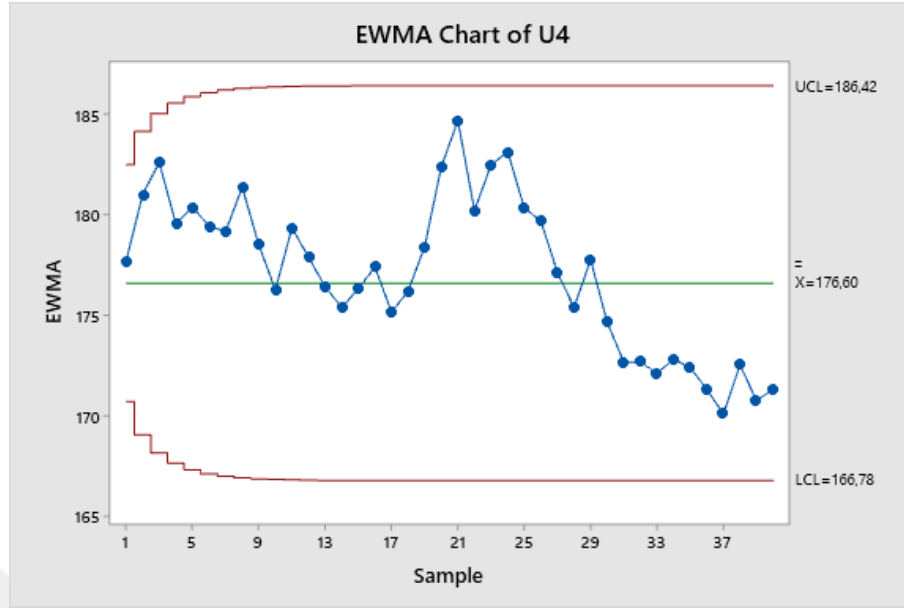
EK 6. Uygulama 3'ün gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 7. Uygulama 4'ün gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U4	AU4	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	181,96	181,96	181,96	0,00	0,00
2	194,36	194,36	188,16	0,00	0,00
3	188,99	188,99	188,58	0,00	0,00
4	167,38	167,38	177,98	0,00	0,00
5	183,67	183,67	180,82	0,00	0,00
6	175,66	175,66	178,24	0,00	0,00
7	178,07	178,07	178,16	0,00	0,00
8	190,23	190,23	184,19	0,00	0,00
9	167,03	167,03	175,61	0,00	0,00
10	167,33	167,33	171,47	8,54	8,54
11	191,68	200,22	185,84	0,00	8,54
12	172,01	180,55	183,20	0,00	8,54
13	170,56	179,10	181,15	0,00	8,54
14	171,29	179,82	180,49	0,00	8,54
15	180,03	188,57	184,53	0,00	8,54
16	181,75	190,29	187,41	0,00	8,54
17	166,19	174,72	181,07	0,00	8,54
18	180,37	188,91	184,99	0,00	8,54
19	187,31	195,85	190,42	-3,09	5,45
20	198,24	203,69	197,05	-9,45	-4,00
21	193,87	189,87	193,46	-6,91	-10,91
22	162,36	151,45	172,46	11,43	0,52
23	191,47	191,99	182,23	0,00	0,52
24	185,85	186,38	184,30	0,00	0,52
25	169,10	169,62	176,96	0,00	0,52
26	177,11	177,63	177,30	0,00	0,52
27	166,92	167,44	172,37	8,78	9,30
28	168,37	177,67	175,02	0,00	9,30
29	187,31	196,61	185,81	0,00	9,30
30	162,19	171,49	178,65	0,00	9,30
31	164,73	174,03	176,34	0,00	9,30
32	172,74	182,04	179,19	0,00	9,30
33	169,83	179,13	179,16	0,00	9,30
34	175,66	184,95	182,06	0,00	9,30
35	170,75	180,05	181,05	0,00	9,30
36	167,02	176,32	178,69	0,00	9,30
37	165,17	174,47	176,58	0,00	9,30
38	182,21	191,51	184,04	0,00	9,30
39	163,78	173,07	178,56	0,00	9,30
40	173,47	182,77	180,66	0,00	9,30

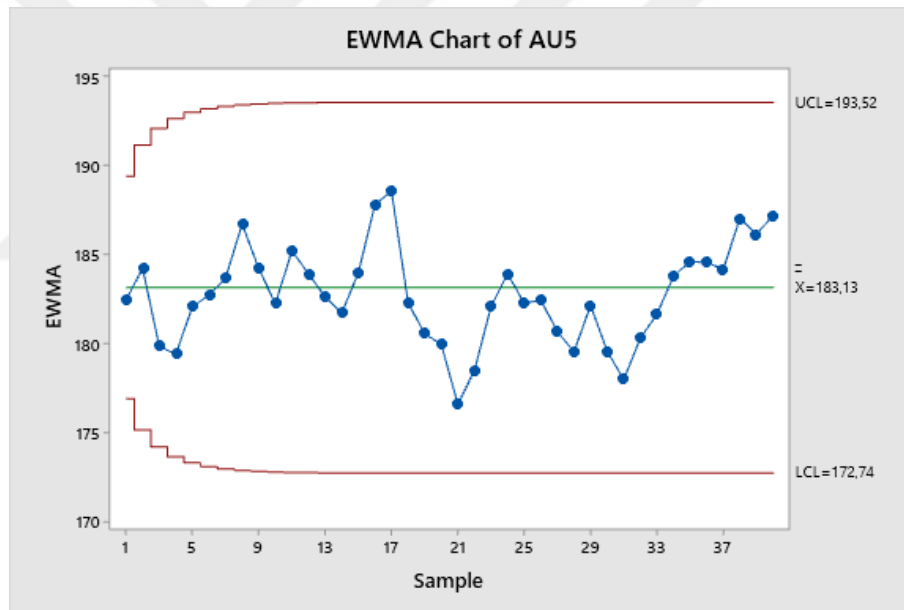
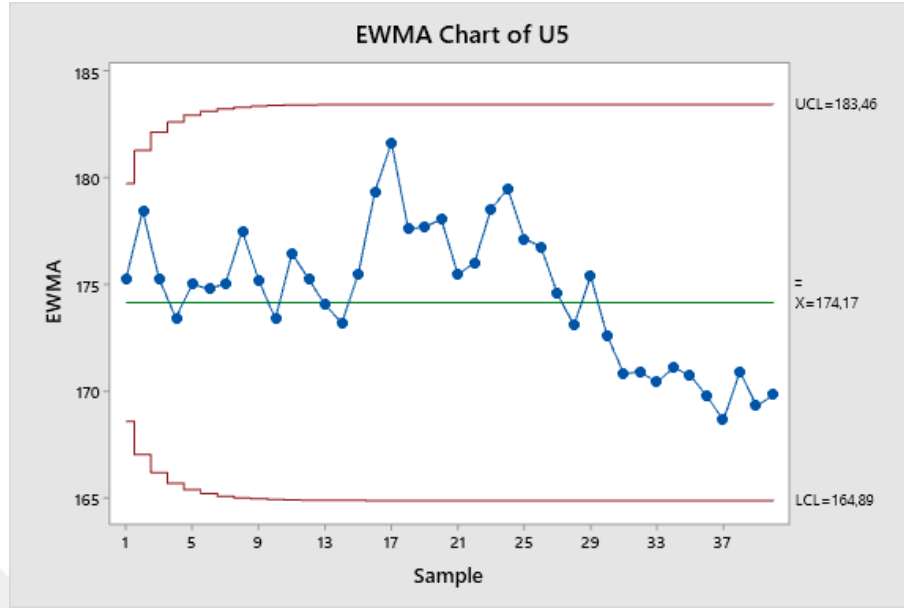
EK 8. Uygulama 4'ün gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 9. Uygulama 5'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U5	AU5	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	179,74	179,74	179,74	0,00	0,00
2	191,24	191,24	185,49	0,00	0,00
3	162,41	162,41	173,95	11,40	11,40
4	166,21	177,61	175,78	0,00	11,40
5	181,33	192,73	184,25	0,00	11,40
6	173,89	185,29	184,77	0,00	11,40
7	176,13	187,53	186,15	0,00	11,40
8	187,41	198,81	192,48	-3,15	8,25
9	165,89	174,15	183,31	0,00	8,25
10	166,17	174,42	178,87	0,00	8,25
11	188,76	197,01	187,94	0,00	8,25
12	170,51	178,77	183,35	0,00	8,25
13	169,16	177,42	180,39	0,00	8,25
14	169,84	178,09	179,24	0,00	8,25
15	184,70	192,96	186,10	0,00	8,25
16	194,84	203,10	194,60	-7,47	0,78
17	190,79	191,57	193,08	-5,11	-4,33
18	161,56	157,23	175,16	0,00	-4,33
19	177,95	173,62	174,39	2,36	-1,97
20	179,55	177,58	175,98	0,00	-1,97
21	165,11	163,14	169,56	9,83	7,86
22	178,27	186,12	177,84	0,00	7,86
23	188,57	196,42	187,13	0,00	7,86
24	183,35	191,21	189,17	0,00	7,86
25	167,81	175,67	182,42	0,00	7,86
26	175,24	183,10	182,76	0,00	7,86
27	165,78	173,64	178,20	0,00	7,86
28	167,14	174,99	176,60	0,00	7,86
29	184,70	192,56	184,58	0,00	7,86
30	161,40	169,26	176,92	0,00	7,86
31	163,76	171,61	174,27	10,61	18,47
32	171,19	189,66	181,96	0,00	18,47
33	168,49	186,96	184,46	0,00	18,47
34	173,89	192,37	188,41	0,00	18,47
35	169,34	187,81	188,11	0,00	18,47
36	165,88	184,36	186,23	0,00	18,47
37	164,16	182,64	184,44	0,00	18,47
38	179,97	198,45	191,44	1,18	19,65
39	162,87	182,52	186,98	0,00	19,65
40	171,87	191,52	189,25	0,00	19,65

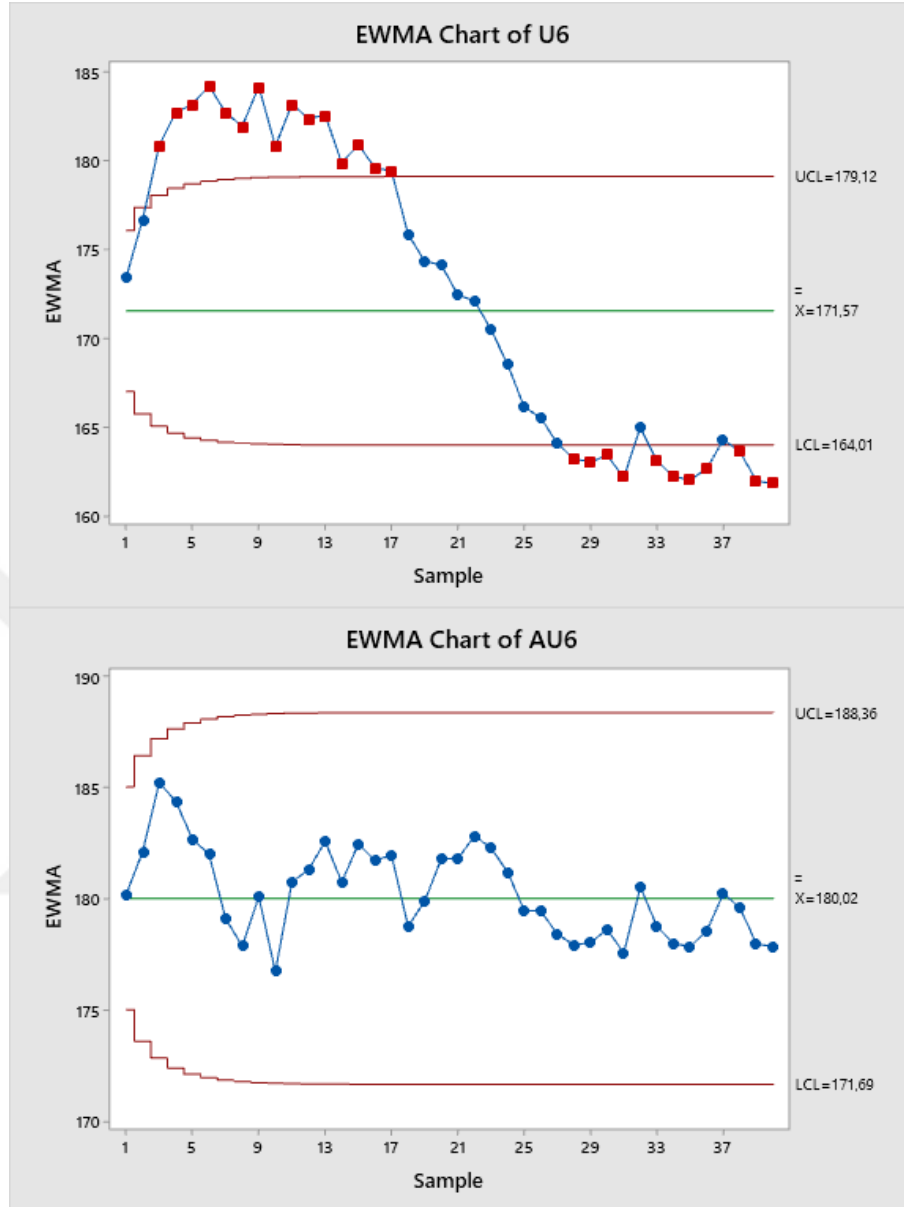
EK 10. Uygulama 5'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 11. Uygulama 6'nın gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U6	AU6	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	180,85	180,85	180,85	0,00	0,00
2	189,83	189,83	185,34	0,00	0,00
3	197,61	197,61	191,48	-9,08	-9,08
4	190,07	180,99	186,23	0,00	-9,08
5	185,04	175,96	181,09	0,00	-9,08
6	188,39	179,31	180,20	0,00	-9,08
7	176,66	167,58	173,89	3,11	-5,98
8	178,89	172,91	173,40	1,81	-4,17
9	193,15	188,98	181,19	0,00	-4,17
10	167,44	163,28	172,23	8,47	4,31
11	192,58	196,89	184,56	0,00	4,31
12	179,17	183,48	184,02	0,00	4,31
13	183,36	187,67	185,85	0,00	4,31
14	169,12	173,42	179,63	0,00	4,31
15	185,04	189,35	184,49	0,00	4,31
16	174,41	178,71	181,60	0,00	4,31
17	178,64	182,95	182,28	0,00	4,31
18	161,71	166,01	174,14	11,81	16,11
19	168,28	184,39	179,27	0,00	16,11
20	173,31	189,42	184,34	0,00	16,11
21	165,73	181,84	183,09	0,00	16,11
22	170,76	186,87	184,98	0,00	16,11
23	164,05	180,17	182,58	0,00	16,11
24	160,70	176,81	179,69	0,00	16,11
25	156,51	172,62	176,16	0,00	16,11
26	163,22	179,33	177,74	0,00	16,11
27	158,19	174,30	176,02	0,00	16,11
28	159,86	175,98	176,00	0,00	16,11
29	162,38	178,49	177,25	0,00	16,11
30	164,89	181,01	179,13	0,00	16,11
31	157,19	173,30	176,21	0,00	16,11
32	176,28	192,39	184,30	0,00	16,11
33	155,56	171,67	177,99	0,00	16,11
34	158,79	174,90	176,44	0,00	16,11
35	161,27	177,39	176,91	0,00	16,11
36	165,21	181,32	179,12	0,00	16,11
37	170,86	186,97	183,04	0,00	16,11
38	160,92	177,04	180,04	0,00	16,11
39	155,36	171,48	175,76	0,00	16,11
40	161,33	177,44	176,60	0,00	16,11

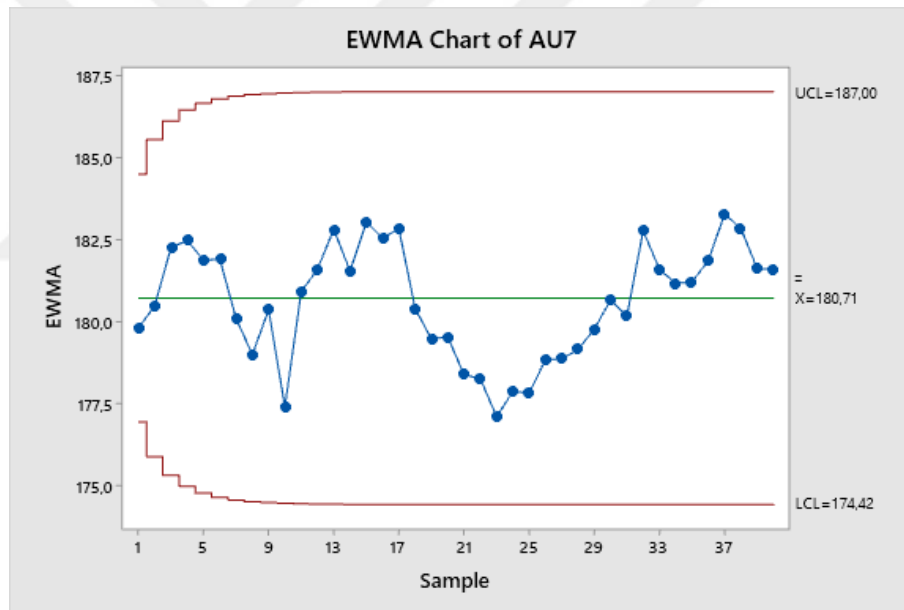
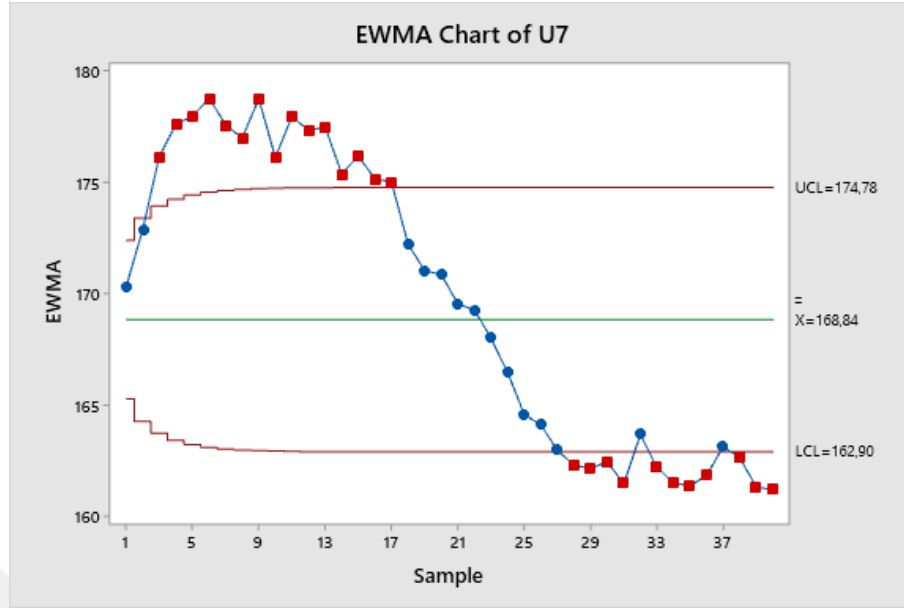
EK 12. Uygulama 6'nın gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 13. Uygulama 7'nin gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U7	AU7	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	176,1	176,14	176,14	0,00	0,00
2	183,20	183,20	179,67	0,00	0,00
3	189,32	189,32	184,49	0,00	0,00
4	183,39	183,39	183,94	0,00	0,00
5	179,44	179,44	181,69	0,00	0,00
6	182,07	182,07	181,88	0,00	0,00
7	172,85	172,85	177,36	0,00	0,00
8	174,60	174,60	175,98	0,00	0,00
9	185,81	185,81	180,89	0,00	0,00
10	165,60	165,60	173,25	9,54	9,54
11	185,36	194,91	184,08	0,00	9,54
12	174,82	184,37	184,22	0,00	9,54
13	178,12	187,66	185,94	0,00	9,54
14	166,92	176,46	181,20	0,00	9,54
15	179,44	188,98	185,09	0,00	9,54
16	171,08	180,62	182,85	0,00	9,54
17	174,41	183,95	183,40	0,00	9,54
18	161,09	170,64	177,02	0,00	9,54
19	166,26	175,80	176,41	0,00	9,54
20	170,21	179,75	178,08	0,00	9,54
21	164,26	173,80	175,94	0,00	9,54
22	168,21	177,75	176,85	0,00	9,54
23	162,94	172,48	174,66	11,09	20,63
24	160,30	180,94	177,80	0,00	20,63
25	157,01	177,64	177,72	0,00	20,63
26	162,28	182,91	180,32	0,00	20,63
27	158,33	178,96	179,64	0,00	20,63
28	159,65	180,28	179,96	0,00	20,63
29	161,62	182,25	181,11	0,00	20,63
30	163,60	184,23	182,67	0,00	20,63
31	157,54	178,18	180,42	0,00	20,63
32	172,55	193,18	186,80	0,00	20,63
33	156,26	176,89	181,85	0,00	20,63
34	158,80	179,43	180,64	0,00	20,63
35	160,75	181,39	181,01	0,00	20,63
36	163,85	184,48	182,75	0,00	20,63
37	168,29	188,92	185,83	0,00	20,63
38	160,48	181,11	183,47	0,00	20,63
39	156,11	176,74	180,11	0,00	20,63
40	160,80	181,43	180,77	0,00	20,63

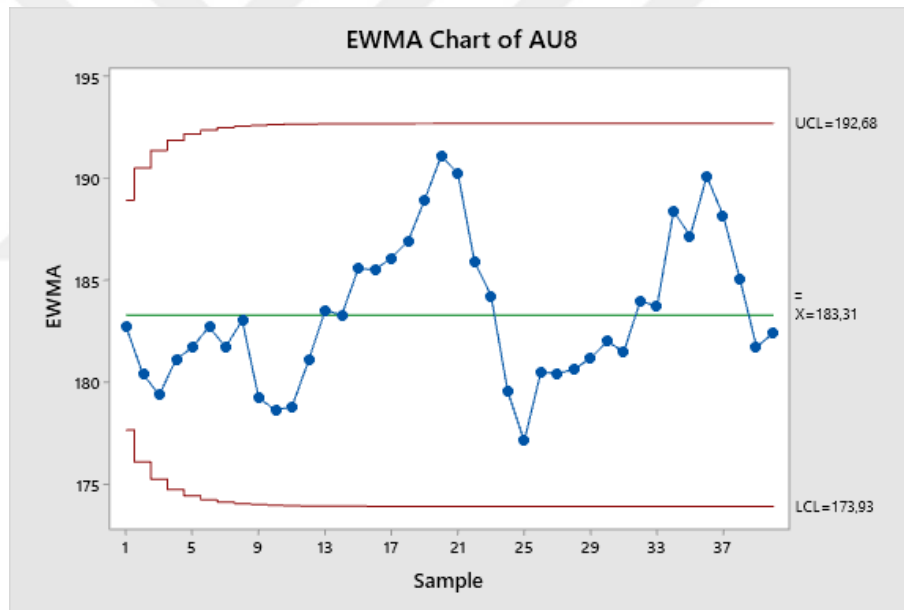
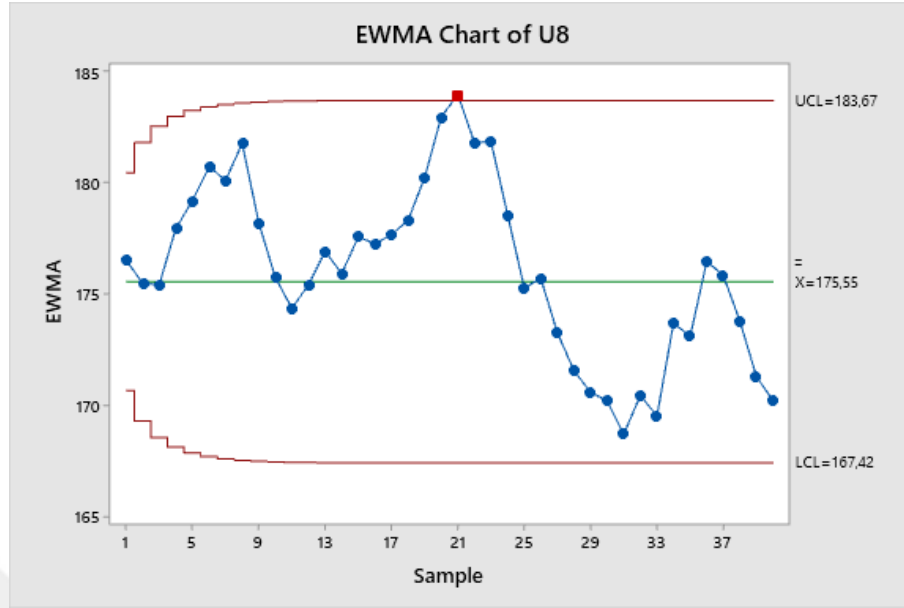
EK 14. Uygulama 7'nin gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 15. Uygulama 8'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U8	AU8	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	180,4	180,44	180,44	0,00	0,00
2	171,27	171,27	175,85	0,00	0,00
3	175,14	175,14	175,50	0,00	0,00
4	188,05	188,05	181,77	0,00	0,00
5	184,18	184,18	182,97	0,00	0,00
6	186,76	186,76	184,87	0,00	0,00
7	177,72	177,72	181,29	0,00	0,00
8	188,32	188,32	184,81	0,00	0,00
9	163,96	163,96	174,38	10,50	10,50
10	165,87	176,37	175,37	0,00	10,50
11	168,90	179,40	177,39	0,00	10,50
12	179,66	190,16	183,77	0,00	10,50
13	182,89	193,39	188,58	0,00	10,50
14	171,91	182,41	185,49	0,00	10,50
15	184,18	194,68	190,09	-1,27	9,23
16	175,99	185,22	187,65	0,00	9,23
17	179,25	188,48	188,07	0,00	9,23
18	180,95	190,18	189,13	0,00	9,23
19	187,86	197,10	193,11	-3,41	5,82
20	193,86	199,68	196,40	-6,90	-1,08
21	187,87	186,79	191,59	-3,42	-4,50
22	173,18	168,68	180,14	0,00	-4,50
23	181,98	177,48	178,81	0,00	-4,50
24	165,43	160,93	169,87	9,64	5,15
25	162,20	167,35	168,61	11,52	16,67
26	177,37	194,04	181,32	0,00	16,67
27	163,49	180,16	180,74	0,00	16,67
28	164,78	181,45	181,10	0,00	16,67
29	166,72	183,39	182,24	0,00	16,67
30	168,66	185,32	183,78	0,00	16,67
31	162,72	179,39	181,59	0,00	16,67
32	177,43	194,09	187,84	0,00	16,67
33	165,81	182,48	185,16	0,00	16,67
34	190,42	207,09	196,12	-4,90	11,77
35	170,62	182,39	189,26	0,00	11,77
36	189,99	201,75	195,50	-4,65	7,12
37	173,25	180,37	187,94	0,00	7,12
38	165,60	172,72	180,33	0,00	7,12
39	161,32	168,44	174,38	12,03	19,16
40	165,91	185,07	179,73	0,00	19,16

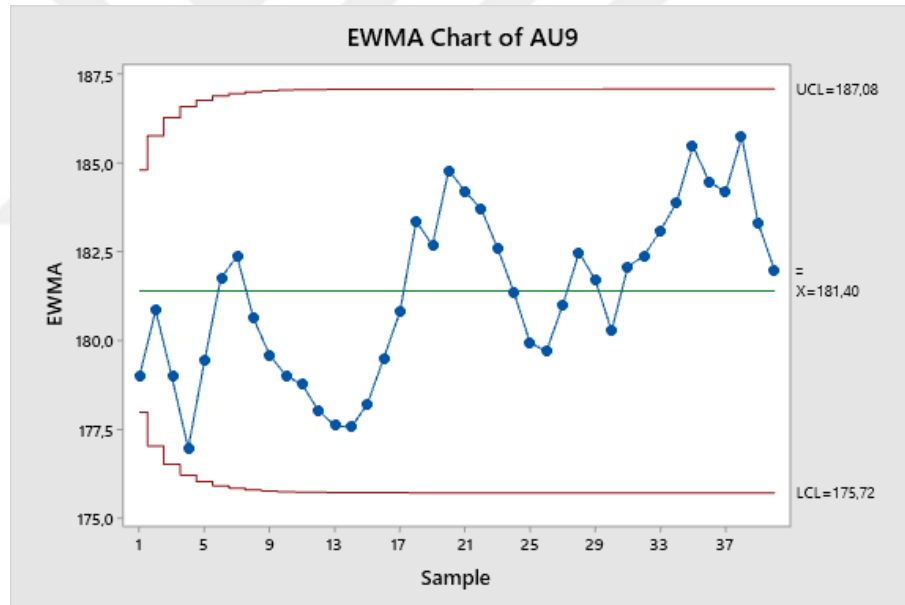
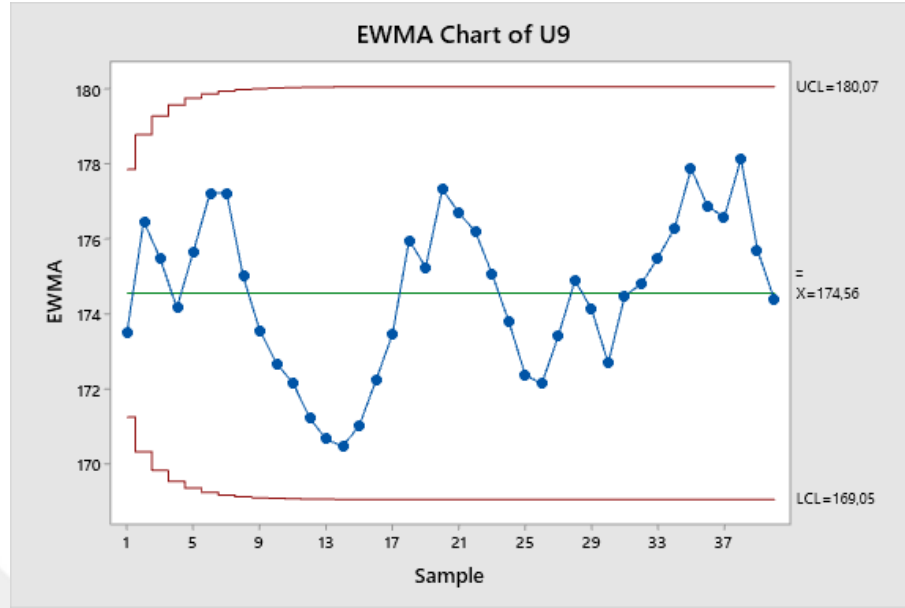
EK 16. Uygulama 8'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 17. Uygulama 9'un gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U9	AU9	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	169,35	169,35	169,35	7,36	0,00
2	188,33	188,33	178,84	0,00	0,00
3	171,47	171,47	175,16	0,00	0,00
4	168,93	168,93	172,04	7,60	7,60
5	181,68	189,29	180,67	0,00	7,60
6	183,46	191,06	185,86	0,00	7,60
7	177,25	184,86	185,36	0,00	7,60
8	166,09	173,70	179,53	0,00	7,60
9	167,80	175,41	177,47	0,00	7,60
10	169,12	176,72	177,09	0,00	7,60
11	170,14	177,75	177,42	0,00	7,60
12	167,48	175,09	176,26	0,00	7,60
13	168,37	175,98	176,12	0,00	7,60
14	169,70	177,30	176,71	0,00	7,60
15	173,26	180,87	178,79	0,00	7,60
16	177,05	184,65	181,72	0,00	7,60
17	178,43	186,03	183,88	0,00	7,60
18	185,97	193,57	188,73	0,00	7,60
19	172,38	179,98	184,35	0,00	7,60
20	185,67	193,28	188,81	0,00	7,60
21	174,18	181,79	185,30	0,00	7,60
22	174,13	181,74	183,52	0,00	7,60
23	170,59	178,19	180,85	0,00	7,60
24	168,81	176,42	178,64	0,00	7,60
25	166,60	174,20	176,42	0,00	7,60
26	171,20	178,80	177,61	0,00	7,60
27	178,58	186,19	181,90	0,00	7,60
28	180,80	188,40	185,15	0,00	7,60
29	171,03	178,63	181,89	0,00	7,60
30	166,96	174,56	178,23	0,00	7,60
31	181,68	189,29	183,76	0,00	7,60
32	176,06	183,67	183,71	0,00	7,60
33	178,30	185,91	184,81	0,00	7,60
34	179,47	187,07	185,94	0,00	7,60
35	184,21	191,82	188,88	0,00	7,60
36	172,82	180,43	184,65	0,00	7,60
37	175,48	183,08	183,87	0,00	7,60
38	184,34	191,95	187,91	0,00	7,60
39	165,99	173,60	180,75	0,00	7,60
40	169,15	176,75	178,75	0,00	7,60

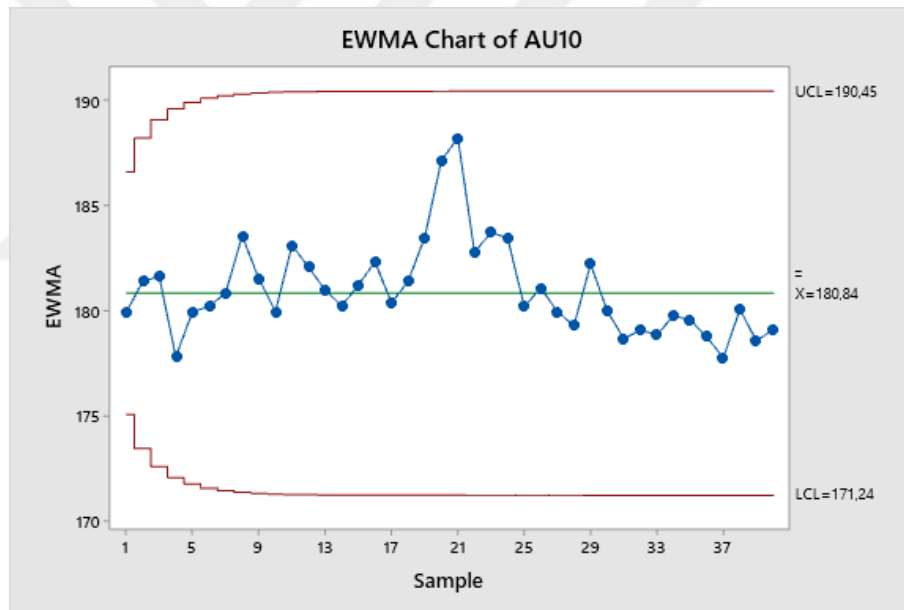
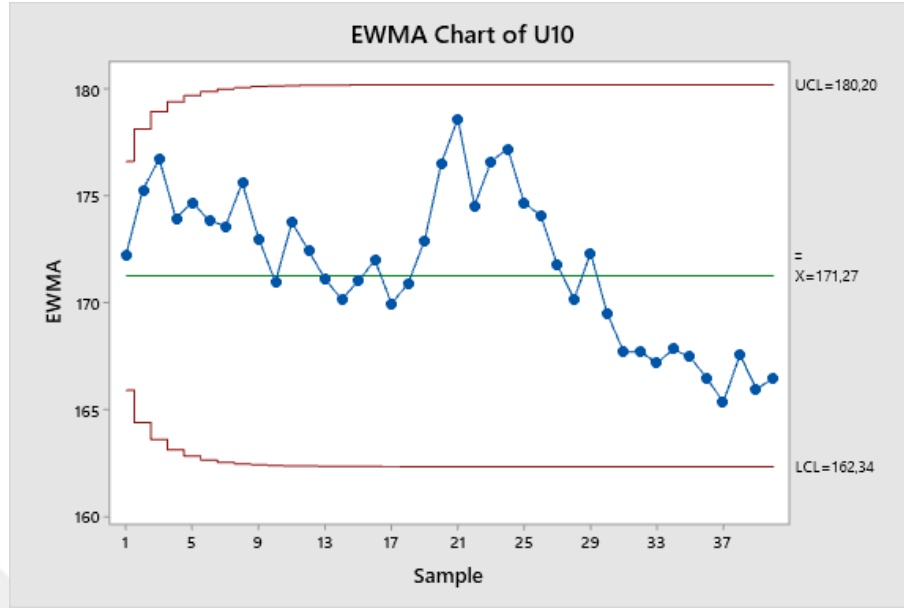
EK 18. Uygulama 9'un gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 19. Uygulama 10'un gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U10	AU10	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	176,15	176,15	176,15	0,00	0,00
2	187,42	187,42	181,78	0,00	0,00
3	182,54	182,54	182,16	-0,31	-0,31
4	162,89	162,57	172,37	11,12	10,81
5	177,70	188,51	180,44	0,00	10,81
6	170,42	181,22	180,83	0,00	10,81
7	172,61	183,42	182,12	0,00	10,81
8	183,66	194,47	188,29	0,00	10,81
9	162,57	173,38	180,84	0,00	10,81
10	162,84	173,65	177,24	0,00	10,81
11	184,98	195,79	186,52	0,00	10,81
12	167,10	177,91	182,21	0,00	10,81
13	165,78	176,59	179,40	0,00	10,81
14	166,44	177,25	178,32	0,00	10,81
15	174,39	185,19	181,76	0,00	10,81
16	175,96	186,76	184,26	0,00	10,81
17	161,81	172,61	178,44	0,00	10,81
18	174,70	185,51	181,97	0,00	10,81
19	181,01	191,82	186,89	0,00	10,81
20	190,94	201,75	194,32	-5,20	5,60
21	186,97	192,57	193,45	-2,89	2,71
22	158,33	161,04	177,24	0,00	2,71
23	184,79	187,50	182,37	0,00	2,71
24	179,69	182,40	182,38	0,00	2,71
25	164,46	167,16	174,77	10,21	12,92
26	171,74	184,66	179,72	0,00	12,92
27	162,47	175,39	177,55	0,00	12,92
28	163,79	176,71	177,13	0,00	12,92
29	181,01	193,93	185,53	0,00	12,92
30	158,17	171,09	178,31	0,00	12,92
31	160,48	173,40	175,86	0,00	12,92
32	167,77	180,68	178,27	0,00	12,92
33	165,12	178,04	178,15	0,00	12,92
34	170,42	183,33	180,74	0,00	12,92
35	165,95	178,87	179,81	0,00	12,92
36	162,57	175,48	177,65	0,00	12,92
37	160,88	173,80	175,72	0,00	12,92
38	176,38	189,29	182,51	0,00	12,92
39	159,62	172,53	177,52	0,00	12,92
40	168,43	181,35	179,43	0,00	12,92

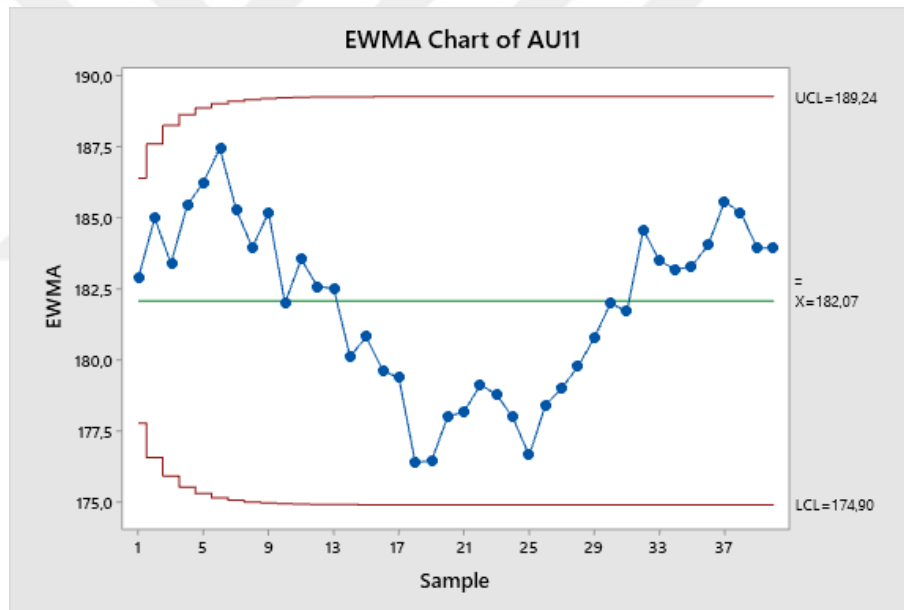
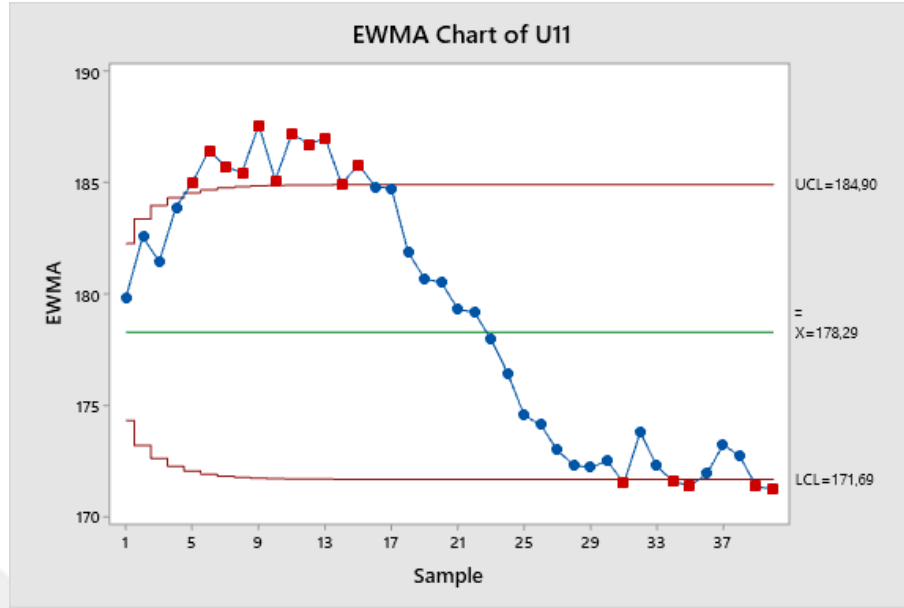
EK 20. Uygulama 10'un gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 21. Uygulama 11'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U11	AU11	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	186,08	186,08	186,08	0,00	0,00
2	193,39	193,39	189,74	0,00	0,00
3	176,98	176,98	183,36	0,00	0,00
4	193,59	193,59	188,47	0,00	0,00
5	189,50	189,50	188,98	0,00	0,00
6	192,22	192,22	190,60	-5,95	-5,95
7	182,67	176,72	183,66	0,00	-5,95
8	184,49	178,54	181,10	0,00	-5,95
9	196,09	190,14	185,62	0,00	-5,95
10	175,17	169,22	177,42	0,00	-5,95
11	195,64	189,69	183,55	0,00	-5,95
12	184,72	178,77	181,16	0,00	-5,95
13	188,13	182,18	181,67	0,00	-5,95
14	176,53	170,58	176,13	0,00	-5,95
15	189,50	183,55	179,84	0,00	-5,95
16	180,84	174,89	177,36	0,00	-5,95
17	184,29	178,34	177,85	0,00	-5,95
18	170,50	164,55	171,20	6,69	0,74
19	175,85	176,59	173,90	3,58	4,32
20	179,94	184,26	179,08	0,00	4,32
21	174,49	178,81	178,94	0,00	4,32
22	178,58	182,90	180,92	0,00	4,32
23	173,12	177,44	179,18	0,00	4,32
24	170,39	174,71	176,95	0,00	4,32
25	166,98	171,30	174,12	8,74	13,06
26	172,44	185,50	179,81	0,00	13,06
27	168,35	181,40	180,61	0,00	13,06
28	169,71	182,77	181,69	0,00	13,06
29	171,76	184,82	183,25	0,00	13,06
30	173,80	186,86	185,06	0,00	13,06
31	167,45	180,51	182,79	0,00	13,06
32	182,99	196,05	189,42	0,00	13,06
33	166,13	179,19	184,30	0,00	13,06
34	168,76	181,82	183,06	0,00	13,06
35	170,78	183,84	183,45	0,00	13,06
36	173,98	187,04	185,25	0,00	13,06
37	178,58	191,64	188,44	0,00	13,06
38	170,49	183,55	186,00	0,00	13,06
39	165,97	179,03	182,51	0,00	13,06
40	170,83	183,88	183,20	0,00	13,06

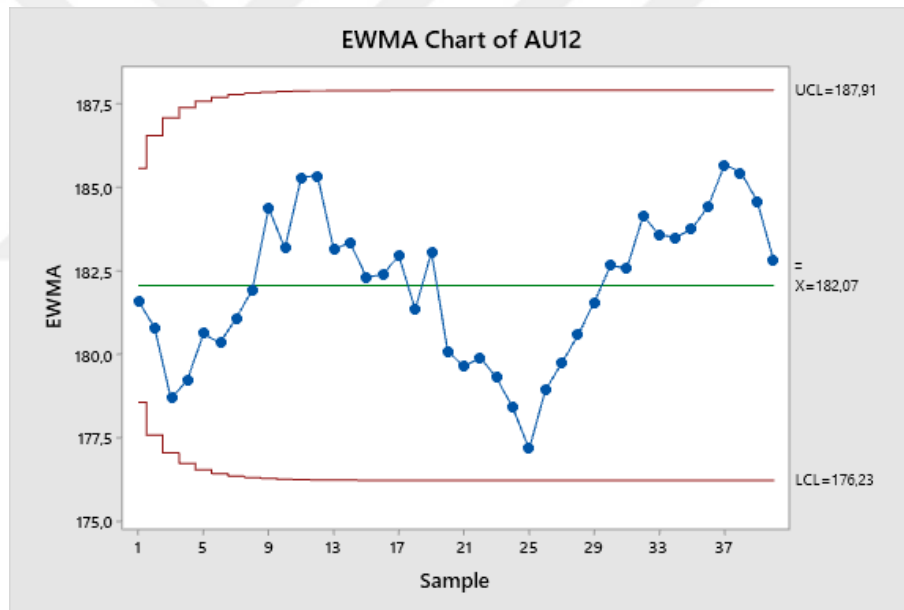
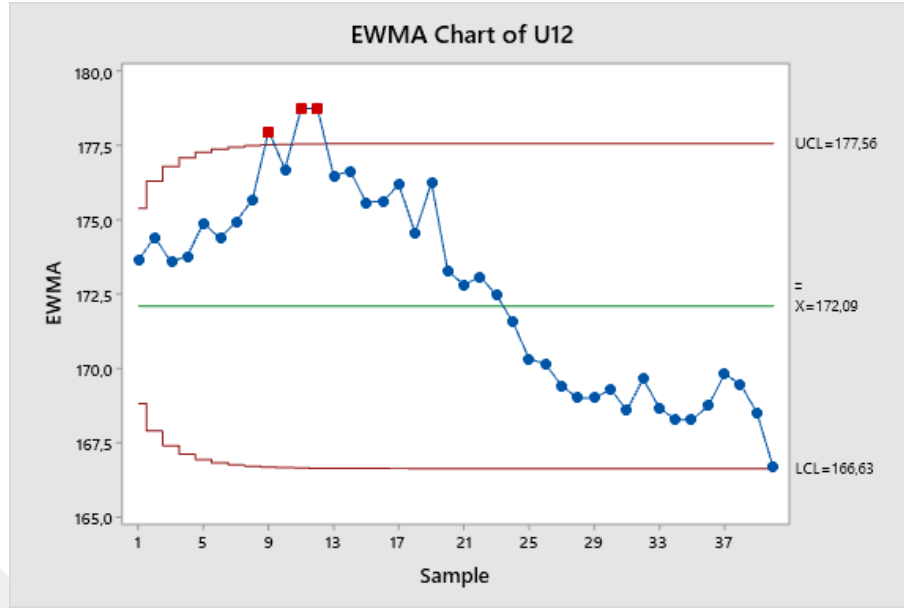
EK 22. Uygulama 11'in gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 23. Uygulama 12'nin gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U12	AU12	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	179,73	179,73	179,73	0,00	0,00
2	177,59	177,59	178,66	0,00	0,00
3	170,20	170,20	174,43	6,86	6,86
4	174,57	181,44	177,93	0,00	6,86
5	179,32	186,18	182,06	0,00	6,86
6	172,36	179,23	180,64	0,00	6,86
7	177,17	184,03	182,34	0,00	6,86
8	178,53	185,40	183,87	0,00	6,86
9	187,26	194,12	188,99	0,00	6,86
10	171,53	178,39	183,69	0,00	6,86
11	186,91	193,77	188,73	0,00	6,86
12	178,71	185,57	187,15	0,00	6,86
13	167,42	174,29	180,72	0,00	6,86
14	177,33	184,20	182,46	0,00	6,86
15	171,32	178,19	180,32	0,00	6,86
16	175,79	182,66	181,49	0,00	6,86
17	178,38	185,25	183,37	0,00	6,86
18	168,02	174,89	179,13	0,00	6,86
19	183,09	189,95	184,54	0,00	6,86
20	161,32	168,18	176,36	0,00	6,86
21	171,02	177,88	177,12	0,00	6,86
22	174,09	180,96	179,04	0,00	6,86
23	169,99	176,86	177,95	0,00	6,86
24	167,94	174,80	176,38	0,00	6,86
25	165,38	172,24	174,31	9,67	16,53
26	169,48	186,01	180,16	0,00	16,53
27	166,40	182,94	181,55	0,00	16,53
28	167,43	183,96	182,76	0,00	16,53
29	168,97	185,50	184,13	0,00	16,53
30	170,51	187,04	185,58	0,00	16,53
31	165,73	182,27	183,93	0,00	16,53
32	173,90	190,43	187,18	0,00	16,53
33	164,74	181,27	184,22	0,00	16,53
34	166,71	183,25	183,74	0,00	16,53
35	168,23	184,77	184,25	0,00	16,53
36	170,64	187,18	185,71	0,00	16,53
37	174,09	190,63	188,17	0,00	16,53
38	168,02	184,55	186,36	0,00	16,53
39	164,62	181,15	183,76	0,00	16,53
40	159,30	175,84	179,80	0,00	16,53

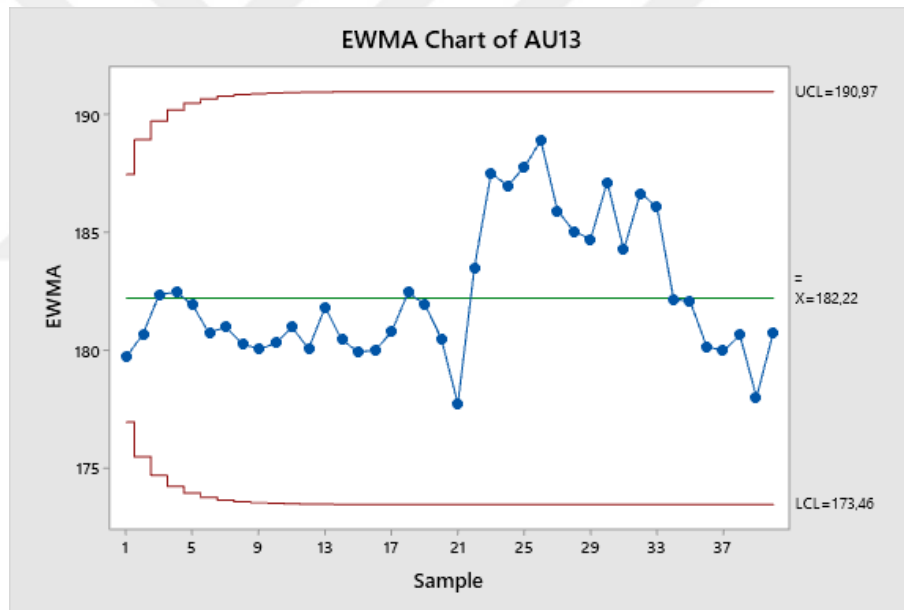
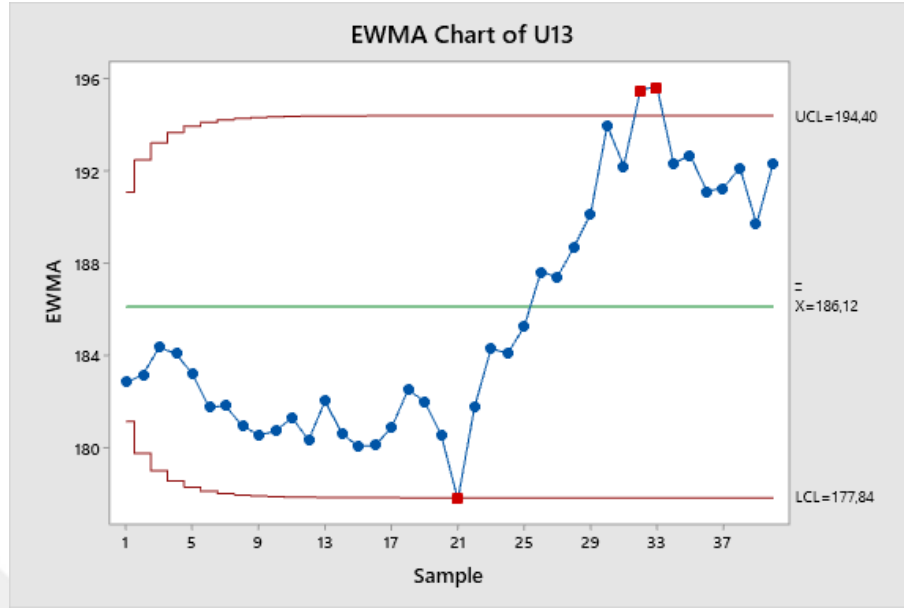
EK 24. Uygulama 12'nin gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 25. Uygulama 13'ün gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U13	AU13	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	169,69	169,69	169,69	7,16	0,00
2	184,48	184,48	177,09	0,00	0,00
3	189,17	189,17	183,13	0,00	0,00
4	182,92	182,92	183,02	0,00	0,00
5	179,79	179,79	181,41	0,00	0,00
6	175,88	175,88	178,65	0,00	0,00
7	182,14	182,14	180,39	0,00	0,00
8	177,45	177,45	178,92	0,00	0,00
9	179,01	179,01	178,97	0,00	0,00
10	181,36	181,36	180,16	0,00	0,00
11	183,70	183,70	181,93	0,00	0,00
12	176,43	176,43	179,18	0,00	0,00
13	188,87	188,87	184,02	0,00	0,00
14	174,91	174,91	179,46	0,00	0,00
15	177,92	177,92	178,69	0,00	0,00
16	180,23	180,23	179,46	0,00	0,00
17	183,91	183,91	181,68	0,00	0,00
18	189,17	189,17	185,43	0,00	0,00
19	179,91	179,91	182,67	0,00	0,00
20	174,72	174,72	178,70	0,00	0,00
21	166,62	166,62	172,66	8,95	8,95
22	197,77	206,72	189,69	0,00	8,95
23	194,50	203,44	196,57	-7,27	1,68
24	183,24	184,92	190,74	-0,72	0,95
25	189,90	190,85	190,80	-4,60	-3,64
26	197,14	193,49	192,15	-8,81	-12,45
27	186,53	174,08	183,11	0,00	-12,45
28	193,86	181,41	182,26	0,00	-12,45
29	195,94	183,48	182,87	0,00	-12,45
30	209,23	196,78	189,83	0,00	-12,45
31	185,26	172,81	181,32	0,00	-12,45
32	208,71	196,26	188,79	0,00	-12,45
33	196,21	183,75	186,27	0,00	-12,45
34	179,00	166,55	176,41	0,00	-12,45
35	194,11	181,66	179,03	0,00	-12,45
36	184,95	172,49	175,76	0,00	-12,45
37	191,76	179,31	177,54	0,00	-12,45
38	195,71	183,26	180,40	0,00	-12,45
39	179,92	167,46	173,93	1,21	-11,24
40	202,88	191,64	182,79	0,00	-11,24

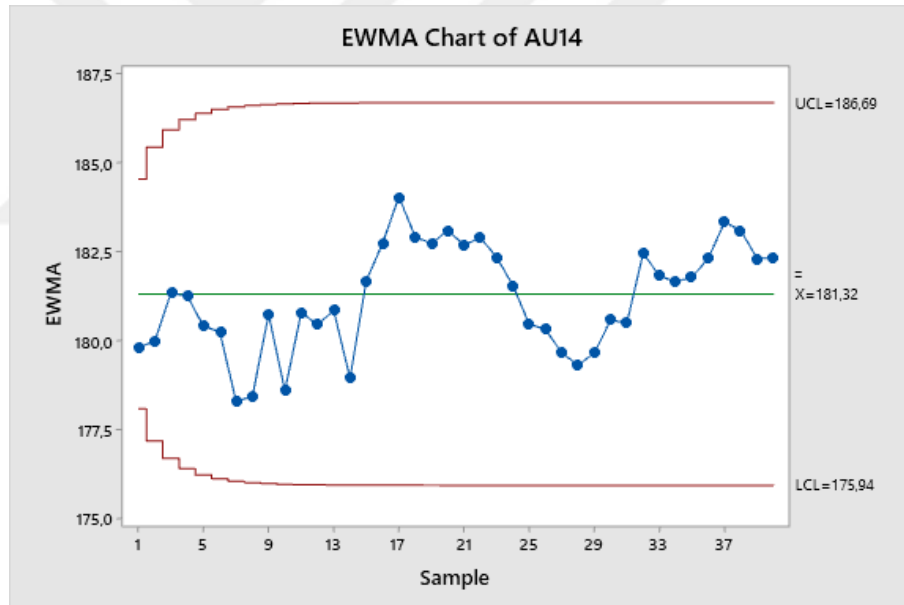
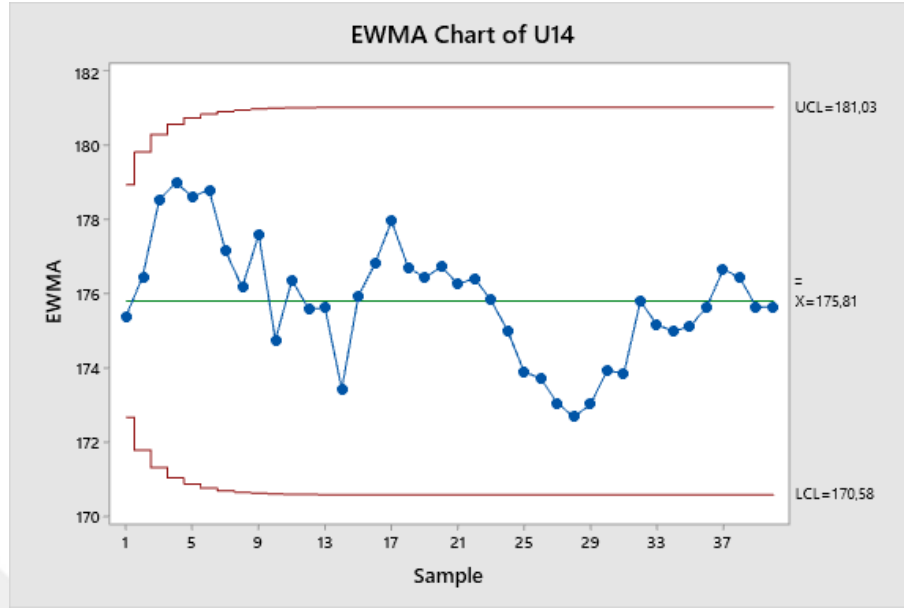
EK 26. Uygulama 13'ün gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 27. Uygulama 14'ün gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.

Gözlem No	U14	AU14	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	173,8	173,77	173,77	4,79	0,00
2	180,73	180,73	177,25	0,00	0,00
3	186,77	186,77	182,01	0,00	0,00
4	180,92	180,92	181,47	0,00	0,00
5	177,02	177,02	179,24	0,00	0,00
6	179,62	179,62	179,43	0,00	0,00
7	170,52	170,52	174,98	6,68	6,68
8	172,25	178,93	176,95	0,00	6,68
9	183,31	189,98	183,47	0,00	6,68
10	163,37	170,05	176,76	0,00	6,68
11	182,87	189,55	183,15	0,00	6,68
12	172,47	179,15	181,15	0,00	6,68
13	175,72	182,40	181,78	0,00	6,68
14	164,67	171,35	176,56	0,00	6,68
15	185,97	192,65	184,61	0,00	6,68
16	180,31	186,99	185,80	0,00	6,68
17	182,56	189,24	187,52	0,00	6,68
18	171,76	178,44	182,98	0,00	6,68
19	175,27	181,94	182,46	0,00	6,68
20	177,94	184,62	183,54	0,00	6,68
21	174,37	181,05	182,30	0,00	6,68
22	177,05	183,73	183,01	0,00	6,68
23	173,48	180,16	181,59	0,00	6,68
24	171,69	178,37	179,98	0,00	6,68
25	169,46	176,14	178,06	0,00	6,68
26	173,03	179,71	178,89	0,00	6,68
27	170,35	177,03	177,96	0,00	6,68
28	171,25	177,93	177,94	0,00	6,68
29	174,36	181,04	179,49	0,00	6,68
30	177,62	184,30	181,90	0,00	6,68
31	173,47	180,15	181,02	0,00	6,68
32	183,64	190,32	185,67	0,00	6,68
33	172,60	179,28	182,48	0,00	6,68
34	174,32	181,00	181,74	0,00	6,68
35	175,64	182,32	182,03	0,00	6,68
36	177,74	184,42	183,23	0,00	6,68
37	180,75	187,43	185,33	0,00	6,68
38	175,46	182,14	183,73	0,00	6,68
39	172,50	179,18	181,45	0,00	6,68
40	175,68	182,35	181,90	0,00	6,68

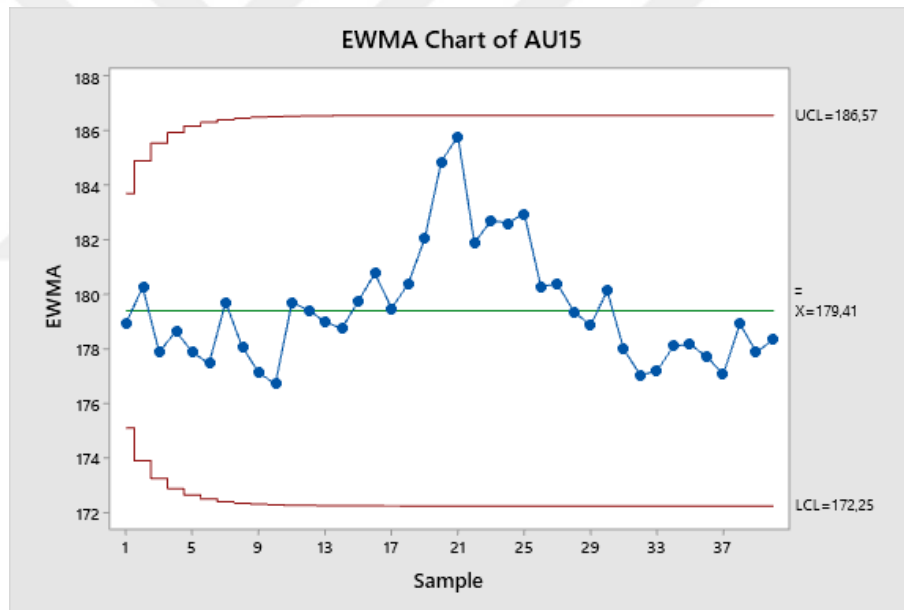
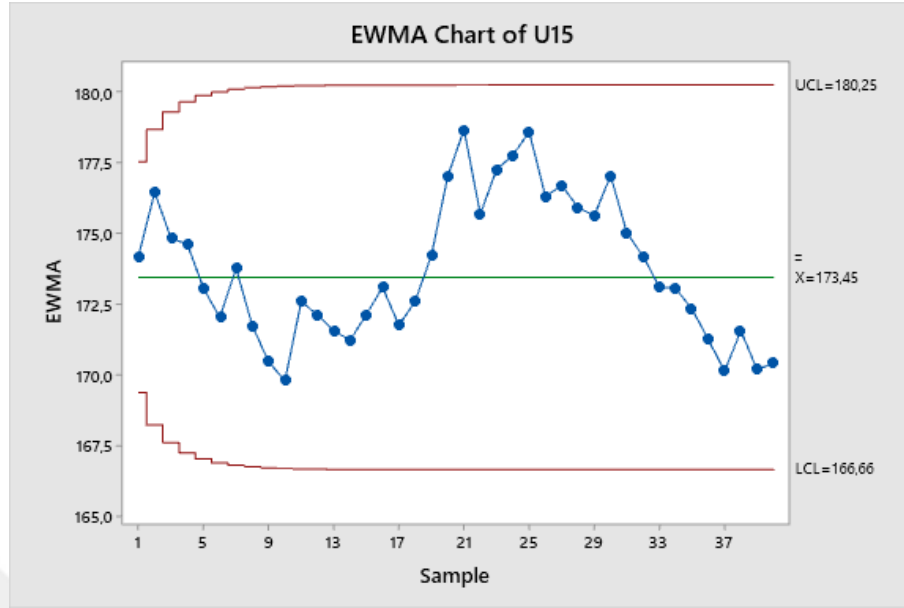
EK 28. Uygulama 14'ün gerçek ve ayarlanmış değerlerin EWMA diyagramı.



EK 29. Uygulama 15'in gerçek ve ayarlanmış süreç değerleri.


Gözlem No	U15	AU15	Tahmin	Ayar Miktarı	Kümülatif Ayar
1	177,1	177,11	177,11	0,00	0,00
2	185,56	185,56	181,34	0,00	0,00
3	168,34	168,34	174,84	7,95	7,95
4	173,80	181,75	178,30	0,00	7,95
5	166,85	174,80	176,55	0,00	7,95
6	167,84	175,79	176,17	0,00	7,95
7	180,76	188,71	182,44	0,00	7,95
8	163,63	171,58	177,01	0,00	7,95
9	165,36	173,31	175,16	0,00	7,95
10	167,13	175,08	175,12	0,00	7,95
11	183,74	191,69	183,40	0,00	7,95
12	170,33	178,28	180,84	0,00	7,95
13	169,33	177,28	179,06	0,00	7,95
14	169,83	177,78	178,42	0,00	7,95
15	175,79	183,74	181,08	0,00	7,95
16	176,97	184,92	183,00	0,00	7,95
17	166,35	174,30	178,65	0,00	7,95
18	176,02	183,97	181,31	0,00	7,95
19	180,76	188,71	185,01	0,00	7,95
20	188,21	196,16	190,58	-3,61	4,34
21	185,23	189,56	190,07	-1,88	2,46
22	163,75	166,20	178,14	0,00	2,46
23	183,60	186,05	182,10	0,00	2,46
24	179,76	182,22	182,16	0,00	2,46
25	181,91	184,36	183,26	0,00	2,46
26	167,17	169,62	176,44	0,00	2,46
27	178,27	180,73	178,59	0,00	2,46
28	172,81	175,27	176,93	0,00	2,46
29	174,46	176,91	176,92	0,00	2,46
30	182,74	185,20	181,06	0,00	2,46
31	166,93	169,39	175,22	0,00	2,46
32	170,82	173,28	174,25	6,50	8,96
33	168,84	177,80	176,03	0,00	8,96
34	172,81	181,77	178,90	0,00	8,96
35	169,47	178,43	178,66	0,00	8,96
36	166,93	175,88	177,27	0,00	8,96
37	165,66	174,62	175,95	0,00	8,96
38	177,28	186,24	181,09	0,00	8,96
39	164,71	173,67	177,38	0,00	8,96
40	171,32	180,28	178,83	0,00	8,96

EK 30. Uygulama 15'in gerçek ve ayarlanmış değerlerinin EWMA diyagramı.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Didem Gülyüz
Doğum Yeri	Kayseri
Doğum Tarihi	08.02.1986
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05530540288
E-Posta Adresi	guleryuzdidem@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2009
Yüksek Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı
Yüksek Lisans	
Üniversite	University of Essex
Enstitü Adı	Mathematical Sciences
Anabilim Dalı	Matematik Anabilim Dalı
Programı	Computer Sciences and Operational Research
Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı
Makale ve Bildiriler	

Özçelik, T , Gülyüz, D . (2013). Lean Service and Application of MRI-Tomography Imaging Center. TOJSAT, 3 (2), 102-108. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/tojsat/issue/22659/242038>

Gülyüz, D. and Çolak, M. (2015). Döküm endüstrisinde kurumsal kaynak planlama yazılımlarının kullanımının değerlendirilmesi, 4(2), pp.60-65.

Erkan, E., Teke, Ç. and Güteryüz, D. (2016). A Fuzzy Expert System for Risk Self-Assessment of Chronic Diseases. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), 18(6), pp.29-33.

Şengün, H. and Güteryüz, D. (2016) Türkiye’de Afet Yönetiminde Bir Dönüm Noktası: 1992 Erzincan Depremi, Uluslararası Erzincan Sempozyumu, ISBN: 978-975-01338-5-5, pp.857-869.

TEKEZ ESRA, TEKE ÇAĞATAY, GÜLERYÜZ DİDEM (2010). Development of a fault diagnostic expert system for machines. 7th International Symposium on Intelligent And Manufacturing Systems (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:5220375)

"A new mathematical model for the ALWABP", Hamid Yılmaz, Didem Güteryüz, Çağatay Teke, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Temizlik Çizelgeleme Modeli ve Uygulaması", Didem Güteryüz, Hamid Yılmaz, Çağatay Teke, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Gıda Sektöründe Hat Dengeleme Uygulaması", Çağatay Teke, Hamid Yılmaz, Didem Güteryüz, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Banburi Makineleri İçin Ömür Veri Analizi Uygulaması", Çağatay Teke, Didem Güteryüz, Hamid Yılmaz, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Multi-manned assembly line balancing problems: A review", Hamid Yılmaz, Çağatay Teke, Didem Güteryüz, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Otobüs Çizelgeleme Optimizasyonu ve Uygulaması", Didem Güteryüz, Çağatay Teke, Hamid Yılmaz, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"A new mathematical model for the ALWABP", Hamid Yılmaz, Didem Güteryüz, Çağatay Teke, (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Sağlık Kuruluşlarında Yalın Hizmet Uygulamaları", Ömer Faruk Efe, Didem Güteryüz, Orhan Engin, Burak Efe, (21.09.2017-23.09.2017), II. International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

"Arıza Dağılım Parametrelerinin Belirlenmesi ve Bir Uygulama", Didem Güteryüz, Çağatay Teke, Caner Okutkan, (05.10.2017-07.10.2017), 18. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, 2017

"Promethee Sıralama Yöntemi İle Tesis Yeri Seçimi", Didem Güteryüz, Çağatay Teke, Caner Okutkan, (05.10.2017-07.10.2017), 18. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, 2017.

Ç. TEKE, D. GÜLERYÜZ, D. GENÇ, S. ÖZEN , "A Fuzzy Expert System for the Risk Level of Asthma ", ICADET 2019 , pp. 1283-1289 , 2019.

Ç. TEKE, D. GÜLERYÜZ, C. ÇALIŞ , "Demand Forecasting with Artificial Neural Networks Model in Food Industry ", ICADET 2019 , pp. 1446-1451 , 2019.

Ç. TEKE, D. GÜLERYÜZ, A. UÇAR , "Material Requirements Planning and an Application of Cable Duct Product ", ICADET 2019 , pp. 1493-1500 , 2019 .