



**ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ VE
YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE DÖKÜM
SANAYİNDE BİR İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ
UYGULAMASI**

Kenan ORÇANLI

Doktora Tezi

İşletme Anabilim Dalı

Prof.Dr. Erkan OKTAY

Prof.Dr. Burak BİRGÖREN (II. Danışman)

2017

Her Hakkı Saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

KENAN ORÇANLI

ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI
YÖNTEMİYLE DÖKÜM SANAYİNDE BİR İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ
UYGULAMASI

DOKTORA TEZİ

TEZ YÖNETİCİLERİ
Prof.Dr. Erkan OKTAY
Prof.Dr. Burak BİRGÖREN (II. Danışman)

ERZURUM 2017



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ BEYAN FORMU**



27/10/2017.

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

BİLDİRİM

Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Uygulama Esaslarının ilgili maddelerine göre hazırlamış olduğum "**Çok Değişkenli Kalite Kontrol Grafikleri ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Döküm Sanayinde Bir İstatistiksel Süreç Kontrolü Uygulaması**" adlı tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Uygulama Esaslarının ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☒ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim/Raporum sadece Atatürk Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin/Raporumun 3 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

/ /2017

Kenan ORÇANLI



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**



TEZ KABUL TUTANAĞI

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Prof.Dr. Erkan OKTAY danışmanlığında, Kenan ORÇANLI tarafından hazırlanan bu çalışma 27/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Sayısal Yöntemler (İşletme) Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	:Prof.Dr. Erkan OKTAY
Eş Danışman	:Prof.Dr. Burak BİRGÖREN
Jüri Üyesi	:Doç.Dr. Necaattin BARIŞCI
Jüri Üyesi	:Doç.Dr. Serhat BURMAOĞLU
Jüri Üyesi	:Doç.Dr. Ömer ALKAN
Jüri Üyesi	:Yrd.Doç.Dr. Abdulkерim KARAASLAN

İmza:
İmza:
İmza:
İmza:
İmza:
İmza:

Yukarıdaki imzalar adı geçen öğretim üyelerine aittir. / /2017

Prof. Dr. Mehmet TÖRENEK
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XVII
GRAFİKLER DİZİNİ.....	XIX
RESİMLER DİZİNİ.....	XX
TABLolar DİZİNİ.....	XXI
TEŞEKKÜR.....	XXIV
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE, KALİTE KONTROLÜ VE İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ

1.1. KALİTE KAVRAMI.....	11
1.2. KALİTE KONTROLÜ VE TOPLAM KALİTE KONTROLÜ.....	13
1.2.1. Kalite Kontrolünün Tanımı.....	13
1.2.2. Kalite Kontrolünün Tarihsel Gelişimi ve Toplam Kalite Kontrolü.....	15
1.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ VE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ.....	17
1.4. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜNÜN KALİTE KONTROLÜNDEKİ ÖNEMİ.....	18
1.5. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ YÖNTEMLERİ.....	18
1.6. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜNDE BAZI KAVRAMLAR VE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL GRAFİKLERİ.....	19
1.6.1. Süreç Kavramı.....	19
1.6.2. Süreçteki Değişkenlik.....	20
1.6.3. Birinci ve İkinci Tip Hatalar.....	20
1.6.4. İstatistiksel Süreç Kontrol Grafikleri.....	21
1.6.5. Spesifikasyon ve Kontrol Sınırları.....	23
1.6.6. Kalite Karakteristiği Kavramı.....	24
1.6.7. Kalite Kontrol Noktaları.....	24

1.6.8. Hatalı veya Kusurlu Ürün Kavramı.....	25
1.6.9. Kontrol Grafiklerinde Örnekleme Belirlenmesi.....	25
1.6.10. Hipotez Testi, Merkezî Limit Teoremi, Normallik Kabulü ve Kontrol Sınırları.....	26
1.6.11. Kalite Kontrol Grafiklerinde Faz I ve Faz II Aşamaları.....	29
1.6.12. Ortalama Çalışma Süresi.....	30
1.6.13. İşlem Karakteristiği Eğrisi.....	31
1.7. KONTROL GRAFİKLERİNDE SAĞLANMASI GEREKEN VARSAYIMLAR.....	33
1.8. TEK VE ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİ.....	36
1.8.1. Tek Değişkenli Kontrol Grafikleri.....	37
1.8.1.1. Bireysel Gözlem Değerleri (<i>I</i>) ve Hareketli Aralık (<i>MR</i>) Kontrol Grafikleri.....	37
1.8.1.2. Tek Değişkenli <i>EWMA</i> (<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>) Kontrol Grafiği.....	39
1.8.2. Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri.....	41
1.8.2.1. Çok Değişkenli Kalite Kontrol Grafiklerinde Kontrol Bölgesi.....	44
1.8.2.2. Çok Değişkenli Hotelling T^2 Kontrol Grafiği.....	45
1.8.2.2.1. Bireysel Örneklem Verilerine Dayalı Olarak Oluşturulan Hotelling T^2 Kontrol Grafiği.....	49
1.8.2.2.1.1. Faz I Aşaması.....	49
1.8.2.2.1.1.1. Süreç Parametrelerinin Bilinmesi Durumunda.....	49
1.8.2.2.1.1.2. Süreç Parametrelerinin Bilinmemesi Durumunda.....	49
1.8.2.2.1.2. Faz II Aşaması.....	50
1.8.2.2.1.2.1. Süreç Parametrelerinin Bilinmesi Durumunda.....	50
1.8.2.2.1.2.2. Süreç Parametrelerinin Bilinmemesi Durumunda.....	50
1.8.2.2.2. Altgrup Örneklem Verilerine Dayalı Olarak Oluşturulan Hotelling T^2 Kontrol Grafiği.....	51
1.8.2.2.2.1. Süreç Parametrelerinin Bilinmemesi Durumunda.....	51
1.8.2.2.2.2. Süreç Parametrelerinin Bilinmesi Durumunda.....	54
1.8.3. Kontrol Grafiklerinin Yorumlanması.....	54

İKİNCİ BÖLÜM

SÜREÇ TABANLI TEMEL GÖSTERİMLERİ (STTG) YÖNTEMİ

2.1. GİRİŞ.....	60
2.2. ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİNDE HATA TEŞHİSİ....	60
2.3. ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİNDE HATA TEŞHİSİNE YÖNELİK OLAN ÇALIŞMALARLA İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI....	61
2.4. STTG YÖNTEMİ METADOLOJİSİ.....	67
2.4.1. STTG Yönteminin Temelleri.....	72
2.4.1.1. Standart Temel Vektör, Doğrusal Birleşimler (<i>Kombinasyonlar</i>) ve Vektörlerin Bağımsızlığı Kavramları.....	73
2.4.1.1.1. Standart Temel Vektör.....	73
2.4.1.1.2. Doğrusal Birleşimler (<i>Kombinasyonlar</i>).....	74
2.4.1.1.3. Vektörlerin Bağımsızlığı.....	75
2.4.1.2. STTG Yöntemine Matematiksel Bakış.....	76
2.5. STTG YÖNTEMİNİN YARARLARI.....	79
2.6. STTG YÖNTEMİNİN SINIRLILIKLARI.....	80
2.7. STTG YÖNTEMİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	81
2.8. ORTOGONAL OLMAYAN SÜREÇ TABANLI TEMEL ELEMANLAR.....	84
2.8.1. Genel.....	84
2.8.2. STTG Yöntemi ve Çoklu Bağlantı.....	86
2.8.3. Çoklu Bağlantının Kaynakları.....	87
2.8.4. Çoklu Bağlantının Etkileri.....	88
2.8.5. Çoklu Bağlantının Ortaya Çıkarılması.....	89
2.8.5.1. STTG Katsayılarının Arasındaki Çoklu Açıklayıcılık Katsayısı ve Frisch'in Kavşak Çözümlemesine Dayalı Yöntem.....	89
2.8.5.2. STTE'lerin Arasındaki Korelasyon Katsayılarının İncelenmesi.....	90
2.8.5.3. Varyans Şişirme Değerleri (<i>Variance Inflation Factors</i>) ve Tolerans Değeri.....	90
2.8.5.4. ($A'A$) Matrisinin Koşul Sayısı, Koşul İndisleri ve Özdeğer-Özvektör Değerlerinin İncelenmesi.....	92
2.8.5.5. Korelasyon Matrisinin Determinantının Elde Edilmesi.....	94

2.8.6. STTG Yönteminde Çoklu Bağlantıya Yönelik Düzeltici Tedbirler.....	94
2.8.7. STTG Yönteminin Çözümleri Açısından Yanlı Kestiricilerin Karşılaştırılması ve Değerlendirmesi.....	97
2.9. STTG YÖNTEMİ VE PROFİL İZLEME (<i>PROFILE MONITORİNG</i>) YÖNTEMİ.....	98
2.10. STTG YÖNTEMİ VE TEMEL BİLEŞENLER ANALİZİ.....	99
2.11. STTG YÖNTEMİ, KÜMELEME ANALİZİ VE FAKTÖR ANALİZİ.....	101
2.12. STTG YÖNTEMİ VE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ.....	102

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİNDE KULLANIMI

3.1. GENEL.....	109
3.2. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA).....	110
3.2.1. YSA'nın Genel Özellikleri.....	112
3.2.2. YSA'nın Avantajları.....	112
3.2.3. YSA'nın Dezavantajları.....	112
3.2.4. YSA'nın Yapıları.....	113
3.2.4.1. Sinirler Arasındaki Bağlantıların Yönlerine Göre.....	113
3.2.4.1.1. İleri Beslemeli Ağlar.....	113
3.2.4.1.2. Geri Beslemeli Ağlar (<i>feedback/recurrent</i>).....	114
3.2.4.2. Katmanlar Arası Bağlantı Çeşitlerine Göre.....	115
3.2.4.3. Sinirler Arası Bağlantıya Göre.....	115
3.2.4.4. Uygulamaya Göre.....	115
3.2.4.5. Öğrenme Stratejilerine Göre.....	116
3.2.4.5.1. Danışmanlı Öğrenme (<i>supervised learning</i>).....	116
3.2.4.5.2. Danışmansız Öğrenme (<i>unsupervised learning</i>).....	117
3.2.4.5.3. Pekiştirerek Öğrenme (<i>reinforcement, graded</i>).....	118
3.2.4.6. Öğrenme Stratejilerine Göre YSA Çeşitleri.....	118
3.2.5. YSA Yapısı ve Temel Bileşenleri.....	119
3.2.5.1. Girişler.....	121
3.2.5.2. Ağırlıklar.....	121

3.2.5.3. Toplama İşlevi.....	121
3.2.5.4. Etkinlik İşlevi veya Aktivasyon Fonksiyonu.....	122
3.2.5.4.1. Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu.....	122
3.2.5.4.2. Basamak Dönüştürme Fonksiyonu.....	123
3.2.5.4.3. Kutuplamalı Basamak Dönüştürme Fonksiyonu.....	123
3.2.5.4.4. Parçalı Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu.....	124
3.2.5.4.5. Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu.....	124
3.2.5.4.6. Sigmoid Tipi Dönüştürme Fonksiyonu.....	125
3.2.5.4.7. Hiperbolik Tanjant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu.....	125
3.2.5.4.8. Hiperbolik Secant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu.....	126
3.2.5.4.9. Sinüs Tipli Dönüştürme Fonksiyonu	126
3.2.5.4.10. Gauss Dönüştürme Fonksiyonu.....	126
3.2.5.5. Çıkış.....	127
3.2.6. YSA'nın Tasarlanması.....	128
3.2.6.1. Örneklerin Toplanması.....	128
3.2.6.2. Örneklerin Ağa Sunulma Şekli.....	129
3.2.6.3. YSA Topolojisinin Seçilmesi.....	130
3.2.6.3.1. YSA Modelini Seçme.....	130
3.2.6.3.2. Giriş, Ara Katman ve Çıkış Sayılarının Belirlenmesi.....	131
3.2.6.3.3. Öğrenme Algoritmaları ve Parametrelerin Seçilmesi.....	133
3.2.6.3.4. Öğrenme Algoritması Seçimi.....	135
3.2.6.3.5. YSA'ların Performansının Değerlendirilmesi.....	135
3.3 YSA'NIN KALİTE KONTROL GRAFİKLERİNDE KULLANIMI.....	136
3.3.1. Genel.....	136
3.3.2. Literatür Araştırması.....	141
3.3.3. Literatür Taraması Bulguları.....	159

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. GENEL.....	165
4.2. PİRİNÇ ÜRETİM SÜRECİ.....	165
4.2.1. Uygulama Yeri ve Uygulama Yerinin Tanıtımı.....	165

4.2.1.1. Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK).....	165
4.2.1.2. MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü.....	166
4.2.2. MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü Üretim Alt Süreci.....	167
4.2.2.1. Vezinhane Bölümü (<i>Hurdalık</i>).....	171
4.2.2.1.1. Vezinhane Açık Alanı.....	172
4.2.2.1.2. Vezinhane Kapalı Alanı.....	173
4.2.2.2. Dökümhane Bölümü.....	175
4.2.2.3. Pres-Haddehane Bölümü.....	179
4.2.2.3.1. Genel.....	179
4.2.2.3.2. Haddeleme İşlemleri.....	179
4.2.2.4. Üretim Süreci ve Nihai Ürün Yüksüğün Üretimi.....	179
4.2.3. MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Uygulanan Kalite Kontrol Yöntemi.....	182
4.3. STTG'YE DAYALI MODELİN UYGULAMASI.....	186
4.3.1. Uygulamada Kullanılan Veriler.....	187
4.3.2. Araştırma Yöntemi.....	188
4.3.3. Kalite Karakteristiklerinin <i>I</i> , <i>MR</i> ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi.....	189
4.3.3.1. Kalite Karakteristikleri Vektörlerinin Oluşturulması.....	189
4.3.3.2. Pirinç Alaşımı Element Oranlarının <i>I</i> , <i>MR</i> ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi.....	190
4.3.3.2.1. Tek ve Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinin Varsayımlarının Sağlanması.....	190
4.3.3.2.2. Kontrol Grafiklerinde Faz I ve Faz II Aşamaları.....	193
4.3.3.2.3. Kalite Karakteristiklerinin <i>I</i> ve <i>MR</i> Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi.....	195
4.3.3.2.3.1. <i>I</i> ve <i>MR</i> Kontrol Grafiklerinin Faz I Aşamaları.....	195
4.3.3.2.3.2. <i>I</i> Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri.....	195
4.3.3.2.3.3. <i>MR</i> Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri.....	196
4.3.3.2.3.4. <i>I</i> ve <i>MR</i> Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları.....	196
4.3.3.2.3.4.1. <i>Cu</i> ve <i>Pb</i> Elementleri.....	197
4.3.3.2.3.4.2. <i>Fe</i> ve <i>Sn</i> Elementleri.....	198
4.3.3.2.3.4.3. <i>Al</i> ve <i>Ni</i> Elementleri.....	199

4.3.3.2.3.4.4. <i>Sb</i> Elementi.....	200
4.3.3.2.3.4.5. Bulgular ve Değerlendirme.....	200
4.3.3.2.3.4.5.1. I Kontrol Grafiği.....	200
4.3.3.2.3.4.5.2. <i>MR</i> Kontrol Grafiği.....	201
4.3.3.2.4. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği ile İzlenmesi.....	201
4.3.3.2.4.1. Faz I Aşaması.....	203
4.3.3.2.4.2. Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinin Faz I Aşaması Parametreleri.....	204
4.3.3.2.4.3. Faz II Aşaması.....	204
4.3.3.2.4.4. Bulgular ve Değerlendirme.....	206
4.3.4. Problem Durumu.....	206
4.3.5. Değişkenlerin ve Parametrelerin Tanımı.....	208
4.3.6. Modelin Kurulması.....	209
4.3.7. Kalite Vektörünün Oluşturulması.....	210
4.3.8. Süreç Tabanlı Temel Elemanlarının Üretilmesi.....	211
4.3.9. Hurda Malzemelerin Az veya Çok Atılmasının Modellenmesi.....	224
4.3.10. Model Yeterliliğinin ve Geçerliliğinin Kontrolü.....	235
4.3.10.1. Model Yeterliliğinin Kontrolü.....	235
4.3.10.2. Model Geçerliliğinin Kontrolü.....	239
4.3.11. STTG Katsayılarının <i>I</i> , <i>MR</i> , <i>EWMA</i> ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi.....	240
4.3.11.1. <i>I</i> ve <i>MR</i> Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi.....	241
4.3.11.1.1. Faz I Aşaması (<i>I</i> Kontrol Grafikleri).....	241
4.3.11.1.2. Faz I Aşaması (<i>MR</i> Kontrol Grafikleri).....	241
4.3.11.1.3. Faz II Aşaması (<i>I</i> ve <i>MR</i> Kontrol Grafikleri).....	241
4.3.11.1.3.1. Birinci STTG Katsayısı (Z_{21}).....	241
4.3.11.1.3.2. İkinci STTG Katsayısı (Z_{22}).....	242
4.3.11.1.3.3. Üçüncü STTG Katsayısı (Z_{23}).....	243
4.3.11.1.3.4. Dördüncü STTG Katsayısı (Z_{24}).....	243
4.3.11.2. <i>EWMA</i> Kontrol Grafiği ile İzlenmesi.....	244
4.3.11.2.1. Faz I Aşaması.....	244
4.3.11.2.2. Faz II Aşaması.....	245

VIII

4.3.11.2.2.1. Birinci ve İkinci STTG Katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}).....	245
4.3.11.2.2.2. Üçüncü ve Dördüncü STTG Katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}).....	246
4.3.11.3. STTG Katsayılarının I , MR ve $EWMA$ Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi Sonucunda Elde Edilen Sonuçlar.....	246
4.3.11.4. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği ile İzlenmesi.....	248
4.3.11.4.1. Faz I Aşaması.....	248
4.3.11.4.2. Faz II Aşaması.....	249
4.3.11.5. STTG Yönteminin Hata Terimlerinin Karelerinin $EWMA$ Kontrol Grafiği ile İzlenmesi ve Normallik Kontrolü.....	251
4.3.12. YSA Yaklaşımı ile Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinde İzlenen STTG Katsayılarının Yorumlanması.....	253
4.3.12.1. YSA Modelinin Seçilmesi.....	253
4.3.12.1.1. Çok Katmanlı YSA Modeli.....	256
4.3.12.1.2. Modüler YSA Modeli.....	258
4.3.12.2. Çalışmada Kullanılacak Veri Seti.....	260
4.3.12.3. Modelde Eğitim, Çapraz Geçerlilik ve Test Veri Setlerinin Seçimi Aşaması.....	262
4.3.12.4. Giriş ve Çıktılarının Gösteriminin Belirlenmesi.....	263
4.3.12.5. Giriş Verileri ve Giriş Verilerinin Model İçin Hazırlanması.....	264
4.3.12.6. Örneklerin Ağa Sunulma Şekli.....	265
4.3.12.7. YSA Mimarisini Belirleme Denemeleri.....	265
4.3.12.7.1. Modelde Gizli ve Çıktı Katmanlarında Transfer Fonksiyonların Seçimi Aşaması.....	266
4.3.12.7.2. Modelde Öğrenme Algoritmasının Seçimi Aşaması.....	267
4.3.12.7.2.1. Delta-Bar-Delta Öğrenme Algoritması.....	267
4.3.12.7.2.2. Hızlı Yayılım (<i>Quick Propagation-QuickProp</i>) Öğrenme Algoritması.....	267
4.3.12.7.2.3. Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması.....	268
4.3.12.7.2.4. Conjugate Gradient Öğrenme Algoritması.....	268
4.3.12.7.3. Modelde Öğrenme Katsayısının, Performans Fonksiyonunun Seçimi Aşaması.....	268
4.3.12.7.4. Ham ve Özellikli Verili Çok Katmanlı ve Modüler	

YSA Parametre Başlangıç Değerleri.....	269
4.3.12.7.5. Çok Katmanlı YSA ve Modüler YSA Modellerin Performanslarının Değerlendirilmesi.....	274
4.3.12.7.5.1. Genel.....	274
4.3.12.7.5.2. Çok Katmanlı YSA Modeli.....	275
4.3.12.7.5.2.1 Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli.....	275
4.3.12.7.5.2.2. Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli.....	276
4.3.12.7.5.3. Modüler YSA Modeli.....	277
4.3.12.7.5.3.1. Ham Giriş Verili Modüler YSA Modeli.....	277
4.3.12.7.5.3.2. Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modeli.....	279
4.3.12.8. Seçilen Ham ve Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı ve Modüler YSA Modellerinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler ile Test Edilmesi.....	281
4.3.12.8.1. Seçilen Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler ile Test Edilmesi.....	282
4.3.12.8.2. Seçilen Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler ile Test Edilmesi.....	283
4.3.12.8.3. Seçilen Ham Giriş Verili Modüler YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler ile Test Edilmesi.....	283
4.3.12.8.4. Seçilen Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler ile Test Edilmesi.....	284
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	285
KAYNAKÇA.....	292
EKLER.....	314
Ek-1 :Uygulamada Kullanılan Programlama Dili ve Paket Programları	
Ek-2 :DIN 17660 Pirinç Alaşımı Çeşitleri	
Ek-3 :Stokiyometrik Tablo (<i>Örnek</i>)	
Ek-4 :Spektral Analiz Defteri Sayfası	
Ek-5 :Uygulama Verileri (<i>01 Ocak-31 Mart 2015</i>)	
Ek-6 :Kalite Karakteristiği Olarak Element Değerlerinin <i>I</i> , <i>MR</i> ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri ile İzlenmesinde Faz I Aşaması Değerleri	
Ek-7 : <i>I</i> Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	
Ek-8 : <i>MR</i> Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	

Ek-9	:Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	
Ek-10	: I , MR , $EWMA$ ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri Faz I ve II Aşamaları STTG Kalite Vektörleri	
Ek-11	:STTG Katsayılarının Hesaplamak İçin R Dilinde Hazırlanmış Kodlar	
Ek-12	:STTG Katsayılarının Faz I Aşaması Değerleri	
Ek-13	:STTG Katsayılarının Faz II Aşaması Değerleri	
Ek-14	:STTG Katsayılarının I Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	
Ek-15	:STTG Katsayılarının MR Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	
Ek-16	:STTG Katsayılarının $EWMA$ Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	
Ek-17	:STTG Katsayılarının Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması	
Ek-18	:Örüntülerin Oluşturulması İçin R Dilinde Yazılan Programlar	
ÖZGEÇMİŞ		388

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE DÖKÜM SANAYİNDE BİR İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ UYGULAMASI

Kenan ORÇANLI

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Erkan OKTAY

Prof.Dr. Burak BİRGÖREN (II. Danışman)

2017, 391 sayfa

Jüri: Prof.Dr. Erkan OKTAY

Doç.Dr. Necaattin BARIŞCI

Doç.Dr. Serhat BURMAOĞLU

Doç.Dr. Ömer ALKAN

Yrd.Doç.Dr. Abdulkerim KARAAĞAÇ

Yapılan çalışmada, MKE Kurumuna bağlı olarak faaliyetlerini yürüten Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim süreçlerinde kalite iyileştirme çabaları kapsamında sürecin değişkenliğini kontrol etmek amacıyla istatistiksel süreç kontrolü uygulanmış ve element oranları tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiştir. Ancak tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyallerin yorumlanması esnasında hata kaynaklarını teşhis etmede uygun sonuçlara ulaşılamamıştır. Bu durum üzerine süreçte meydana gelen değişimi etkileyen hata kaynaklarını teşhis etmek maksadıyla süreç tabanlı temel gösterimleri yöntemi (STTG) yöntemine dayalı bir model önerilmiştir. Önerilen modelde, STTG yöntemi, çok değişkenli kontrol grafikleri ve yapay sinir ağları (YSA) hibrit bir şekilde kullanılmıştır.

Önerilen model, pirinç, demir ve alüminyum döküm süreçlerinde kullanılabilecek genel bir modeldir. Bu model, bütün döküm süreçlerinde kullanılabilir ancak problemin durumuna göre özelleştirilmesi gerekir.

Modelin oluşmasında temel olarak kullanılan STTG yöntemi, literatürde imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde kullanılmıştır, ancak süreç (*kimya, petro-kimya, döküm vb.*) endüstrilerinde ve malzeme içeriklerinin modellenmesinde kullanılmamıştır. Bu kapsamda STTG yöntemi, bu çalışmada ilk defa farklı bir üretim sürecinde kullanılmış ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Literatürde STTG katsayılarının tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmesi önerilmektedir. Bu çalışmada ise bu katsayılar Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmiştir. Kalite karakteristiklerinin Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmesi esnasında kontrol dışı durumları temsil eden bazı tipik örüntülerin oluştuğu da tespit edilmiş ve bu örüntülerin otomatik olarak tanınması için YSA modelleri kullanılmıştır. Ayrıca belirtilen modelin uygulanması esnasında, STTG yöntemi ile ilgili olarak literatürde olmayan düşük boyut problemi ile karşılaşmış ve bu duruma karşı çözüm yolları üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri, Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri, Yapay Sinir Ağları, Pirinç, Döküm Sanayi.

ABSTRACT

Ph.D. DISSERTATION

A STATISTICAL PROCESS CONTROL APPLICATION IN CASTING
INDUSTRY THROUGH MULTIVARIATE QUALITY CONTROL CHARTS
AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Kenan ORCANLI

Advisor: Prof.Dr. Erkan OKTAY

Co-Advisor: Prof.Dr. Burak BIRGOREN

2017, Pages:391

Jury: Prof.Dr. Erkan OKTAY

Assoc.Prof.Dr. Necaattin BARIŞCI

Assoc.Prof.Dr. Serhat BURMAOGLU

Assoc.Prof.Dr. Omer ALKAN

Assist.Prof.Dr. Abdulkerim KARAAGAC

In the study, firstly Statistical Process Control was implemented to improve quality in the production process of the Brass Factory, which operates under the MCI Cooperation; and the values of the elements were monitored with univariate and multivariate control charts. However, when the out-of-control signals were detected in the univariate and the multivariate control charts, it was not possible to find out the relevant results about the interpreting of these signals. Therefore, secondly, a model based on the Process-Oriented Basic Representation (*POBREP*), was proposed for the interpretation of out-of-control signals. In the proposed model, the POBREP method, a multivariate control chart and artificial neural network (*ANN*) were used in combination.

The proposed model is a general model that can be used in brass, iron and aluminum casting processes. This model can be used in all casting processes, but needs to be customized according to the problem.

The POBREP method, which is used as the basis for model formation, has been used in the literature to model geometric deviations in the manufacturing industry, but has not been used in the processes such as chemistry, petro-chemistry, casting and in the modeling of material content. In this context, the POBREP method was used in this study for the first time in a different production process and was successfully applied.

It is suggested that POBREP coefficients are monitored with univariate control charts in the literature. In this study, these coefficients were monitored with Hotelling T^2 control chart. It has also been found that there are some typical patterns representing uncontrolled situations in the quality characteristics monitored with the Hotelling T^2 control chart; and the ANN models are used for automatic recognition of these patterns. Moreover, during the application of the mentioned model, a low dimensional problem which is not related to the POBREP method was encountered; and solutions for this problem were produced.

Keywords: Process-Oriented Basic Representation, Multivariate Control Chart, Artificial Neural Network, Brass, Casting Industry

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

KISALTMALAR DİZİNİ

AKS	:Alt Kontrol Sınırı
ARL	:Average Run Length
ASTM	:American Society For Testing And Metarials
AE	:Aşağı Eğitim
AK	:Aşağı Kayma
<i>b. ö. d.</i>	:bağımsız, özdeş, dağılmış
CANFIS	:Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System
<i>CUSUM</i>	:CumulativeSum
DBD	:Delta-Bar-Delta
DIN	:Deutshes Institut Für Normung
DI	:Dinlendirme
DÖ	:Döküm
DVM	:Destek Vektör Makineleri
EDBD	:Extendent Delta-Bar-Delta
ES	:European Standards
ER	:Ergitme
<i>EWMA</i>	:Exponentially Weighted Moving Average
GKNS	:Gizli Katman Nöron Sayısı
H_0	:Sıfır Hipotezi
H_1	:Alternatif Hipotez
<i>I</i>	:Individual
İKE	:İşletim Karakteristiği Eğrisi
K	:Karışım (Mixtures)
MAPE	:Mean Absolute Percentage Error
<i>MEWMA</i>	:Multivariate <i>EWMA</i>
MKEK	:Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu
MNSPC	:Multivariate Nonparametric Statistical Process Control
<i>MR</i>	:Moving Range
MSE	:Mean Square Error
MSQC	:Multivariate Statistical Qulaity Control

MYT	:Mason, Young ve Tracy
NATO	:North Atlantic Treaty Organization
NMSE	:Normal Mean Square Error
NOR	:Normal
OÇS	:Ortalama Çalışma Süresi
RBF	:Radial Basis Function
QCC	:Quality Control Chart
SOFMs	:Self-Organizing Feature Maps
SPC	:Statistical Process Control
STTG	:Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri
STTE	:Süreç Tabanlı Temel Elemanlar
TÇ	:Tekrarlayan Çevrim
TD	:Tolerans Değeri
TLR	:Time Lagged Recurrent
TSK	:Türk Silahlı Kuvvetleri
ÜKS	:Üst Kontrol Sınırı
VIF	:Variance Inflation Factor
YE	:Yukarı Eğim
YK	:Yukarı Kayma
YSA	:Yapay Sinir Ağı

SİMGELER DİZİNİ

i	:Element türü,
j	:Hurda türü,
k	:Kontrol grafikleri Faz aşaması,
t	:Numune sayısı veya ölçüm vektörü sayısı,
$W_{t,tx1}$	:Spektral analiz sonunda elde edilen t . ölçüm vektörü
W_{it}	:Spektral analiz sonunda elde edilen t . ölçüm vektörünün içindeki i . elementin yüzdesi
H_j	: j . hurda
H_{ij}	: j . hurdanın i . elementinin yüzdesi

$x_{t,ix1}$	:Spektral analiz sonunda elde edilen t . ölçüm vektörü ile hedef $MS\ 58$ cins pirinç element yüzdelerini içeren vektör arasındaki hata vektörü yani analize konu olan kalite vektörü
x_{kit}	:Analize konu olan k . fazdaki t . kalite vektörünün içindeki i . elementin yüzdesi
A_{ixt}	: m sayıda kalite değişkenli ve t hata sayılı süreç tabanlı temel elemanlar matrisi
a_j	: j . süreç tabanlı temel elemanlar vektörü
a_{ij}	: j . süreç tabanlı temel elemanlar vektörünün i . elementin yüzdesi
z_{kj}	: k . faz aşamasının j . süreç tabanlı temel gösterimleri katsayısı
D_{ix1}	:Hedef $MS\ 58$ cins pirinç element yüzdelerini içeren vektör
D_i	:Hedef $MS\ 58$ cins pirincin i . element yüzdesi
M_D	:Hedef $MS\ 58$ cins pirincin ağırlığı
m_j	:Karışıma j . hurdadan atılan fazla veya eksik atılan miktarın ağırlığı
ε	:Hata terimi veya genel nedenler, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$
μ	:Ortalama
α	:Tip-1 hatasının olasılığı
β	:Tip-2 hatasının olasılığı
r	:Korelasyon katsayısı
R^2	:Belirlilik katsayısı
σ^2	:Varyans
Φ	:Standart normal kümülatif dağılım
L	:Kontrol sınırlarının genişlik katsayısı
Σ	:Varyans-kovaryans
X_1	:Ocak içerisinde o anda ergimiş halde bulunan istenen element % si,
X_2	:Ocağa ilave edilecek hammaddenin içeriğinde bulunan istenen element % si,
M_1	:Ocak içerisinde o anda bulunan sıvı metal miktarı,
M_2	:Ocağa ilave edilecek hammadde miktarı.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1	:Üretim Yöntemlerinin Şekilsel Gösterimi
Şekil 2	:Döküm Süreçlerinin Kalite Kontrolü İle İlgili Önerilen Model
Şekil 1.1	:Olasılığa ve Standart Sapmaya Dayanan Kontrol Sınırları
Şekil 1.2	:Örnek İşlem Karakteristiği Eğrisi
Şekil 1.3	:Tek Değişkenli Kontrol Grafikleri ve Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerine Geçiş
Şekil 1.4	:Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Kontrol Bölgesinin Gösterimi.
Şekil 1.5	:Western Elektrik Şirketi (1958) Tarafından Önerilen Altı Çeşit Tipik Örüntü
Şekil 2.1	:Baskılı Devre Kartında Lehim Pozisyonları
Şekil 2.2	:Baskılı Devre Kartında Oluşan Hata Kaynakları
Şekil 2.3	:Baskılı Devre Kartında Oluşan İzlerin Vektörde Gösterimi
Şekil 2.4	:Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri Yönteminin Özet Olarak Grafikselleştirilmesi
Şekil 2.5	:STTG Metodolojisi
Şekil 2.6	:STTG Metodolojisi Hata Teriminin Analizi
Şekil 3.1	:Sinir Hücresinin Basit Gösterimi
Şekil 3.2	:Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağ Modeli
Şekil 3.3	:Çok Katmanlı Geri Beslemeli Ağ Modeli
Şekil 3.4	:Danışmanlı Öğrenmenin Şekilsel Gösterimi
Şekil 3.5	:Danışmansız Öğrenmenin Şekilsel Gösterimi
Şekil 3.6	:Pekiştirerek Öğrenmenin Şekilsel Gösterimi
Şekil 3.7	:Yapay Sinir Ağlarının Basit Gösterimi
Şekil 3.8	:Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı ve Temel Bileşenleri
Şekil 3.9	:Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.10	:Basamak Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.11	:Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.12	:Sigmoid Tipi Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.13	:Hiperbolik Tanjant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.14	:Sinüs Tipli Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.15	:Gauss Dönüştürme Fonksiyonu
Şekil 3.16	:YSA'nın Kalite Kontrol Kartlarında Kullanımındaki Gelişmeler
Şekil 3.17	:Çok Değişkenli Kontrol Kartlarında Yapay Sinir Ağları ile Yapılan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

- Şekil 4.1** :Pirinç Fabrikası Müdürlüğündeki Ana Süreçler
- Şekil 4.2** :Pirinç Üretimi Alt Sürecinin Bölümleri
- Şekil 4.3** :Hammadde ve Malzemelerin İçerdikleri Elementlere Göre Gruplanması
- Şekil 4.4** :Vezinhane Bölümünde İş Akış Şeması
- Şekil 4.5** :Hammadde Ergitme ve Döküm Süreci İş Akış Şeması
- Şekil 4.6** :Ekstrüzyon Süreci İş Akış Şeması
- Şekil 4.7** :Yüksük Basma Süreci İş Akış Şeması
- Şekil 4.8** :Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün Kalite Kontrol Uygulama Adımları
- Şekil 4.9** :Probleme Yönelik Oluşturulan Neden-Etki Diyagramı
- Şekil 4.10** :Çok Katmanlı YSA'nın Basit Gösterimi
- Şekil 4.11** :Çoklu ve Modüler YSA Topolojisi
- Şekil 4.12** :Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları
- Şekil 4.13** :Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Test Sonuçları
- Şekil 4.14** :Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları
- Şekil 4.15** :Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Test Sonuçları
- Şekil 4.16** :Ham Giriş Verili Modüler YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları
- Şekil 4.17** :Ham Giriş Verili Modüler YSA Modeli Test Sonuçları
- Şekil 4.18** :Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları
- Şekil 4.19** :Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modeli Test Sonuçları
- Şekil 4.20** :Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri
- Şekil 4.21** :Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri
- Şekil 4.22** :Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri
- Şekil 4.23** :Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri

GRAFİKLER DİZİNİ

- Grafik 2.1** :Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Oluşan Tipik Örüntü Örnekleri
- Grafik 2.2** :Standart Temel Vektör
- Grafik 2.3** :Doğrusal Birleşimler (Kombinasyonlar)
- Grafik 4.1** :MS-58 Pirinç Alaşımının Element Değerlerinin Çok Değişkenli Normal Dağılım Grafiği
- Grafik 4.2** :*Cu* ve *Pb* Elementlerine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi
- Grafik 4.3** :*Fe* ve *Sn* Elementlerine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi
- Grafik 4.4** :*Al* ve *Ni* Elementlerine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi
- Grafik 4.5** :*Sb* Elementine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi
- Grafik 4.6** :*Cu*, *Pb*, *Fe*, *Sn*, *Al*, *Ni*, *Sb* Elementlerinin İlk 167 Gözlem Değerlerinin Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle İzlenmesi
- Grafik 4.7** :*Cu*, *Pb*, *Fe*, *Sn*, *Al*, *Ni*, *Sb* Elementlerinin İkinci 167 Gözlem Değerlerinin Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle İzlenmesi
- Grafik 4.8** :STTG Katsayıları İçin Oluşturulan $Q-Q$ Grafikleri
- Grafik 4.9** :Birinci STTG Katsayısı (Z_{21}) İçin Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.10** :İkinci STTG Katsayısı (Z_{22}) İçin Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.11** :Üçüncü STTG Katsayısı (Z_{23}) İçin Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.12** :Dördüncü STTG Katsayısı (Z_{24}) İçin Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.13** :Birinci ve İkinci STTG Katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}) İçin Düzenlenen EWMA Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.14** :Üçüncü ve Dördüncü STTG Katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}) İçin Düzenlenen EWMA Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.15** :STTG Katsayıları İçin Düzenlenen Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinin Faz II Aşamaları
- Grafik 4.16** :STTG Katsayıları İçin Düzenlenen Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinde Oluşan Yukarı Eğim Örüntü Tipi
- Grafik 4.17** : $|e^2|$ Değerlerinin EWMA Kontrol Grafiği İle İzlenmesi
- Grafik 4.18** : $|e^2|$ Değerlerinin Olasılık Grafiği İle Normallik Kontrolü

RESİMLER DİZİNİ

- Resim 4.1** :Vezinhane Bölümünün Genel Görünümü
- Resim 4.2** :Vezinhane Açık Sahasının Çeşitli Görüntüleri
- Resim 4.3** :Vezinhane Bölümünde Kullanılan Raylı İş Arabaları
- Resim 4.4** :Dökümhane Bölümünün Genel Görüntüsü
- Resim 4.5** :Sürekli Döküm Sisteminde Ergitme Ocağından Dinlendirme (Döküm) Ocağına Döküm Anı
- Resim 4.6** :Döküm Kalıbı
- Resim 4.7** :Çekme Ünitesi
- Resim 4.8** :Kesilen Takozlar
- Resim 4.9** :Kesilerek İş Kazanına Düşürülen Takozlar
- Resim 4.10** :Spektral Analizin Yapıldığı Ölçüm Aleti
- Resim 4.11** :Çalışma da Kullanılan Saf Halde Bulunan ve Emprüteleri Kapsayan Hurda Resimleri
- Resim 4.12** :NeuroSolution Paket Programındaki 4 adet Modüler YSA Topolojisi

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1	:MS 58 Cinsi Pirinç Özellikleri
Tablo 1.1	:Juran'nın Trilogy Diyagramı
Tablo 1.2	:Rekabette Varolan Unsurlara Katılan Yeni Unsurlar
Tablo 1.3	:Çeşitli Örneklem Hacimlerine İlişkin <i>I</i> Kontrol Grafiği Katsayıları
Tablo 1.4	:Çeşitli Örneklem Hacimlerine İlişkin <i>MR</i> Kontrol Grafiği Katsayıları
Tablo 1.5	:Çeşitli Örneklem Hacimlerine İlişkin <i>EWMA</i> Kontrol Grafiği A_2 Katsayıları
Tablo 1.6	:Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle Bağlantılı Örüntüler
Tablo 3.1	:Öğrenme Stratejilerine Göre YSA Çeşitleri
Tablo 3.2	:Literatürde Kullanılan Çeşitli Toplama Fonksiyonları
Tablo 3.3	:Biyolojik Sinir Sistemi İle YSA'nın Benzeşimleri
Tablo 3.4	:YSA Literatür Tarama Ölçeği
Tablo 3.5	:YSA'nın Literatür Taraması Ölçeğine Göre Makalelerin Sınıflandırılması
Tablo 3.6	:Birleşik Sinir Ağı Çeşitleri ve Tanımları
Tablo 4.1	:MS 58 Pirinç Alaşımının İçeriği
Tablo 4.2	:Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde 01 Ocak-31 Mart 2015 Döneminde Bulunan Saf ve Hurda Malzemelerin Listesi
Tablo 4.3	:MS-58 Pirinç Elementlerinin Çok Değişkenli Normal Dağılım Kontrol Değerleri
Tablo 4.4	: <i>I</i> Kontrol Grafiğinin Faz I Aşaması Parametreleri
Tablo 4.5	: <i>MR</i> Kontrol Grafiğinin Faz I Aşaması Parametreleri
Tablo 4.6	:Faz I Verileri İçin Elementler Arasındaki İlişkiyi Gösteren Korelasyon ve Varyans-Kovaryans Matrisleri İle Ortalama Vektörü
Tablo 4.7	:Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinin Faz I İçin T^2 İstatistik Değerleri
Tablo 4.8	:Hotelling T^2 Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri
Tablo 4.9	:Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Kullanılan Hurda Cinsleri
Tablo 4.10	:Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Son Sekiz Sene İçinde Kullanılan Hurda Cinsleri
Tablo 4.11	:18 Adet Hurdaya Ait Element Oranları
Tablo 4.12	:Gruplama Sonrası Hurda Grupları
Tablo 4.13	:6 Adet Hurda Grubunun Element Oranları
Tablo 4.14	:Gruplama Sonrası Oluşturulan Altı Adet Gruba Ait Temel Elemanlarının Hesaplanması
Tablo 4.15	:Altı Adet STTE Arasındaki Korelasyon Matrisi

Tablo 4.16	:Altı Temel STTE Arasındaki Korelasyon Matrisinin Cebirsel Ters Matrisi
Tablo 4.17	:Altı Adet STTE'lere Ait Özdeğerler
Tablo 4.18	:Dört Adet STTE'nin Arasındaki Korelasyon Değerleri
Tablo 4.19	:Dört Adet STTE'nin <i>VIF</i> Değerleri
Tablo 4.20	:Dört Adet STTE'nin Özdeğerleri
Tablo 4.21	:Dört Adet STTE'nin Koşul İndeksi
Tablo 4.22	:Dört Adet STTE Matrisinin Elemanları ve Değerleri
Tablo 4.23	:STTG Katsayıları Faz II Aşaması Belirtme Katsayıları
Tablo 4.24	:Kalite Vektörü Korelasyon Matrisi
Tablo 4.25	:Hata Terimi Korelasyon Matrisi
Tablo 4.26	:STTG Katsayıları için <i>I</i> Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Parametreleri
Tablo 4.27	:STTG Katsayıları için <i>MR</i> Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Parametreleri
Tablo 4.28	:STTG Katsayılarının <i>EWMA</i> Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri
Tablo 4.29	:Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Ortalama Vektörü, Varyans-Kovaryans Matrisi ile Korelasyon Matrisi
Tablo 4.30	:STTG Katsayılarının İzlendiği Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinde Tespit Edilen Yukarı Eğim Örüntü Tipi T^2 Değerleri
Tablo 4.31	:YSA'ların Kalite Kontrol Grafiklerinde Kullanıma Göre Sınıflandırılması
Tablo 4.32	:Örüntüleri Üreten Fonksiyonlar, Fonksiyonlara İlişkin Parametreler ve Parametre Değerleri
Tablo 4.33	:Tasarlanan Ağın Çıktıları ve Oluşturulan Örüntü Sınıflarının Gösterimi
Tablo 4.34	:DeneySEL Olarak Elde Edilen Öğrenme Algoritmalarının Parametre Değerleri
Tablo 4.35	:Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA, Gizli Katman Sayısı:1
Tablo 4.36	:Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA, Gizli Katman Sayısı:1
Tablo 4.37	:Ham Giriş Verili Modüler YSA, Gizli Katman Sayısı:1
Tablo 4.38	:Özellikli Giriş Verili Modüler YSA, Gizli Katman Sayısı:1
Tablo 4.39	:Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli ile Modüler YSA Modeli İle İlgili Özet Bilgiler
Tablo 4.40	:Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli ile Modüler YSA Modeli İle İlgili Özet Bilgiler
Tablo 4.41	:Oluşturulan YSA Modelleri İçin Elde Edilen Doğru Sınıflandırma Yüzde Değerleri

Tablo 4.42 :Tablo 4.30'da Yer Alan T^2 Değerlerine Ait İstatistikî Değerler



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam süresince;

Çalışmama bilgi ve tecrübeleriyle değerli katkılarda bulunan değerli danışman hocam, sayın **Prof. Dr. Erkan OKTAY**'a,

Değerli vaktini bana ayıran, tecrübe ve bilgileri ile yol gösteren ve ufkumu açan, tezimin her harfinde çok büyük emekleri olan ve taşıdığı üstün insani vasıflarıyla bana değer katan değerli danışman hocam, sayın **Prof. Dr. Burak BİRGÖREN**'e,

Tezimin yapay sinir ağları ile ilgili bölümünün hazırlanmasında benden bilgisini ve tecrübesini eksik etmeyen değerli hocam, sayın **Doç. Dr. Necaattin BARIŞCI**'ya

Eğitim hayatım süresinde üzerimde emeği bulunan **bütün hocalarıma**,

Sağlamış oldukları imkanlardan ötürü MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü kalite mühendisi, sayın **Hakan ÇELİK**'e,

Maddi ve manevi bütün fedakarlıklarından ve desteklerinden ötürü değerli eşim ve yol arkadaşım, **Hayriye Binnur ORÇANLI** ile oğlum, **Hakan Oğuz ORÇANLI**'ya teşekkür ederim.

Erzurum-2017

Kenan ORÇANLI

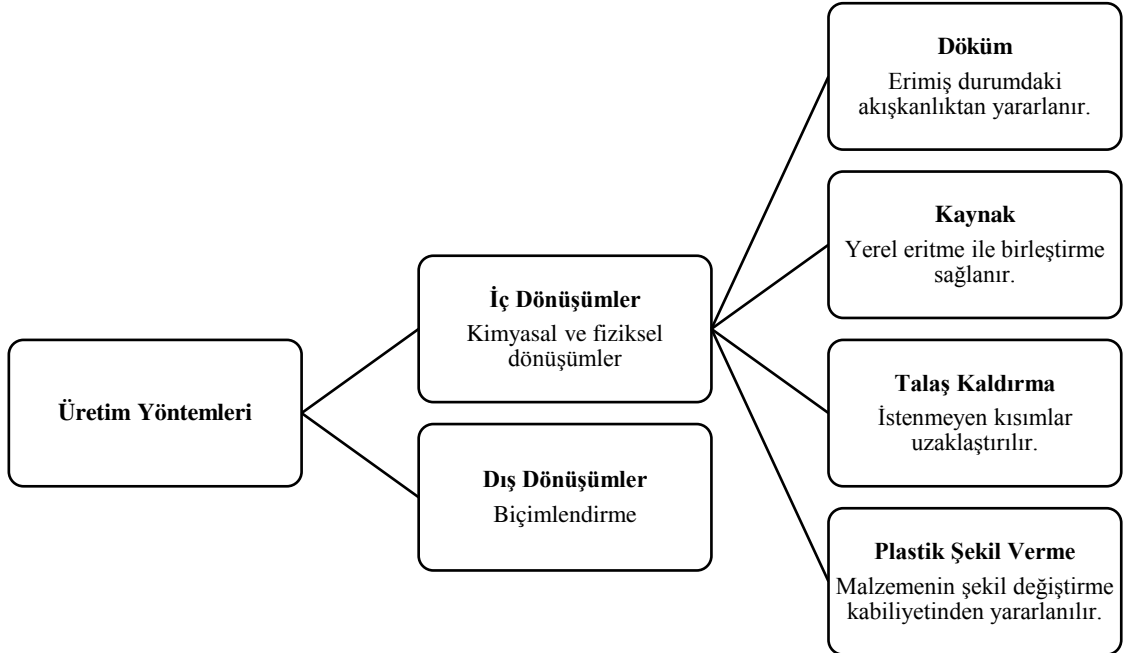
GİRİŞ

Medeniyetin hızla ilerlemesi, insanların gereksinimlerinin artmasına neden olmakta ve bunun yanında hızla gelişen teknoloji, üretim işlevini karmaşıktırmaktadır.

Bilindiği gibi **üretim**; fiziksel bir maddenin araç gereç, insan gücü ve materyallerin yardımıyla monte edilmesi ya da yapımıdır (Aran, 2007). Diğer bir deyişle doğada bulunan malzemelerin istenilen özellik ve biçimdeki ürünlere dönüştürmek anlamında kullanılabilir. Fiziksel maddenin ortaya konulması için ürünün özelliklerine göre çeşitli çalışmalar yerine getirilmektedir.

Üretim yöntemleri, **iç ve dış dönüşümler** olarak iki gruba ayrılmaktadır (Aran, 2007).

İç dönüşümler genellikle cevherlerin indirgenmesi, kimyasal arıtma, ısı işlemler gibi maddelerin kimyasal dönüşüme uğratıldıkları üretim teknikleridir. **Dış dönüşümler** malzemelerin istenilen biçim ve boyutlara sokulması için uygulanan üretim yöntemleridir. Aran (2007) tarafından yapılmış üretim yöntemlerinin şekilsel gösterimi **Şekil 1**'de yer almaktadır.



Şekil 1: Üretim Yöntemlerinin Şekilsel Gösterimi

Bu kapsamda birçok değişik yöntem içeren üretim yöntemlerinden iç dönüşümle ilgili olan başlıcaları; **döküm**, kaynak, talaş kaldırma ve plastik şekil verme yöntemleridir.

Üretim yöntemlerinin biri olan **döküm**, metal üretme fırınlarından elde edilen eriyik haldeki metalin kullanım amacına göre gerekli şekil verilerek katılaştırılması olayıdır (Özel ve Birgören, 2007). Yani diğer bir deyişle, sıvı halde akıcı olan metallerin üretilmek istenen parçanın biçiminde bir boşluk içeren kalıplara doldurularak katılaştırıldığı bir imalat yöntemidir.

Döküm yönteminde saf veya hurda ve ametaller kullanılmaktadır. Döküm yönteminde saf metallerin yanında ametallerin kullanılmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Saf metallerin belirli özelliklere sahip olmasından dolayı sınırlı kullanma alanları vardır. Ametaller kullanılarak saf metallerin sınırlı kullanım alanı genişlemektedir.
- Saf metallerin dökümü zor ve döküm özellikleri sınırlıdır.

Döküm yönteminde saf metallere çeşitli metal ve ametaller belli oranlarda karıştırılarak alaşımlar elde edilir. Böylece alaşımların özellikleri iyileştirmekle beraber döküm işlemi kolaylaşır. Ancak soğuk biçimlendirme ve ısı işlemlerle sağlanan bu özellik değişimi (*mukavemet, şekil alma, elektrik ve ısı iletkenliği*) belirli hâllerde değiştirmek mümkündür.

Alaşım, bir metale bir ya da birçok element katılarak elde edilen veya daha fazla sayıdaki elementin bir arada eritilmesi ile farklı özellikler ve üstün mekanik değerler taşıyan metalürji ürünlere verilen isimdir. Bu işlem, saf metalin bazı özelliklerini değiştirmeyi, hatta ona geniş özellikler kazandırmayı amaçlar (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi (MEGEP), 2007).

Alaşım yapmanın amacı;

- Çok sayıda ve değişik özellikte malzeme elde etmek,
- Mekaniksel özellikleri değiştirmek,
- Fiziksel özellikleri değiştirmek, ısı işlemlere uygun hâle getirmek,

- Malzeme maliyetini düşürmek,
- Korozyondan korunmaktır (MEGEP, 2007).

Alaşımanın en büyük yararı, ilâve edilen metallerin, ana metal özelliklerine nasıl tesir ettiğinin bilinmesi ile üstün özelliklere sahip yeni mamullerin elde edilmesine yardım eder (MEGEP, 2007).

Döküm sürecinde kâr amacı olan işletmeler, maliyeti düşürmek amacıyla alaşım elde etmek için saf metallerin yanında hurda malzemeler kullanmaktadır. Çünkü saf malzemelerin maliyeti yüksek ve hurda malzemelerin maliyeti ise düşüktür.

Döküm sanayisinde üretim süreci, genellikle dört veya beş aşamadan oluşmaktadır. Yapılan literatür araştırması sonucunda ise döküm süreci faaliyetlerinin üç aşama şeklinde de gruplanabileceği görülmüştür (Energy and Environmental Profile of the U.S. Metalcasting Industry, 1999; Moseki, 2002; Nur Hamizah, 2010; Příbulová, Gengel ve Bartošová, 2010; Saravanakumar, 2015).

- Birinci aşama, **saf ve hurda malzemelerin harmanlanması** aşamasıdır. Bu aşamada, üretilecek olan dökümün içinde bulunması gereken elementlerin bulunduğu saf ve hurda malzemeler uygun oranlarda birleştirilir ve eriyik elde etmek için şarjlar hazırlanır. Diğer bir deyişle, harmanlama yapılır.

- İkinci aşama, **şarjların eritilmesi ve soğutulması** aşamasıdır. Bu aşamada, şarjlar eritilir ve döküm sıcaklığına çıkartılır. Daha sonra eriyik bir kalıba dökülür. Kalıba dolan eriyik haldeki metal soğumaya başlar ve sıcaklık belli bir değere düştüğü zaman katılaşma başlar. Katılaşma tamamlandığında hala sıcak olan parça oda sıcaklığına kadar soğur. Bütün bu süreç boyunca parçanın boyutu ve biçimi yanında malzemenin içyapısı ve dolayısıyla özellikleri belirlenir.

- Üçüncü aşama ise **kalıplama** aşamasıdır. Bu aşamada metalin kullanım amacına ve üretim yöntemine göre gerekli şekil verilerek nihai ürün elde edilir. Bu aşamalardan hepsi önemli olsa da, en önemli aşamaları ikinci ve üçüncü aşamalardır (Saravanakumar, 2015).

Döküm endüstrileri, yukarıda açıklanan döküm üretim süreci boyunca nihai ürünlerin müşteriler tarafından reddedilmesini ve yeniden işlenmesini azaltmak için yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Bunu başarmak için, kalite kontrolü yöntemlerini, taviz

vermeden doğru ve kusursuz bir şekilde takip etmektedir. Kalite kontrolü araştırmasına dayalı sürece uydurulmuş bu kalite kontrolü tekniklerin zamanında uygulanması, ürünlerdeki kusurlardan kaçınmak için şarttır. Bu kapsamda döküm sanayisinde üretilen ürünün kalite kontrolü genellikle üç aşamada yapılmaktadır.

- **Birinci aşamada;** eriyik hale gelen metalin dinlendirme ocağına alınmadan eriyiğin içindeki element oranlarının belli oranlarda olması istenmektedir. Element oranları, eriyiğin içinde bulunan metallerin ağırlığının toplam eriyik ağırlığına bölünerek bulunan yüzde değerlerdir. Bir metalin kalitesi bu metallerin yüzde değerlerine bakılarak yapılır ve ölçüm sonunda bu değerlerin belli standartlarda olması istenir (*İlk kontrol*) (Çolak, 2011).

- **İkinci aşamada;** farklı indüksiyon ocaklarından gelen eriyik, dinlendirme ocağında karıştırılır ve birinci aşamada yapılan aynı işlem tekrarlanır (*İkinci kontrol*).

- **Üçüncü ve son aşamada ise;** dinlendirme ocağından gelen eriyiğin kalitesini içine döküldüğü kalıpların türü ve hazırlanışında gösterilen özen belirlemektedir (Saravanakumar, 2015). Bu aşamada kalite karakteristiklerini üretilen nihai ürünün çap, kalınlık, sertlik gibi özellikleri oluşturmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği üzere döküm sanayisinde kalite kontrolü nihai ürünün özelliklerine yani kusurlarına bakılarak yapılmaktadır. Ancak bu özellikleri aynı anda etkileyen farklı ve birbiriyle ilişkili hata kaynakları bulunmaktadır. Yani bir özellikte meydana gelen hatanın kaynağı iki veya üç nedenin kombinasyonu şeklindedir (Kashedikar ve Katore, 1998; Saravanakumar, 2015). Ancak bu şekilde yapılan kalite kontrol uygulaması yerine metal alaşımı içinde bulunan element oranlarına bakılarak da yapılabilir (Beeley, 2001, Campbell, 2003; Sarkar, Mallik, Panigrahi, ve Ghosh, 2001; Vijayaram, Sulaiman ve Hamouda, 2006). Diğer bir deyişle kalite karakteristiği olarak üretilen nihai ürünün çap, kalınlık, sertlik gibi özellikleri kadar eriyik halde bulunan metal alaşımının içinde bulunan element oranları da önemlidir. Döküm sanayisinde bu şekilde yapılabilecek kalite kontrolüne örnek olarak **pirinç döküm sanayisi**, alüminyum döküm sanayisi ve demir-döküm sanayisi verilebilir.

Bakırın çinko ile değişik oranlarda birleşerek yapmış olduğu alaşımlara **pirinç alaşımı** adı verilir. Döküm sanayinde pirinç alaşımın elde edilmesi için üretim süreci vezinhanenin açık alanına getirilen hurda malzemeler ile saf maddelerin içindeki

birbirine benzer elementlere göre sınıflandırılması ile başlar ve en kritik süreçlerden biri, bu hurda malzemeler ile saf maddelerin istenen metal oranlarını sağlayacak şekilde harmanlanmasıdır. Harmanlar, içerisinde çeşitli metaller ihtiva eden hurda malzemelerin ve saf malzemelerin karışımından oluşmaktadır. Mevcut saf ve hurda malzemeler karıştırılarak ergitme ocaklarına şarj edilip istenilen standartlarda pirinç elde edilir. Ergitme ocaklarından her şarjda belli periyotlar ile kontrol amaçlı örnek alınarak karışımın içerisindeki element yüzdeleri ölçülür (Özel ve Birgören, 2007). Spektral analiz sonunda elde edilen element oranlarının uluslararası standartlarda olması gereklidir.

Pirinç alaşımı üretimi sürecinde spektral analiz sonunda herhangi bir elementin oranı az gelmişse standardı sağlamak için o maddeden gerekli miktar ocağa eklenir. Element oranı fazla çıkmışsa öncelikle saf çinko ve bu çinkonun eklenmesiyle oranı alt sınır altına (*min*) inecek elementten gerekli miktar ocağa ilave edilerek oranlar sağlanmaya çalışılır. Eğer ocakta farklı bir ürünün dökümüne geçilecekse, bir önceki ürünün dökümünden belli bir miktar ocakta kaldığı için ocağa saf bakır veya çinko ilave edilir: Yeni ürünün bakır oranı bir öncekinden yüksek ise saf çinko, düşük ise saf bakır ilave edilerek ocaktaki karışımın empürite oranları yeni ürünün seviyesine çekilir.

Örnek olması açısından *MS 58* pirinç cinsinin üretim sonunda ulaşılması istenen *DIN 17660* standartları olan *MS 58* cinsi pirinç özellikleri **Tablo 1**'de yer almaktadır.

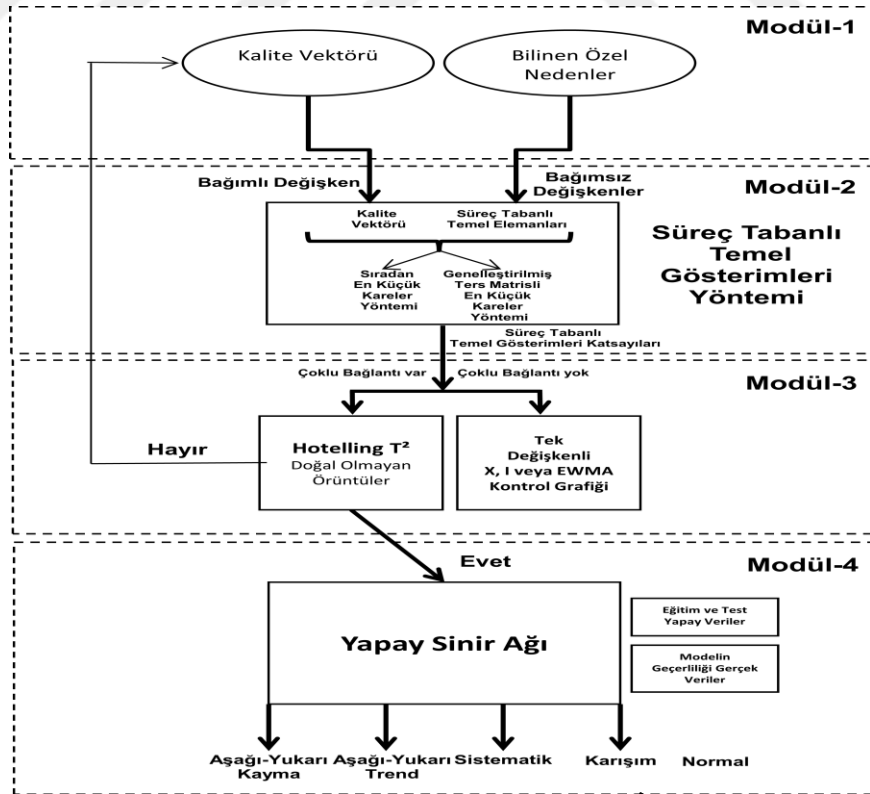
Tablo 1: *MS 58* Cinsi Pirinç Özellikleri

<i>MS 58 CuZn39Pb3</i>		
	Minimum Değer (%)	Maksimum Değer
Bakır (<i>Cu</i>)	57	59
Kurşun (<i>Pb</i>)	2.5	3.5
Demir (<i>Fe</i>)	0	0,5
Antimon (<i>Sn</i>)	0	0,4
Alüminyum (<i>Al</i>)	0	0,1
Nikel (<i>Ni</i>)	0	0,5
Kalay (<i>Sb</i>)	0	0,02
Diğer	0	0,3
Çinko (<i>Zn</i>)	Geri kalan	

Bu çalışmada pirinç döküm sanayisinde kalite iyileştirme çalışmaları kapsamında Makine Kimya Endüstrisi (*MKE*) Kurumuna bağlı olarak faaliyetlerini Kırıkkale ilinde yürüten Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü uygulaması yapılmıştır. Süreç kontrolünde kalite karakteristikleri olarak

pirinç alaşımı içinde bulunan element oranları belirlenmiş ve bu kalite karakteristikleri, tek değişkenli I ve MR kontrol grafikleri ve çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmiştir. İzleme sonucunda kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyaller ve doğal olmayan bazı örüntüler tespit edilmiştir. Ancak, tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyale sebep olan kalite karakteristiği/karakteristiklerinin ne olduğu ve örüntülerin oluşmasına sebep olan nedenler araştırıldığında anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Bu kapsamda, pirinç üretim sürecinde pirinç alaşımının element oranlarının istenen değerlerde yani *DIN 17660* standartlarında olmamasının nedenlerini ortaya koyacak bir modele ihtiyaç duyulmuştur. Konuyla ilgili literatürde bir araştırılma yapılmış ve süreç tabanlı temel gösterimleri (STTG) yöntemine dayalı bir model ortaya konulmuştur. Ayrıca, söz konusu modele kontrol grafiklerinde oluşan örüntülerin otomatik olarak tanınması maksadıyla yapay sinir ağı yöntemine dayalı otomatik kontrol sistemi eklenmiştir.

Bu kapsamda, Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde yapılan bu çalışmada tespit edilen problemin çözümü için önerilen **STTG yöntemine dayalı model Şekil 2'dedir.**



Şekil 2:Döküm Süreçlerinin Kalite Kontrolü İle İlgili Önerilen Model

Önerilen modelde kullanılan yöntemlerden **tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri** ile ilgili teorik bilgiler **birinci bölümde**; **STTG yöntemi** ile ilgili teorik bilgiler **ikinci bölümde** ve **YSA modelleri** ile ilgili teorik bilgiler **üçüncü bölümde** verilmiştir. Ayrıca, araştırmada **R dili** ile **Minitab 7** ve **Neurosolutions** paket programları kullanılmıştır. R dili ile Minitab ve Neurosolutions paket programları ile ilgili teorik bilgiler **Ek 1'**dedir.

ÇALIŞMANIN AMACI

Yapılan çalışma ile;

- Döküm süreçlerinde kalite kontrolü iyileştirilmesi çabalarını geliştirmek,
- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyallerin oluşmasında bunları tespit ve teşhis etmek maksadıyla literatüre süreç tabanlı temel gösterimleri yöntemine dayalı yeni bir model önermek ve bu modele otomatik kontrol yeteneği kazandırmak amaçlanmıştır.

Uygulama, Kırıkkale ilinde konuşlu ve faaliyetlerini MKEK'ye bağlı olarak yürüten Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde yapılmıştır. Uygulama verileri olarak söz konusu fabrikada, 01 Ocak-31 Mart 2015 tarihleri arasında üretilmiş metal eriyiklerden spektral analizi sonucunda elde edilen üç aylık pirinç alaşımı element oranları değerleri kullanılmıştır. Çalışmada, ilk olarak üretim sürecinin değişkenliğini tespit etmek için pirinç alaşımı element oranları değerleri, tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiş, ancak kontrol dışı sinyallerin ve oluşan örüntülerin yorumlanması konusunda istenen sonuca ulaşamamıştır. Müteakiben söz konusu problem ile ilgili **Şekil 2'**de yer alan STTG yöntemine dayalı model önerilmiş ve uygulaması yapılmıştır.

ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Yapılan çalışma, aşağıda belirtilen konular açısından önemlidir.

- Döküm sanayisinde istatistiksel kalite kontrolü uygulamaları yapılmaktadır, ancak daha çok yaygın olarak kullanılan yöntemler, basit ve tek değişkenli kalite kontrol teknikleridir. Ancak günümüzde süreçlerde meydana gelen değişimleri tespit etmek için tek değişken yerine birden fazla ve birbiri ile ilişki içinde olan değişkenlerin kullanılması gerekmektedir. Çünkü böylece daha sağlıklı ve doğru sonuçlar elde

edilmektedir. Yapılan çalışmada, çok değişkenli bir süreç olan döküm sürecinde değişimi tespit etmek için çok değişkenli kontrol grafiği olan Hotelling T^2 kontrol grafiği kullanılmıştır.

- Döküm sürecinde değişimi tespit etmek için yapılan kalite kontrolü uygulamasında, kalite karakteristiklerini genel olarak üretilen nihai ürünün çap, kalınlık gibi özellikleri oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada ise bu durumdan farklı olarak kalite karakteristikleri olarak üretilen nihai ürüne hammadde olan metal alaşımın içindeki element oranlarının da çok değişkenli bir yaklaşımla kullanılabileceği ve süreçte meydana gelebilecek değişimin seçilen bu kalite karakteristikleri ile de ortaya konabileceği gösterilmiştir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde en önemli problem kontrol dışı sinyalin yorumlanmasıdır. Yapılan çalışma da, döküm sürecinde uygulanan çok değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyalin yorumlanması ile ilgili olarak literatürde yer alan yöntemlerden farklı bir model önerilmiştir.

- Yapılan çalışmada önerilen model ile MKEK'ye bağlı olarak Kırıkkale ilinde faaliyetlerini yürüten Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim süreçlerinde tespit edilen gerçek yaşam problemine çözüm oluşturulmuştur.

- Çalışmada önerilen modelin bir parçası olan STTG yöntemi, imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bunun süreç (*kimya, petro-kimya, döküm vb.*) endüstrileri üretim süreçlerinde uygulamasının olmadığı görülmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışma ile söz konusu yöntemin yeni bir endüstri alanında uygulaması yapılmıştır.

- Yapılan uygulamada önerilen model, pirinç, demir ve alüminyum döküm süreçlerinde kullanılabilecek genel bir modeldir. Bu model, bütün döküm süreçlerinde kullanılabilir ancak problemin durumuna göre özelleştirilmesi gerekir.

- STTG katsayılarının literatürde tek değişkenli kontrol grafikleriyle izlenmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur, ancak çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenebileceği belirtilmektedir. Yapılan çalışmada, STTG katsayıları, Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmiştir. Bu sayede yerli ve yabancı literatüre katkı sağlanmıştır.

- STTG yönteminde, kalite karakteristikleri sayısı ile hata sayısının eşit olması ve kalite karakteristikleri sayısının hata sayısından fazla olması durumlarına göre iki adet matematiksel model önerilmiştir. Ancak, hata sayısının kalite karakteristikleri sayısından fazla olması durumu için literatürde herhangi bir yöntem önerilmemiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda, söz konusu problemin adimsal regresyon yöntemi, değişken sayısının azaltılması için kullanılan çeşitli teknikler ve genelleştirilmiş ters matris yöntemi ile çözülebileceği ortaya konmuş ve pirinç alaşımı üretim sürecinde değişken sayısının azaltılması için kullanılan bazı değişken azaltma tekniklerinin uygulaması yapılmıştır.

- STTG yönteminin uygulamasının yapıldığı, literatürde yer alan bütün çalışmalarda kurulan matematiksel modellerde kalite vektörlerini etkileyen hata kaynakları sayısı uygulama boyunca sabit kalmaktadır. Bu da çok tipiktir. Ancak pirinç alaşımı üretim sürecinde yapılan çalışmada, bu durumun böyle olmadığı ve bazı matematiksel modellerde eksik hata kaynakların bulunabileceği görülmüştür. Karşılaşılan bu durumun çözümü için eksik veri tamamlama yöntemleri kullanılmıştır.

- Literatürde, STTG yönteminde temel elemanların oluşturulması geometrik sapmaların modellenmesinde gösterilmiştir. Yapılan çalışma ile STTG yönteminin yeni bir endüstri alanında uygulandığında temel elemanlar için doğrudan kullanılacak bir formülasyonun olmadığı ve matematiksel modelleme gerektiği görülmüştür. Bu çalışmada temel elemanların döküm sanayisinde genelleştirilerek nasıl modelleneceği gösterilmiştir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan örüntülerin otomatik olarak tanınması için literatürde ağırlıklı olarak çok katmanlı yapay sinir ağı (YSA) ve doğrusal vektör kuantizasyon (*Linear Vector Quantization (LVQ)*) YSA modelleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada ise farklı bir YSA modeli (*modüler YSA modeli*) kullanılmış ve çok katmanlı YSA modeli ile performans karşılaştırılması yapılmıştır.

TEZİN BÖLÜMLERİ

Yapılan çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk üç bölümü (*birinci, ikinci ve üçüncü bölümleri*) tezin teorik kısmını ve dördüncü bölümü ise tezin uygulama bölümünü oluşturmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde; kalite, kalite kontrolü, istatistiksel kalite kontrolü, istatistiksel süreç kontrolü ile ilgili kavramlara, istatistiksel kontrol grafikleri ve bu kapsamda tek değişkenli kontrol grafiklerinden *I* ve *MR* kontrol grafikleri ile çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol grafiğinin dizayn edilmesi ile ilgili teorik bilgilere,

Çalışmanın ikinci bölümünde; STTG yöntemi ile ilgili teorik bilgilere ve söz konusu yöntemle ilgili olarak yapılan literatür taramasına,

Çalışmanın üçüncü bölümünde; YSA hakkında genel bilgiler verilmiş ve YSA'nın kalite kontrol grafiklerinde kullanılmasıyla ilgili olarak yapılan literatür taramasına yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü ve son bölümünde ise; MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde *I* ve *MR* kontrol grafikleri ile çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol grafiğine dayanan süreç kontrolü yapılmış, üretim sürecinin değişkenliği izlenmiş ve tespit edilen kontrol dışı sinyallerin yorumlanmasına çalışılmıştır. Ancak yorumlama işlemi sonucunda anlamlı sonuçlara ulaşılamadığından dolayı STTG yöntemine dayalı bir model önerilmiş ve bu önerilen modelin uygulaması yapılmıştır. Ayrıca, önerilen modelin uygulanması esnasında karşılaşılan problemler, literatürde yer alan çeşitli yöntemler kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır.

Dört bölüm halinde tesis edilen çalışmanın en sonunda; sonuç ve öneriler ile Ekler yer almaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE, KALİTE KONTROLÜ VE İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ

1.1. KALİTE KAVRAMI

Gelişmekte olan ülkelerde en çok tartışılan konulardan birisi kalite kavramıdır. Bu nedenle literatürde kalite kavramı hakkında çok çeşitli tanımlarla karşılaşmaktayız. Geçmiş dönemlerde kalite ile **ürünün sağlamlığı** ve **uzun ömürlü olması** anlaşılmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte kalite, **ürünlerde ölçülere uyum** veya **standartlık** kavramı gündeme gelmiştir. Ürünlerin standartlara uygun olarak yapılması sonrasında kalite, **ürünün belirlenen standartlara uygunluğu ve kusursuzluğu** olarak tanımlanmıştır.

Günlük yaşamda çok farklı anlamlarda kullanılan kalite kavramı, bilimsel olarak da farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Kalite alanının öncü düşünürlerinin kalite kavramına bakış açılarına göre yaptıkları tanımlar aşağıda sunulmuştur (Birgören, 2015; Montgomery, 2013).

J.M. Juran'a göre kalite, **"kullanıma uygunluktur (*fitness for use*) ve kusursuzluk yaklaşımına sistemli bir yaklaşım"**,

P.B. Crosby'e göre kalite, **"gerekliliklere uygunluk"**,

W.E. Deming'e göre kalite, **"değişmezliğin ve güvenilirliğin düşük maliyetle pazarın ihtiyaçlarını karşılayacak bir şekilde tatmin edilebilmesi"**,

A.V. Feigenbaum'a göre kalite, **"bir ürünün tasarımına veya özelliklerine uygunluk derecesi"**,

G.Taguchi'ye göre kalite, **"ürünün tesliminden sonra toplumda neden olduğu minimum zarar"**,

K.Ishikawa'ya göre kalite, **"en ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi devamlı olarak tatmin eden kaliteli ürün geliştirmek, tasarımını yapmak, üretmek ve satış sonrası hizmetleri vermek"** şeklinde tanımlanmaktadır.

Yukarıda kalite alanında öncü olarak tanınan bazı araştırmacılar tarafından yapılan tanımların yanında Avrupa, Amerika ve Türkiye'de bulunan bazı kurumlar tarafından yapılan tanımlara da yer vermek faydalı olacaktır.

Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu'na göre kalite, **“bir malın ya da hizmetin müşterilerin isteklerine uygunluk derecesi”**,

Amerikan Kalite Kontrol Organizasyonu'na göre kalite, **“bir ürün ya da hizmetin belli bir gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan özelliklerin tümü”**,

Japon Sanayi Standartları Komitesi'ne göre kalite, **“ürün ya da hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren bir üretim sistemi”**,

TS EN ISO-9000'a göre kalite, **“yapısal özellikler takımının, şartları yerine getirme derecesi”**,

TS-ISO 9005'e göre kalite, **“bir ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamı”**,

Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan sözlükte kalite, **“bir ürünün veya hizmetin ihtiyaçları karşılama yeteneğine dayanan tüm özellikler”** şeklinde tanımlanmaktadır.

Eygü (2014) ve Işığışok (2012) tarafından literatürde varolan çeşitli kalite tanımlarının ilk kez Garvin (1988) tarafından sınıflandırıldığı ve kalitenin tanımına ilişkin ortaya konan beş temel yaklaşımın bulunduğu belirtilmektedir.

Birinci yaklaşım, **“kalitenin üstünlük yaklaşımı”** olarak bilinen tanımdır.

İkinci yaklaşım, **“kalitenin ürüne dayanan”** tanımdır.

Üçüncü yaklaşım, **“kalitenin kullanıma uygunluk”** olarak ifade edilen tanımdır.

Dördüncü yaklaşım, **“kalitenin şartlara ve ihtiyaçlara uygunluk”** olarak kullanılan tanımdır.

Beşinci yaklaşım, **“kalitenin değere dayanan”** olarak bilinen tanımdır.

Yukarıda yer alan tanımlar incelendiğinde kalite kavramının standart bir tanımının olmadığı görülmektedir. Kalite, bir yandan **bir mal veya hizmetle** ilgili olabileceği gibi diğer yandan **müşteri gereksinim ve istekleri** ile ilgili bir kavramdır. Standart bir tanımının bulunmamasının nedeni ise **kalitenin kullanıcı gereksinim ve beklentileri** ile olan doğrudan ilgisi ve **bu gereksinim ve beklentilerin devamlı olarak değişiminden** kaynaklanmaktadır.

Aslında kalite, müşteri tatminin sağlanması ve maliyetin düşürülmesi amacıyla ilgili kullanılan stratejik bir araçtır. Günümüzde işletmeler arasındaki rekabetin hedefi müşteridir. Bu rekabette müşteriyi kazanmak ve elinde tutmak için uğraşan işletmelerin şansı diğer çaba göstermeyen işletmelere karşı daha yüksek olmaktadır. Geleneksel ekonomilerde rekabetin az olmasından dolayı her yaptığını satan işletmeler görmektediriz. Bu işletmelerin üretim anlayışı da, seri üretmek ve maliyetleri düşürmek üzerine odaklanmaktadır. Böyle ekonomilerde müşteriler fazla seçim şansına sahip olmadığından kendisine sunulan asgari kalite ile yetinmek zorunda kalmaktadır.

Ancak günümüzde değişen ve gelişen koşullar çerçevesinde bu çeşit işletmelere daha az rastlamaktayız. Çünkü gelişen koşullarda müşterilerin gereksinim ve ihtiyaçları değişmektedir. Bu durumda işletmelerdeki anlayış satabileceğini üreten anlayışına dönüşmektedir. Müşterilerin seçim yapabilme şansı artıkça müşteriler artık daha kaliteli mala doğru kaymaktadır. Kalitesiz mal üreten işletmeler daha çok müşteri dolayısıyla pazar paylarını kaybetmektedirler. Daha fazla kalitesiz malı satabilmek için fiyat düşürme ve müşteri kazanma stratejisi artık işlemez olmuştur. Bir işletmede kalitenin artırılması için girişilecek sistemli çabaların maliyetleri artırmadığı hatta tam aksine azalttığı görülmektedir.

Sonuç olarak; kalite, aslında **gerçekleştirilen sistemli çabaların sonucudur**. Başlangıçta verilen hem öncü düşünürlerin kalite kavramı tanımları hem de bazı kurumların kalite kavramı tanımları göz önüne alındığında hepsinin ortak noktasının **müşteri ve müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin tatmini** olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, kalite kavramı **sübjektif bir nitelik** taşımakta olup **kişiden kişiye değişebilen ve farklı değer yargılarını içeren** bir kavramdır (Işığıcok, 2012:4).

1.2. KALİTE KONTROLÜ VE TOPLAM KALİTE KONTROLÜ

İşletmelerde belirli standartlara bağlanmış kaliteli mal ve hizmet üretimi, etkin bir kalite kontrolü ile mümkündür. Bu nedenle işletmeler organizasyon yapısında gerekli değişimleri yaparak kalite kontrolü sistemleştirmek zorundadır.

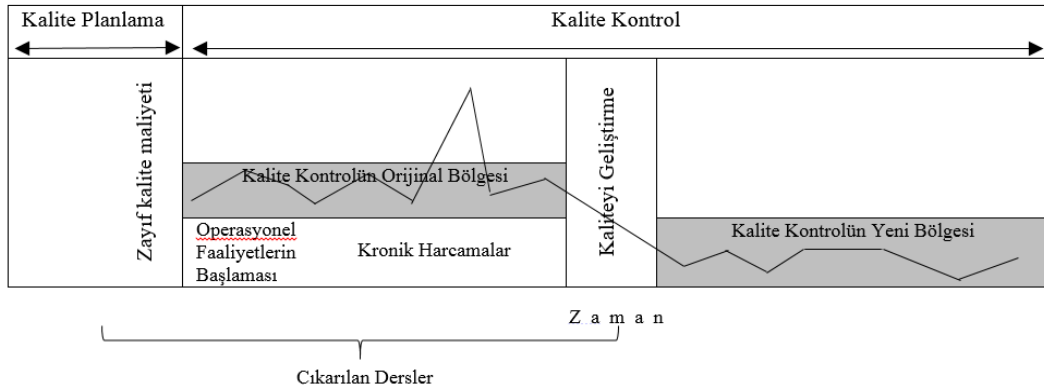
1.2.1. Kalite Kontrolünün Tanımı

Kalite, iç ve dış müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayacak mal ve hizmetlerin özelliklerinin tümü olduğu kabul edilecek olunursa, kalite kontrolü de, bu özelliklerin oluşturulmasını sağlayacak süreçler, faaliyetler ve yöntemlerin toplamı olarak

tanımlanabilir. Bu kapsamda bazı kalite öncüleri tarafından kalite kontrolü ile ilgili yapılan tanımlara aşağıda yer verilmiştir.

Juran’a göre kalite kontrolü, **“mevcut durumu devam ettirmek, kötü gidişi önlemek ve dengeyi sağlamak maksadıyla faaliyetleri birleştirmek için yönetimsel bir süreçtir. Dengeyi sağlamaktan kasıt, sürecin gerçek performansı ile hedeflenen performansın karşılaştırılması ve farklılığı tespit edip bu farklılığın giderilmesidir.”** ve kalitenin yönetilmesi için uygulanan üç yönetimsel çabalarından sadece biridir. Bu yönetimsel çabalar kalite planlama, **kalite kontrolü** ve kalite geliştirmedir. Bu yönetimsel çabalarla ilgili olarak Juran tarafından ortaya konan Juran’ın Trilogy Diyagramı **Tablo 1.1**’de sunulmuştur (Qiu, 2012)

Tablo 1.1: Juran’ın Trilogy Diyagramı



Kaynak: P. Qiu, Introduction to Statistical Process Control, Chapman & Hall/CRC, 2012, Newyork.

Ishikawa göre kalite kontrolü, **“en ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi her zaman memnun eden kaliteli bir ürünü geliştirmek, tasarlamak, üretmek ve bakımını yapmaktır.”** (Qiu, 2012).

Japon Endüstriyel Standartları ise kalite kontrolü, **“tüketicilerin gereksinimlerini karşılayan, kaliteli mal ve hizmetleri ekonomik olarak üreten bir üretim yöntemleri sistemi”** şeklinde tanımlamaktadır (Qiu, 2012).

Modern anlamda Montgomery (2009)'a göre kalite kontrolü ise **“kalite ile ilgili belirlenen amaç ve standartlara ulaşmak için uygulanacak teknikler ile faaliyetlerin bütünüdür.”** Bu teknikler ile faaliyetler ise sırasıyla süreç kontrolü, istatistiklerin hesaplanması ve kaydedilmesi, kontrol dışı olan hatanın tespit edilmesi ve hata kaynağının bulunarak düzeltilmesidir.

Yukarıda tanımlarda kalite kontrolü kavramı ile ilgili hususlar özetlenecek olunursa kalite kontrolünün amacı, tüketici isteklerini mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılayan mamulün üretilmesidir.

Kalite kontrolünün işletmeler açısından birçok faydası bulunmaktadır. İşletmeler açısından bu faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Kalite kontrolü ile müşteri beklenti ve talepleri tam olarak karşılanacağı için müşteri sayısı artar, satışlar ve kâr yükselir.
- Mamul ve hizmetlerin kalitesinde düzelme meydana gelir.
- Tüketicinin değişen isteklerini karşılamak için sürecin dinamik bir yapı içinde bulundurulmasını sağlar.
- İşletmelerin amaçlarından biri olan verimliliği artırır.
- Uzun dönemde maliyetleri azaltır.
- Üretimin zamanında yapılmasını sağlar.

1.2.2. Kalite Kontrolünün Tarihsel Gelişimi ve Toplam Kalite Kontrolü

Kalite kontrolünün tarihsel gelişimi literatürde genellikle dört aşamada incelenmektedir (Işığışık, 2012).

Birinci dönem, klasik kalite kontrolü dönemi,

İkinci dönem, neoklasik kalite kontrolü veya istatistiksel kalite kontrolü dönemi,

Üçüncü dönem, toplam kalite kontrolü dönemi,

Dördüncü dönem, toplam kalite yönetimi dönemidir.

Kalite kontrolü kavramının temeli, 1900'li yıllarda F.W. Taylor tarafından yönetim kavramının bilimsel temeller üzerine oturtulması ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalara dayanmaktadır. Taylor'a göre iş planlamasının işçilerin ve nezaretçilerin elinden alınıp endüstri mühendisliğine verilmesi gerekmektedir. Kalite kontrolü kavramında, o günden günümüze kadar birçok gelişme meydana gelmiştir.

1900'li yılların başında F.W. Taylor tarafından temelleri atılan kalite kontrolünün bakış açısında, 1930'lu yıllarda bir değişiklik olmuş, istatistiksel kalite kontrolü olarak adlandırılmaya başlanmıştır. Bu dönemde yönetsel ve organizasyonel değişikliklerle

beraber kalite kontrolü teknikleri ile ölçüm konularında değişiklikler meydana gelmiştir. Bu döneme imzasını atan öncü araştırmacı W.A. Shewhart olup en önemli gelişmeler yine aynı araştırmacı tarafından ortaya konan istatistiksel kalite kontrol grafikleridir.

1960'lı yıllarda ise kalite kontrolü kavramında bir genişleme olmuştur ve **toplam kalite kontrolü** olarak isimlendirilmeye başlanmıştır. Feigenbaum'un öncüsü olduğu toplam kalite kontrolü anlayışı, kalite kontrolünün sadece üretim birimleri değil, tüm işletmeyi ilgilendiren bir fonksiyondur. Bu anlayış kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesinden tüm işletme birimlerinin derece derece sorumlu olmalarını gerektirmektedir. Firma çapında kalite kontrolü olarak isimlendirilen bu anlayış 1970'li yılların rekabet ortamının baskısıyla uygulamaya yansıtılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda bu anlayışın öncüsü olarak kabul edilen Feigenbaum'a göre toplam kalite kontrolünün tanımı yapılacak olursa; toplam kalite kontrolü **“bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi geliştirme, kaliteyi koruma ve kalite iyileştirme çabalarını müşteri tatminini de göz önünde tutarak üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistem”** olarak tanımlanmaktadır. Toplam kalite kontrolü pazarlama, tasarım, üretim, kontrol ve sevkiyat bölümleri de dâhil olmak üzere bütün birimlerin katılımını gerektirir (Birgören, 2015:13).

1980'li yıllarda ortaya çıkan ve hala etkisi günümüzde de devam eden kavram ise toplam kalite yönetimi kavramıdır.

Günümüzde işletmeler tam rekabet denilebilecek bir ortama ulaşmıştır. Özellikle son yıllarda meydana gelen gelişmeler bu ortamı daha belirgin bir hale getirmiştir. Rekabette var olan unsurlara **Tablo 1.2**'de yer alan yeni unsurların da katıldığı görülmektedir. 2000'li yıllarda işletmelerin yoğun rekabet ortamında varlıklarını sürdürebilmeleri **Tablo 1.2**'de yer alan unsurlara sahip olmaları ile mümkündür.

Tablo 1.2: Rekabette Varolan Unsurlara Katılan Yeni Unsurlar

Yıllar	Katılan Yeni Unsurlar
2000	Bilgi üstünlüğü ile rekabet
1990	Hız üstünlüğü ile rekabet
1980	Kalite üstünlüğü ile rekabet
1970	Maliyet üstünlüğü ile rekabet
1960	Üretim üstünlüğü ile rekabet

1.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ VE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

İstatistiksel kalite kontrolü, bir ürün ya da hizmetin kalitesinin kontrolü ve iyileştirilmesi için kullanılan istatistiksel ve mühendislik yöntemlerine verilen genel bir addır. İstatistiksel kalite kontrolünün **amacı**, üretilen mal ve hizmetlerin kalite yönünden kontrol altında olmasını sağlamaktır. İstatistiksel kalite kontrolü, genel olarak **üç alanda** yoğunlaşır. Bunlar sırasıyla;

- İstatistiksel süreç kontrolü,
- Kabul örnekleme,
- Deney tasarımıdır (Montgomery, 2013).

İstatistiksel süreç kontrolü, Türkçe literatürde istatistiksel proses kontrolü, proses kontrolü gibi çeşitli isimler de almaktadır. Ancak, bütün bu isimlendirme farklılık göstermesine rağmen bütün çabaların amacı aynıdır.

İstatistiksel süreç kontrolünün amacı, bir süreçte oluşan değişkenliği azaltarak bir süreci iyileştirmek ve kararlı davranmasını sağlamaktır.

İstatistiksel süreç kontrolünde bir mal üreten süreç kontrol altında tutulmaya çalışılır. Bu nedenle süreç devamlı olarak gözlemlenir, süreçten numuneler alınır, analiz edilir, bir problem veya özel neden olup olmadığı araştırılır ve varsa bu özel neden için önleyici tedbirler alınmaya çalışılır. Burada çalışma konusu dışında kaldığından dolayı kabul örnekleme ve deney tasarımı ile ilgili kavramlara girilmeyecektir. Ancak şunu belirtmek gerekir ki, Birgören (2015)'e göre deney tasarımı üretim devam ederken yapılmadığı için bu yöntem çevrim-dışı (*offline*) yöntem ve istatistiksel süreç kontrolü ile kabul örnekleme ise üretim devam ederken yapıldığı için bu yöntemlere de, çevrim-içi (*online*) yöntemler denilmektedir.

Modern kalite yönetim sistemlerinde istatistiksel kalite kontrolünün ana alanlarından istatistiksel süreç kontrolü ve deney tasarımı yöntemlerine ağırlık verilir. Kalite iyileştirmeye yönelmeyen kabul örnekleme ise geri planda kalır. Buna paralel olarak da batılı işletmelerde kalite yönetim sistemi olgunlaştıkça işletmelerin önce istatistiksel süreç kontrolü uygulamalarına ve daha sonra deney tasarımı uygulamalarına yöneldikleri görülmektedir.

Yukarıda yer alan hususlar incelendiğinde **istatistiksel kalite kontrolü** ile **istatistiksel süreç kontrolü** arasındaki **fark** şudur. İstatistiksel süreç kontrolü, yalnız üretim sürecinde ürünlerin kontrol edilmesini değil, aynı zamanda sürecin sürekli olarak kontrol edilmesini ve geliştirilmesini sağlar. İstatistiksel kalite kontrolü ise istatistiksel süreç kontrolünü, kabul örneklemesini ve diğer istatistiksel tekniklerini kapsar. Sonuç olarak istatistiksel kalite kontrolü, istatistiksel süreç kontrolünü içine alan daha geniş kapsamlı bir kavramdır (Özkale, 2004:19).

1.4.İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜNÜN KALİTE KONTROLÜNDEKİ ÖNEMİ

Çağdaş kalite anlayışının temel ilkesi, bir ürün üzerinde oluşan hataları düzeltmek yerine problemleri oluşmadan engelleme yönünde önlemlerin belirlenmesidir. Bir süreçte üretim gerçekleştikten sonra nihai ürünlerden kusurlu olanların kontrol sonrası ayıklanması işletmelere maliyet yüklemektedir. İdeal olan süreçte meydana gelebilecek durumlara karşı önceden önlemler alarak hatalı ürün üretilmeden engellemektir. Bu durum, istatistiksel süreç kontrolü ile mümkün olabilmektedir.

İstatistiksel süreç kontrolü, bir ürünün en ekonomik ve yararlı tarzda üretilmesini sağlamak amacıyla istatistiksel prensip ve tekniklerin üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır. İstatistiksel süreç kontrolü, üretimin önceden belirlenmiş kalite spesifikasyonlarına uygunluğunu sağlayan, standartlara bağlılığı hedef alan ve kusurlu ürün üretimini en aza indirmekte kullanılan bir araçtır. İstatistiksel süreç kontrolü, basit bir muayene ve kontrol işlemi olmayıp amacı sadece kusurları yakalamak değil, önleyici bir yaklaşımla kusurlu ürün üretimini engellemektir.

İstatistiksel süreç kontrolü teknikleri, satın alınan malzemedeki, süreçlerdeki, makinelerdeki, üretilen ürünlerdeki ve insan faktöründeki değişimleri kontrol altına almak ve niteliksel ile niceliksel özelliklerini ölçmek için sayısal veriler kullanarak sonuçlara ulaşmaya çalışmaktadır.

1.5. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL YÖNTEMLERİ

Ishikawa bir işletmedeki problemlerin %95'inin önerdiği bazı yöntemler ile çözülebileceğini ifade etmiştir. Bugün, birçok yeni problem çözme teknikleri geliştirilmiş olsa da, Ishikawa tarafından önerilen yöntemler halen güncelliğini korumaktadır.

Ishikawa'nın önerdiği yöntemler kalitenin teknik olarak iyileştirilmesi, yani süreçteki kalite karakteristiklerindeki değişimin azaltılması ile ilgilidir. Bu yöntemlerin kullanılması ile süreçteki değişim kaynakları tespit ve teşhis edilir. Yani bunların ne büyüklükte ve ne tür değişimler ürettikleri ortaya konur.

Ishikawa tarafından önerilen ve literatürde muhteşem yedili olarak da adlandırılan bu yöntemler;

- Histogramlar,
- Frekans dağılımı,
- Pareto çözümlemesi ve Pareto diyagramları,
- Beyin fırtınası ve neden-sonuç diyagramları (*balık kılçığı diyagramı*),
- Akış diyagramları,
- Serpilme diyagramı ve korelasyon katsayısı,
- Kontrol grafikleridir.

Kalite kontrolünde muhteşem yedili olarak adlandırılan bu yöntemler, istatistiksel süreç kontrolünün teknik yönünü oluşturur (Montgomery, 2013:188). Ayrıca yukarıda belirtilen bu yöntemlerden başka literatürde orta ve ileri düzey istatistiksel kalite kontrolü teknikleri de yer almaktadır. Orta ve ileri düzey istatistiksel kalite kontrolü teknikleri ile ilgili detaylı bilgiler için Montgomery (2013)'e başvurulabilir.

1.6.İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜNDE BAZI KAVRAMLAR VE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL GRAFİKLERİ

1.6.1. Süreç Kavramı

Herhangi bir ürün veya hizmetin müşteri isteklerini karşılayacak kalite düzeyinde elde edilebilmesi için gerekli olan faaliyetler ile makine, alet, yöntem malzeme ve işgücü gibi faktörlerin sistematik bir şekilde planlandığı sistemin tümüne **süreç** adı verilir (Işığışık, 2004:33). Bir süreçte amaç, en yüksek düzeyde kaliteyi gerçekleştirmek olmayıp müşteri ihtiyaçlarını en düşük maliyetle karşılayabilecek bir kalite düzeyinde üretimi veya hizmeti sürekli kılmak ve iyileştirme çalışmaları yapmaktır.

1.6.2. Süreçteki Değişkenlik

Herhangi bir üretim sürecinde sistem ne kadar düzenli işliyor olsa da bir miktar değişkenlik daima mevcuttur. Bu durumda, belli bir süreçte üretilen iki parça birbirinin tamamen aynı olmayacaktır. Bu değişkenlik küçük ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu sürece sistem durağan olarak nitelendirilir. Ancak değişkenlik büyük ve kabul edilebilir sınırların dışına çıkıp süreci olumsuz yönde etkiliyorsa bu durumda süreçte bir problem olduğu değerlendirilir.

Bir süreçte değişkenlik nedenleri **genel ve özel nedenler** olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Genel nedenler, sürecin doğal yapısından kaynaklanmaktadır. Genel nedenler, istense de kaçınması mümkün olmayan birçok değişim kaynağının ortak etkisidir (Birgören, 2015). Genel nedenlerden kaynaklanan değişkenlik türü her süreçte beklenir, azaltılabilir ancak daima süreçte yer almaktadır. Bir süreçte genel nedenlerin sayıca çok olduğu, bunların her birinin değişkenliğe küçük bir miktar katkıda bulunduğu varsayılır. Bunların ortak katkısıyla ortaya çıkan değişkenlik genel nedenlerden kaynaklanan değişkenliktir. Ekipmanın kurallara uygun kullanılmaması ve hammaddenin kalitesi genel nedenlere örnek verilebilir. Genel nedenler, merkezi limit teoremi ve normal dağılımın etkisi altındadır.

Özel nedenler ise sürecin doğasında olmayan sıra dışı değişim kaynaklarıdır (Birgören, 2015). Özel nedenler, genel nedenlere kıyasla baskın olan ve süreçte iz bırakan nedenlerdir, önceden tahmin edilememektedir. Ayrıca önlem alınmadıkça tekrar tekrar süreci etkileyebilir. Hammaddedeki değişkenlik, tecrübesiz operatör hataları gibi sebepler özel nedenlere örnek verilebilir. Bir sürecin iyileştirilmesini kolaylaştırmak açısından özel ve genel nedenlerin ayrılması gerekir. Özel nedenler ise hata kaynaklarının etkisi altındadır.

1.6.3. Birinci ve İkinci Tip Hatalar

Süreçteki değişkenliğin hangi tür değişkenlik olduğunun belirlenmesi üretici açısından son derece önemlidir. Ancak bu belirleme aşamasında iki tip hata ile karşılaşılır. Bunlar, **birinci tip hata** ve **ikinci tip hatadır**. Birinci tip hata, Tip-1 hatası olarak ve ikinci tip hata, Tip-2 hatası olarak gösterilir.

İstatistiksel yöntemler açısından bakılacak olunursa Tip-1 hatası ve Tip-2 hatası şu şekilde tanımlanır.

Hipotez testlerinde, μ_0 gibi bir değer, anakütle ortalaması μ ile karşılaştırıldığında hipotezler aşağıdaki gibi kurulabilir;

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ ve } H_1: \mu \neq \mu_0$$

H_0 , sıfır hipotezini ve H_1 ise alternatif hipotezi gösterir.

Tip-1 hatası: H_0 hipotezi doğru iken H_0 hipotezinin reddedilmesi,

Tip-2 hatası: H_0 hipotezi yanlış iken H_0 hipotezinin kabul edilmesi.

Tip-1 hatasının olasılığı α ile ve Tip-2 hatasının olasılığı ise β ile gösterilir.

Tip-1 ve Tip-2 hataları istatistiksel kalite kontrolü açısından değerlendirilecek olunursa şöyle açıklanabilir. Tip-1 hatası, özel neden yokken aranıp üretim işleminde düzeltmeye gidilmesi, Tip-2 hatası, özel neden varken bunun aranmaması veya ortadan kaldırılmamasıdır. Diğer bir deyişle bir süreçte özel neden olmamasına rağmen genel nedenin özel neden olarak dikkate alınması durumunda, **Tip-1 hatası** yapılmış olur. Buna karşılık, hatanın özel bir nedene dayanmasına rağmen aranıp ortadan kaldırılması yerine bu hatanın sistemden kaynaklanan genel bir nedenin etkisinde olan bir hata olarak düşünülmesi durumunda, **Tip-2 hatası** yapılmış olur.

Bu iki tip hatadan biri tamamen önlenbilse bile ikisini birden tamamen ortadan kaldırmak çok zordur.

1.6.4. İstatistiksel Süreç Kontrol Grafikleri

İstatistik süreç kontrolünde süreçte meydana gelen **özel sebeplerin varlığı** araştırılır ve meydana gelmeden önlem alınmaya çalışılır. Ancak bu durumu gerçekleştirmek o kadar kolay olmamaktadır. İstenilen kalite düzeyinde bir mal üretebilmek için sürecin istatistiksel olarak kontrol ve analiz edilmesinde **Shewhart kontrol grafikleri** olarak da bilinen kontrol grafiklerinin günümüzde yaygın bir kullanımı vardır.

Shewhart kontrol grafikleri, istatistiksel süreç kontrolünde kalite iyileştirmeye yardımcı olan yöntemlerin en önemlisi olarak kabul edilir. Sanayi alanında kalite

kontrol grafikleri, istatistiksel süreç veya proses kontrolü şemaları, grafikleri, çizelgeleri ya da kartları gibi çok farklı isimlerle anılmaktadır. Ancak bu çalışmada bunları istatistiksel süreç kontrol grafikleri ya da kısaca kontrol grafikleri olarak isimlendireceğiz.

Kontrol grafiği kavramı, ilk olarak 1924 yılında Bell Telephone Laboratuvarı'nda W.A. Shewhart tarafından ortaya konmuş ve prensipleri 1931 yılında geliştirilmiştir. Bu prensiplere dayanarak, bir orta çizgi ve bu çizginin üç standart sapma altına ve üstüne çizilen kontrol sınırlarından oluşturulan grafiklere genel olarak **Shewhart kontrol grafikleri** adı verilir.

Kontrol grafiklerinin amacı, genel değişkenlik faktörlerini özel değişkenlik faktörlerinden ayırarak süreçteki anormal değişimlerin önüne geçmek ve süreç değişkenliğini azaltmaktır. Kontrol grafiklerinin **kısa vadeli amacı**, süreçten alınan ölçümlerin düzenli olarak izlenmesiyle süreçte ortaya çıkan hataların erken teşhisi ve giderilmesi, böylece üretilen hatalı ürünlerin sayısının en aza indirilmesidir. **Uzun vadeli amacı** ise süreç kalitesinin iyileştirilmesidir.

Shewhart (1931), yöneticinin elde etmeye çalıştığı faaliyet hedefinin belirtilmesinde ve bu hedefe ulaşılmasında kontrol grafiklerinin bir araç olarak kullanılabileceğini ve hedefe ulaşıp ulaşılmadığı hakkında karar verilebilmesi gibi konularda faydalar sağladığını belirtmiştir.

Kontrol grafiklerinin üretim süreçlerinde yoğun şekilde kullanılmasının nedenleri Montgomery (2013)'ye göre şöyledir:

- Kontrol grafikleri, verimliliği arttırmak için kullanılabilecek tekniklerdir.
- Kontrol grafikleri, ürünlerde meydana gelen bozuklukların önlenmesinde etkindir.
- Kontrol grafikleri, süreçte meydana gelen gereksiz sistem ayarlarının düzenlenmesini sağlar.
- Kontrol grafikleri, süreçte meydana gelen hatalar ile ilgili teşhis bilgisi sağlar.
- Kontrol grafikleri, sürecin yeterliliği ile ilgili ön bilgi sağlar.

Montgomery (2013)'nin belirttiği üzere kontrol grafikleri üretim süreçlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak kontrol grafikleri **bir sorunun varlığını gösterir ve sorun hakkında ipuçları verir, ancak sorunun nedenini göstermez.**

1.6.5. Spesifikasyon ve Kontrol Sınırları

Herhangi bir ürünün üretilmesi için gerekli işlerin doğru, eksiksiz ve kolaylıkla yapılabilmesi için geliştirilen talimatlara veya ürünün herhangi bir yanılgıya neden olmayacak şekilde anlatılmasını ve standartlara uygun olarak üretilmesini sağlayan kalite özelliklerine **spesifikasyon** denir. Öte yandan, ürün tasarımında öngörülerek belirli sınırlar içinde olması beklenen ve sadece bu sınırlar içinde gerçekleştiği zaman kabul edilebilen sapmalara ise **tolerans** denir (Işığışık, 2004). O halde spesifikasyonun sahip olduğu tolerans değerlerine veya aynı anlama gelmek üzere ürün kalitesinin kabul edilebilir alt ve üst sınırlarına **spesifikasyon sınırları** adı verilir.

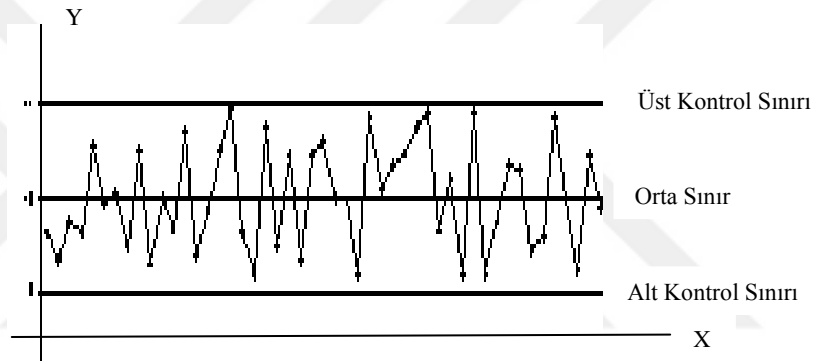
Üretim esnasında spesifikasyon sınırlarının dışına çıkılmasının nedenleri voltaj düşmesi, malzeme yapısındaki farklar, sıcaklık gibi çevre şartlarındaki değişimler, ölçme hataları gibi faktörler olabileceği gibi tezgâh, işçi gibi faktörler de olabilir. Bu özel faktörlerin neden olduğu kalite sorunları çözümlenebilir.

Kontrol grafiklerinin tasarımında önemli bir konu, kontrol sınırlarının oluşturulmasıdır. Sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi için çizilen ve süreç ortalaması ile süreç değişkenliğine bağlı güven sınırlarına ise **kontrol sınırları** denir (Devor, Sutherland ve Chang, 1992:264). Kontrol sınırlarının hesabında genellikle Shewart'ın deneyimleri sonucu en ekonomik sınırlar olarak nitelendirdiği ortalama ± 3 standart sapma ($\mu \pm 3\sigma$) kullanılmaktadır. Kontrol sınırları, makine ayarlarının, kalıpların, hammaddenin, operatörün değişmesi gibi durumlarda gözden geçirilmelidir. Kontrol sınırlarının gözden geçirilmesinde tecrübe ve süreç bilgisi önemlidir.

Spesifikasyon sınırları ile kontrol sınırları arasında bir ayrım bulunmaktadır. Spesifikasyon sınırları, ürünün kabul edilebilir sınırlarını belirleme ile ilgili bir kavram iken, kontrol sınırları sürecin kontrol altında olup olmadığını belirlenmesi ile ilgili bir kavramdır.

1.6.6. Kalite Karakteristiği Kavramı

Kontrol grafiklerinde sürece ya da ürüne ait olan boy, uzunluk, kayma miktarı ve ağırlık gibi kalite karakteristikleri olarak adlandırılan özellikler izlenir. Müşteri memnuniyeti açısından spesifikasyon sınırlarını sağlanması gereken ya da müşteri memnuniyeti üzerinde kayda değer etkisi olan kalite karakteristiklerine **kritik kalite karakteristikleri** adı verilir (Birgören, 2015:9). Bir üründe ölçülebilecek birçok kalite karakteristiği vardır. Ama bunların hepsinin ölçülmesi ucuz ve pratik olmayacağından kritik kalite karakteristikleri ölçülür ve kontrol edilir. Kontrol grafikleri, kalite karakteristiği ölçüm değerlerinin ya da bunlardan üretilen istatistiklerin *Y* ekseninde olacak şekilde *X* eksenine işaretlenen zaman birimlerine karşı işaretlenmesiyle oluşturulmaktadır.



Bir üründe izlenen kalite karakteristiğinin ölçümlerinin ortalama ya da standart sapma gibi bazı istatistikleri önceden belirlenmiş sınırlar arasındaysa sürecin kontrol altında olduğu kabul edilir. Ancak kontrol bölgesinde yer almıyorsa veya rassallık dışı durumlar varsa süreç kontrol dışı olarak tanımlanır. Bu sınırlar genellikle izlenen istatistiğin standart sapması veya standart sapmasının tahmini kullanılarak saptanır. Süreçte ortaya çıkacak bir aksaklıktan kaynaklanan değişimin mümkün olduğu kadar çabuk tespit edilmesi ve düzeltilmesi önem taşımaktadır.

1.6.7. Kalite Kontrolü Noktaları

Üretimde kalite karakteristiklerinin ölçümlerinin yapıldığı yerlere **kalite kontrolü noktaları** adı verilir. Kalite kontrolü noktalarında yapılan ölçümler üretimin sonunda olabileceği gibi birçok noktadan sonra toplu bir şekilde de yapılabilir. Bu noktalarda spesifikasyon sınırlarının ihlal edilip edilmediği kontrol edilir. Ölçüm yapılarak

verilerin toplandığı bu noktalar kalite kontrol grafiklerinin uygulanması için ideal yerlerdir.

1.6.8. Hatalı veya Kusurlu Ürün Kavramı

Kalite kontrolü, bir ürün veya hizmetin istenilen niteliklerde olup olmadığını kontrol eder. Bu nitelikte olmayan ürünlere **hatalı veya kusurlu ürün** denir (Akkurt, 2002:7). Bu bakımdan hata, tüm kalite kontrolü faaliyetlerinin odak noktasını oluşturan izafi bir kavramdır.

1.6.9. Kontrol Grafiklerinde Örneklemenin Belirlenmesi

Bir süreçten elde edilen ürünlerin özellikleri, üretim aşamasındaki çeşitli zaman dilimlerinde yapılan ölçümler ile belirlenir. Diğer taraftan ölçümleri yapılan ürünlerin tamamen aynı özelliklere sahip olması beklenmeyip ölçüm sonuçları arasında az da olsa değişkenliğin bulunması normal karşılanır. Kalite kontrolünde ürünlerin hepsinin gözlenmesi çeşitli nedenlerden dolayı tercih edilmez.

İstatistiksel süreç kontrolünde elde edilen verilere dayanarak sürecin yapısı hakkında karar verilir. Verilerin elde edilmesinde çeşitli nedenler ile örnekleme yöntemine başvurulur.

Örnekleme, anakütleyi yeterince temsil edebilecek yeterince büyüklükte örneklemelerin anakütlenin içinden ve olabildiğince değişik bölgelerinden rassal olarak örneklem çekilerek anakütle hakkında genel yargılara varma işlemine denir.

Anakütleden çekilecek örneklemin anakütleyi yansıtacak nitelikte **yeterli büyüklükte, rassal** ve **temsil edici** olmak üzere üç özelliği taşıması gerekir. Bu üç özellik anakütleden çekilecek örneklemelerin anakütleyi temsil edecek kadar yeterli bir büyüklükte alınarak ve her birime eşit seçilme şansı tanınarak sağlanır.

Kontrol grafiğinin sağlayacağı bilgiler örnekleme ile yakından ilgilidir. Örnekleme zamana, üretim miktarına, üretim sırasına gibi bağlı olarak yapılabilir. Hangi temelde örnekleme yapılabileceği üretim sistemine bağlıdır. Yapılacak hatalı örneklemeden üretilecek bilgiler tutarlı olmaz.

Kontrol grafiklerini tasarlarken yapılacak örnekleme işlemlerinde örnek hacmi (*büyüklüğü*) ve örnekleme sıklığı ile kontrol sınırlarının belirlenmesi önemli konulardır. Örneklem hacmi büyüdükçe süreç ortalamasındaki küçük kaymaları ortaya çıkarmak

daha kolaydır. Hacmi 10-20 arasında olan örneklemeler alındığında düzenlenen kontrol grafiği süreç ortalamasındaki değişmelere karşı daha duyarlı olacaktır. Fakat dağılma ölçüsü olarak standart sapmanın kullanılması gerekir. Değişim aralığı örneklemdeki birim sayısı büyüdüğünde bazı sakıncalar yaratacağından böyle durumlarda kullanılmamalıdır.

Örneklemenin nasıl yapılacağı ile ilgili olarak literatürde genellikle iki yol önerilmektedir.

Birinci yol; her örnek için alınacak birimlerin birbirine çok yakın zamanda üretilmiş olmasıdır. Böylece örnek içindeki değişkenlik en aza indirgenmiş ve örnekler arasındaki değişkenlik şansı artırılmış olur.

İkinci yol; belirli zaman aralığında ya da belirli bir miktar üretildikten sonra rassal olarak çekilen birimlerden örneği oluşturmaktır.

Örnekleme temeli olarak birinci yolda açıklanan yöntem daha çok kullanılmaktadır. Ölçme problemi olduğunda ise ağırlıklı olarak ikinci yol olarak açıklanan yöntem kullanılmaktadır.

Örnekleme sıklığının belirlenmesi, saptanması arzulanan kaymanın büyüklüğünü de etkilemektedir. Örnekleme sıklığının belirlenmesindeki ilk yaklaşım sık sık küçük örnekler, diğer yaklaşım ise daha nadir geniş hacimli örneklerin alınmasıdır. Büyük kaymaların saptanması için küçük örnek hacimleri yeterli olurken, küçük sapmaların saptanması için büyük örnek hacimlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Montgomery, 1996).

1.6.10. Hipotez Testi, Merkezî Limit Teoremi, Normallik Kabulü ve Kontrol Sınırları

İstatistiksel süreç kontrolü ile hipotez testi arasında yakın bir ilişki vardır. Aslında kalite kontrol grafikleri süreçten alınan örneklere ait bazı istatistiklerin zaman içinde art arda hipotez testine tabi tutulması olarak görülebilir (Montgomery, 1996).

Klasik yaklaşım olarak hipotez testleri, ölçümü yapılan örneğin kontrol sınırları arasında olup olmadığını, kimi zaman bir noktayı kimi zaman da birbirini takip eden noktaların oluşturduğu izleri kullanarak denetler.

Kalite kontrolünde kurulan H_0 hipotezinin reddedilmesine neden olacak kritik bölge kontrol grafiğinde sürecin kontrol dışı olduğunu gösteren bölge ile aynı anlamı taşır. Bir test istatistiğinin kritik bölgede kalmasıyla grafikteki bir noktanın alt kontrol sınırı altında ya da üst kontrol sınırı üstünde olması denk olaylardır.

Süreç karakteristiğinin alınan örneklerden elde edilen ortalaması, merkezi limit teoremine göre normal dağılım göstereceğinden kontrol sınırlarının belirlenmesinde normal dağılımdan yararlanılır. Normal dağılım, ortalama ve varyans gibi iki parametresi ile benzersiz bir dağılımdır. Yani normallik kabulünün geçerli olduğu kontrol grafiklerinde, sürecin kontrol dışı durumunda olup olmadığına karar verebilmek için aynı anda, paralel çizelgelerde, bir merkezî konum ölçüsü olarak ortalamayı, bir dağılım ölçüsü olarak varyansı dolayısıyla da standart sapmayı izlemek gerekir. Nitekim birbirlerinden bağımsız olan bu değişkenlerin, ikisinden bir tanesi diğerine yansımadan kontrol dışı durumuna neden olabilir.

Merkezi limit teoremi gereğince; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, μ ortalamalı ve σ^2 varyanslı aynı olasılık dağılımına sahip bağımsız rastsal değişkenler ve $\bar{x}$ değişkeni; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ değişkenlerinin aritmetik ortalaması olmak üzere;

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (1-1)$$

ile tanımlanan Z rassal değişkeni $n > 30$ değerleri için, yaklaşık olarak standart normal dağılıma sahip olur. Bunun tek değişkenli kontrol grafiklerindeki karşılığı ise; süreçte üretilen her bir parçanın uyduğu dağılımın hangi dağılım olduğuna bakılmaksızın alınan örneğin ortalamasının normal dağılım göstereceğinin kabul edilmesidir. Diğer taraftan ortalamalar değil de gözlemlerin her biri izlenseydi bunlar için normal dağılım kabulünde bulunmak daha riskli olacaktı.

Schilling ve Nelson (1976)'un çalışmalarındaki bulgulara göre örnek hacminin dört veya beş olması halinde normallik kabulü sağlamlığını korumaktadır. Dolayısıyla anlaşıyor ki kontrol grafiklerinin felsefesinin temeli, merkezî limit teoremidir.

Dağılımın normallikten uzaklaşması ve farklı bir dağılım göstermesi halinde, dağılımın yapısının bilinmesi veya bu yapıyla ilgilenilmesi gerekecektir. Normallikten

uzaklaşılması halinde, dağılımın belirlenmesi ve bu doğrultuda standart sapma yerine olasılığa dayanan sınırlar kurulması veya orijinal verinin normal dağılan standart bir veriye dönüştürülmesi önerilmektedir (Montgomery, 1996).

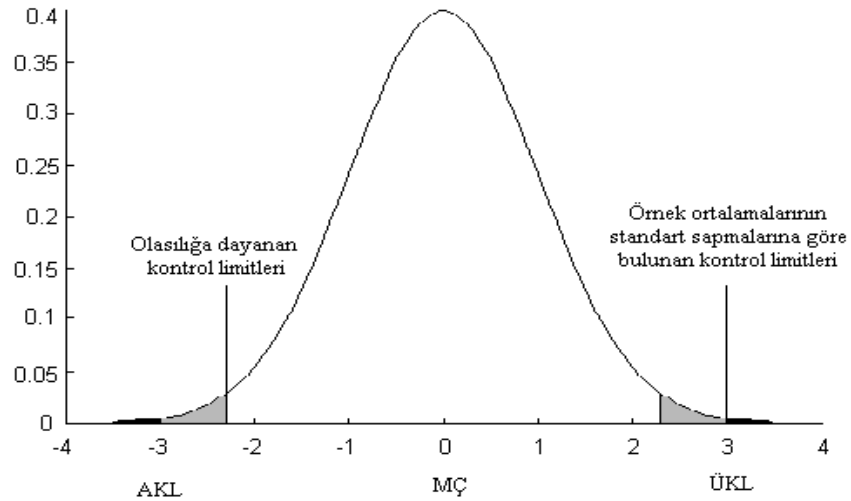
Kontrol sınırlarının belirlenmesinde σ sürecin standart sapması ise istatistiksel olarak örnek ortalamalarının standart sapması; $\sigma_x = \sigma / \sqrt{n}$ olur. Kontrol sınırları ise σ_x 'nin, belirlenmiş bir Tip-1 hatasını sağlamak üzere L ile gösterilen belirli bir katsayı ile çarpılması ile bulunur. Merkezi Limit Teoremince, $\bar{x}$ 'nin normal dağıldığı kabul edilerek $\bar{x}_i$ 'ye ilişkin hipotez test edilmektedir. $\bar{x}_i$ herhangi bir i gözlem anındaki örnek ortalaması olmak üzere kabul edilirse buradan hareketle aşağıda yer alan hipotezler kurulabilir:

$$\begin{aligned} H_0: \bar{x}_i &= \mu_x \\ H_1: \bar{x}_i &\neq \mu_x \end{aligned} \quad (1-2)$$

Burada μ_x , $\bar{x}$ ile tahmin edilir. Bu kapsamda kontrol grafiklerinin parametreleri olan orta çizgi, alt ve üst kontrol sınırları ise yukarıda açıklanan bilgiler ışığında **denklem (1-3)**'de olduğu şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Üst Kontrol Sınırı} &= \mu_x + L\sigma_x \\ \text{Orta Çizgi} &= \mu_x \\ \text{Alt Kontrol Sınırı} &= \mu_x - L\sigma_x \end{aligned} \quad (1-3)$$

Uygulamada L için genellikle 3 değeri kullanılır. Kontrol sınırları belirlenirken, olasılığa dayanan sınırlar veya standart sapmanın tahminine dayanan sınırlar kullanılabilir. Şayet normallik kabulü örnek ortalamalarının dağılımı için sağlamlığını koruyorsa, bu koşullarda iki durum arasında bir fark olmayacaktır (**Şekil 1.1**).



Kaynak:B.KOÇER, Çok Değişkenli Kalite Kontrol ve Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2004, 28.

Şekil 1.1:Olasılığa ve Standart Sapmaya Dayanan Kontrol Sınırları

Kontrol grafiği oluşturulduktan sonra üretim sürecinde uygulamaya alınır. Örneklemelerden elde edilen istatistikler grafik üzerine işaretlenerek süreç izlenir. İşaretlenen noktaların düzenine göre süreçte izlenen kalite karakteristiği etkileyen özel nedenlerin olup olmadığına karar verilir.

1.6.11. Kalite Kontrol Grafiklerinde Faz I ve Faz II Aşamaları

Kontrol grafiklerinde üründen alınacak ölçüm değerleri ya da bunlarda üretilen istatistik değerler kullanılır. Bu değerler kontrol bölgesi olarak adlandırılan bölgede ise sürecin kontrol altında olduğu kabul edilir. Bu değerler kontrol bölgesinin dışında ise kontrol dışı sinyal olarak nitelendirilir ve hataya yol açan bir özel neden olduğu düşünülür. Sürece müdahale edilerek hata kaynağı araştırılır, belirlenir ve düzeltme yapılır.

Sürece müdahale iki aşamada gerçekleştirilir.

Birinci aşamada, alınan ilk veri örneği için kontrol dışı veriler atılarak sürecin kontrol altında olduğu durum elde edilmektedir. Kontrol altındaki verilerden oluşan sete **referans veri seti** adı verilir. Bu aşama sonunda kontrol durumunun olasılık dağılımı belirlenir ve buna bağlı olarak kontrol grafiğinin kontrol sınırları oluşturulur.

Kalite kontrol grafiklerinin oluşturulmasında referans örnekleme kullanılarak deneme kontrol sınırlarının hesaplanması ve referans örneklemindeki değerlerin kontrol

grafiklerine işaretlenerek sürecin kontrol altında olup olmadığının araştırılması kalite kontrol grafiklerinde Faz I aşaması olarak adlandırılır. Faz I aşaması, veri analizi ve özel nedenlerden kaynaklı gözlemlerin belirlenmesi çalışmalarını içermektedir. Sürecin kontrol altında olup olmadığını test eden bu aşama geriye dönük bir yaklaşımdır. **Faz I aşamasının amacı**, Faz II aşamasında kullanılacak kontrol sınırlarını belirlemektir. Faz I aşamasında $m=20-25$ gözlemden oluşan bir ilk örnek grubu oluşturulur. Parametreler tahmin edilerek grafik oluşturulur. Kontrol dışı durumlar belirlenerek ilk veri setinden çıkarılır ve bu işlemler tüm veriler kontrol sınırının altında olana dek tekrar edilir. Bu noktada birinci aşama sona ermektedir ve elde edilen veri seti referans veri seti olarak tanımlanır. Faz I aşamasında kontrol dışı noktaların ihmal edilmesi ve mümkünse bunların giderilmesi ile kontrol altında bir süreç elde edilecektir.

İkinci aşamada, süreçten alınan yeni veriler izlenerek kontrol dışı durumlar belirlenip süreci iyileştirme yönünde düzeltici faaliyetler yapılır. İkinci aşama, Faz II aşaması olarak adlandırılır. İleriye dönük bir yaklaşım olan **Faz II aşamasının amacı**, sürecin Faz I aşamasında elde edilen dağılım yapısına uygunluğunu kontrol etmek ve sürecin kontrol altında olmasının devamlılığını sağlamaktır. Faz II aşamasında kalite kontrol grafiklerine tek tek noktalar işaretlenir ve kontrol sınırlarının ihlali veya rassallığı bozan sistematik bir davranış olup olmadığı kontrol edilir. Bunun için alınan gözlemlerde kontrol dışı durumlar saptanmaya çalışılır.

1.6.12. Ortalama Çalışma Süresi (OÇS)

k veya λ olarak gösterilen belli bir kayma için β ile gösterilen Tip 2 hata olasılığını hesaplamak yerine bir kayma olduktan sonra ortalama kaçınıcı noktada kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyali oluşacağı hesaplanır. Kontrol dışı bir noktanın gerçekleşmesine kadar alınması gereken ortalama örnek sayısına **ortalama çalışma süresi** (OÇS) adı verilir (Birgören, 2015:120).

OÇS kavramı, ilk olarak Weindling (1967) tarafından ortalama hareket zamanı olarak tanımlanmış ve daha sonra bu kavram Page (1954) tarafından ortalama çalışma süresi (*Average Run Length (ARL)*) olarak adlandırılmıştır.

OÇS, bir süreçte bir kayma olduktan sonra örneklerden biri kontrol dışı durumu göstermeden önce alınması gereken ortalama örnek sayısını belirtir. OÇS kontrol grafiklerinde hangi örneğin ilk kontrol dışı olacağını tespit etmede kullanılır.

Bir kontrol grafiği uygulamasında p bir noktanın kontrol sınırlarının dışında olması ihtimalini göstermek üzere O S, $1/p$ formülü ile hesaplanır. Kontrol grafiğinin performansı bu eşitlik yardımıyla belirlenir. Shewhart kontrol grafiklerinde bu değer 1/0,0027=370 kabul edilir. Süreç kontrol dışına çıkmasa bile kalite kontrol grafikleri ortalama her 370 örnekte bir kontrol dışı sinyal verecektir.

O S, birçok bilimsel çalışmada, çalışmanın dayandırıldığı bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Zaman içinde geliştirilen diğer süreç izleme grafiklerinde O S'nin 370 olmasına dikkat edilerek Tip-1 hatası değeri belirlenir.

O S, kontrol grafiklerinin teorik altyapısında son derece özel bir yere sahiptir. Kontrol sınırlarının daraltılması halinde kontrol dışı noktanın saptanması ihtimali, p artacak ve O S değeri düşecektir. Bu durumda, kontrol grafikleri daha küçük kaymaları saptayabileceği gibi hatalı sinyaller de üretebilecektir.

Kontrol sınırları genişletildiğindeyse kontrol dışı durum belirten bir sinyalin hatalı bir sinyal olma olasılığı azalırken, öte yandan kontrol grafiğinin duyarlılığı da azalacak ve gerçekten özel nedenli bir varyasyona işaret eden sinyalleri de saptayamayacaktır.

İşte, 3σ sınırları da bu ödünleşme sonucu elde edilmiş genişliklerdir. O S değerinin kontrol grafiklerinin teorik altyapısındaki özel konumu da buradan kaynaklanmaktadır. Önerilen farklı grafiklerinde kaymaları saptayabilme performansının bu  d nleşmede doğru bir noktada, ne fazlasıyla hassas, ne de aşırı duyarsız şekilde buluşması gerekmektedir. Yapılan birçok akademik çalışmada O S değeri, yukarıda anlatılan özelliği nedeniyle önemli bir nirengi noktası özelliği taşımaktadır.

1.6.13. İşletim Karakteristiği Eğrisi ( KE) (*Operating Characteristic Curve*)

Kontrol grafikleri, uygulandıkları sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirler. İlgilenilen süreç karakteristiğinin özel nedenlerin etkisi ile değişkenlik göstermesi kaçınılmaz bir olgudur. Kontrol grafikleri, değişkenliğin ulaştığı bir değerde hangi olasılık ile saptanabileceğini göstermez. Kontrol grafiklerinin bu yönünü tamamlamak ve onun değişkenliğe karşı duyarlılığını göstermek amacıyla  KE oluşturulur (Montgomery, 2009).

Değişen süreç koşullarında kontrol grafiklerinin nasıl işlediğini göstermesi nedeniyle İKE'nin oluşturulması önem kazanmaktadır. Kontrol grafikleri için oluşturulan İKE, normal dağıldığı varsayılan süreç karakteristiğinin ortalaması belirli bir değerde iken, örnekten türetilen istatistiğinin kontrol sınırları arasında çıkma olasılığını verir (Peach, 1947).

İKE, farklı örnek hacimleri için saptanmak istenen kayma şiddetinin büyüklüğü k değerine karşılık β riskinin işaretlenmesiyle elde edilir. Burada β riski, Tip-2 hatası olasılığına karşılık gelmektedir. Buna karşın α riski ise, Tip-1 hatası olasılığına karşılık gelir ve genel olarak $\alpha=0.0027$ (burada α , 3σ karşılık gelir) kabul edilir. Süreç karakteristiği X kontrol altında iken ortalaması ve süreç standart sapması σ iken süreç ortalaması $\mu_1 = \mu + k\sigma$ gibi bir değere geldiği zaman bu kaymayı alınan ilk örnekte belirleyememe olasılığı β , n birimlik örnek ortalaması $\bar{X}$ olmak üzere

$$\beta = P\{AKS \leq \bar{x} \leq ÜKS | \mu = \mu_1 = \mu + k\sigma\} \quad (1-4)$$

olarak hesaplanır.

Alt ve üst kontrol sınırları ise $\bar{x} \sim N(\mu, \sigma^2/n)$ olmasından dolayı;

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \mu + 3\sigma/\sqrt{n} \text{ ve Alt Kontrol Sınırı} = \mu - 3\sigma/\sqrt{n} \quad (1-5)$$

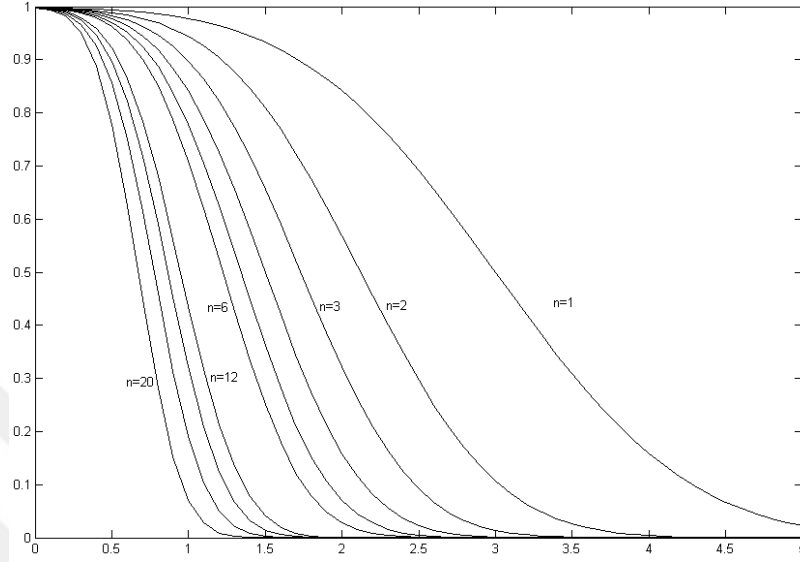
olarak hesaplanır. Burada β olasılığını veren yukarıdaki eşitlik, alt ve üst kontrol sınırları değerlerinin yerlerine yazılmasıyla aşağıdaki hale dönüşür:

$$\beta = \Phi\left[\frac{\mu + L\sigma/\sqrt{n} - (\mu + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \Phi\left[\frac{\mu - L\sigma/\sqrt{n} - (\mu + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] = \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n}) \quad (1-6)$$

Yukarıda yer alan eşitlikte Φ , standart normal kümülatif dağılımı, L ise kontrol sınırlarının genişlik katsayısını göstermektedir.

Kontrol grafiklerinde kaymanın alınacak ilk örnekte belirlenmesi olasılığı $1 - \beta$ 'dir. Süreç, istatistiksel olarak kontrol altında iken alınacak ardışık örneklerin birbirinden bağımsız oldukları kabul edildiğinden, kaymanın ikinci örnekte belirlenmesi olasılığı ise $(1 - \beta)\beta$ 'dir. Öte yandan, kaymanın r ardışık örnek içinde belirlenememe olasılığı β^r 'dir. Bu durumda, sapmanın r 'inci örnekte belirlenme olasılığı, ilk $r-1$ örnekte belirlenememe olasılığı ile r 'inci örnekte belirlenme olasılığı çarpımına eşit olacaktır.

İKE’de süreç karakteristiğinin alabileceği değerler yatay eksen ve örnek istatistiğinin kontrol sınırları arasında çıkması olasılığı ise dikey eksen yer alır. İKE’nin grafiksel gösterimi **Şekil 1.2**’dedir.



Kaynak: B.KOÇER, Çok Değişkenli Kalite Kontrol ve Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2004, 18.

Şekil 1.2: Örnek İşletim Karakteristiği Eğrisi

Şekil-1.2'de farklı örnek hacimlerinin $\bar{x}$ grafiği için İKE'ler yer almaktadır (Montgomery, 2009).

1.7.KONTROL GRAFİKLERİNDE SAĞLANMASI GEREKEN VARSAYIMLAR

Tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri, oluşturulmadan önce kontrol etmemiz gereken çeşitli varsayımları bulunmaktadır. Bu varsayımların sağlanamaması durumunda, kontrol sınırlarının gerçek değerlerinden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Kontrol grafiklerinde bütün varsayımların sağlanması önemli olmasına rağmen varsayımların içinde özellikle **normallik ve değişkenlerin birbirinden bağımsızlığı** en önemli olanlarıdır. Kontrol grafiklerinin oluşturulmadan önce sağlanması gereken varsayımlardan çalışmamızda her ne kadar tek değişkenli kontrol grafikleri de olsa sadece çok değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili olanlar anlatılmaya çalışılacaktır.

Kontrol grafiklerinde sağlanması gereken ilk ve belki en önemli varsayım **normallik varsayımdır**. Bir süreç değişkeni birçok farklı faktörün toplam etkisi

altındadır. Bu toplam etki nedeniyle izlenen istatistik, merkezî limit etkisi altında kalacaktır. Bu nedenle normallik kabulü geniş bir geçerlilik kazanmıştır (Birgören, 1998).

Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin çoğu x kalite vektörü çok değişkenli normal dağıldığı varsayımı temeline dayanmaktadır. Çok değişkenli normal dağılım tek değişkenli normal dağılımın $p > 1$ için genellenmiş durumudur. Çok değişkenli normalliğin sağlanması durumunda öncelikle her değişkenin tek değişkenli normal dağılıma uyması gerekmektedir. Ancak tüm değişkenlerin tek değişkenli dağılıma uygun olması veri kümesinin çok değişkenli normal dağılıma uygun olduğunu garanti etmemektedir. Veri kümesindeki değişkenlerin tek değişkenli normal dağılıma uyması, çok değişkenli normal dağılımın sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle çok değişkenli normalliğin sağlanıp sağlanamamasının araştırılmasında tek değişkenli normalliğin sınanması önemli olmaktadır.

Normallik varsayımının geçerliliği, tek değişkenli kontrol grafiklerinde tek değişkenli, çok değişkenli kontrol grafiklerinde ise tek ve çok değişkenli normal dağılımın varlığı araştırılarak incelenmektedir. Her iki durum için önerilen grafik yöntemler ve testler bulunmaktadır.

Dağılımın normallikten uzaklaşması ve farklı bir dağılım göstermesi halinde, dağılımın yapısının bilinmesi veya bu yapıyla ilgilenilmesi gerekecektir. Burr (1967), çok sıra dışı bir sapma olmaması halinde normallik kabulünün geçerli olacağını önermiştir. Schilling ve Nelson (1976) dört veya beş örnek hacmi için normallik kabulünün yeterince dayanıklı olduğunu göstermiştir (Montgomery, 1996).

Verilerin normal dağılıma uymaması durumunda, değişkenlere belli dönüşümler uygulanarak normal dağılıma dönüştürülebilmektedir. Çok değişkenli analizlerde marjinal dağılımı normal olmayan her bir değişkene uygun dönüşüm uygulanarak çoklu normal dağılım sağlanmaya çalışılır.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde sağlanması gereken ikinci varsayım, **gözlem değerlerinin otokorelasyonlu olmaması** varsayımdır. Gözlemlerin otokorelasyonlu olmaması, çok değişkenli kontrol grafiklerinin en temel varsayımlarından biridir ve grafiklerin doğru çizilebilmesi için oldukça önemlidir. Gözlem değerlerinin otokorelasyonlu olması durumunda, yapılacak rassallığa dayanan aralık tahminleri ve

istatistik testler geçerliliklerini kaybeder ve kontrol sürecinde ciddi sorunlarla karşılaşılır. İncelenen kalite karakteristiklerinde otokorelasyon olup olmadığı Q testi ve “ t benzeri testi” kullanılarak araştırılabilmektedir. Kalite karakteristiklerinde otokorelasyon olması durumunda “*Otoregresif Modeller*” veya “*Hareketli Ortalama Modelleri*” inden hata kareleri toplamı en az olanı seçilerek uygun bir zaman serisi modeli oluşturulmaktadır. Bu modelin artıklarıyla tek değişkenli kontrol grafiğinin çizilmesi önerilmektedir. Ancak artıklara uygulanan kontrol grafiğindeki tüm hataların kontrol altında olmaması oluşturulan modelin doğru olmadığını yanlış tanımlandığını göstermektedir. Bu durum otokorelasyon sorununun ortadan kaldırılamadığı anlamına gelmektedir. Çok değişkenli veri kümelerinde otokorelasyonun saptanması durumunda, birçok araştırmacı çok değişkenli kontrol grafikleri yerine tek değişkenli kontrol grafiklerinin uygulanmasını önermektedir. Otokorelasyonlu çok değişkenli veri kümesi için, önerilen diğer bir yaklaşım, otokorelasyonlu değişkenlere uygun ARIMA modelinin seçilip, değişkenlerin bağımlı oldukları dönem sayısı kadar gecikmeleri alınarak, veri kümesine gecikmeli değişkenleri eklemektir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde sağlanması gereken üçüncü varsayım, **değişkenlerin doğrusal olması** varsayımdır. Doğrusallık varsayımı birden fazla kalite karakteristiklerinin eş zamanlı olarak incelenmesinde tek değişkenli kontrol grafiklerinin kullanılması, özellikle değişkenler arasında “*düşük*” ve “*yüksek*” düzeyde korelasyon olduğunda süreç hakkında kısmi bilgilerin elde edilmesine neden olmaktadır. Çok değişkenli istatistiksel yöntemler doğrusal korelasyon temeline dayanmaktadır. Doğrusal olmayan etkileşimler için hesaplanacak doğrusal korelasyonlar Çok değişkenli kontrol grafikleri de çok değişkenli istatistiklere dayandığından kalite göstergeleri arasında doğrusal ilişkiler aranmaktadır. İlişkinin derecesi, serpilme diyagramları ile kesin olmamakla birlikte ortaya çıkarılabilmektedir. Ancak doğrusallığın sağlanıp sağlanamadığının araştırılmasında doğrusal korelasyon katsayıları ve bu katsayıların anlamlılıkları önemlidir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinden hangisinin uygulanmasının uygun olacağına, kalite karakteristikleri arasındaki korelasyon katsayılarının hesaplanması ile karar verilmektedir. Anlamlı korelasyon katsayıları kalite göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkinin varlığını desteklerken, aralarındaki korelasyon katsayısı anlamsız olan göstergeler bağımsız kabul edilebilmektedir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde sağlanması gereken dördüncü varsayım, **varyans kovaryans matrisi eşitliği varsayımıdır**. Bu varsayımın sağlanabilmesi için, matrisin tüm elemanlarının birbirine eşit olması gerekmektedir. Veri kümesinde yer alan örneklemelerin birim sayıları (n) yeterince büyük olmadığında, varyans kovaryans matrislerinin eşitliği önem kazanmaktadır ve eşitliğinin test edilmesi gerekmektedir. Uygulamada en sık kullanılan test *Box-M* testidir. Varyans kovaryans matrislerinin eşitliğine ilişkin H_0 hipotezi $H_0 = \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_k$ (burada k karşılaştırma yapılacak varyans kovaryans matris sayısıdır) ile verilirken H_1 hipotezi “en az bir varyans kovaryans matrisi diğerlerinden farklıdır” şeklinde olacaktır. Bu testte eşitlikten sapmalar α ve β hatalarını etkilemektedir. Ancak yapılan benzetim çalışmaları, etkinin β hatasına kıyasla alfa hatası üzerinde daha çok etkili olduğunu göstermiştir.

1.8. TEK VE ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİ

Sürecin izlenen kalite karakteristiği sürekli veya süreksiz bir değer alabilen bir değişken olabilir. Bu nedenle kontrol grafiklerini sürecin izlenen karakteristiğine uygun olarak geliştirmesi ve uygulamaya alınması gerekir. Kontrol grafikleri bu nedenle nicel ve nitel ölçüler için düzenlenen kontrol grafikleri olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. Her bir sınıfın içinde de farklı özellikleri olan birçok kontrol grafiği çeşidi yer almaktadır.

Bu kapsamda nicel ölçüler için düzenlenen kontrol grafikleri, değişken sayısına göre **tek değişkenli kontrol grafikleri** ve **çok değişkenli kontrol grafikleri** olarak ikiye ayrılmaktadır.

Tek değişkenli kontrol grafikleri, kalite değişkenlerini tek tek ele alarak süreç ortalamasındaki veya varyans yapısındaki değişikliği belirlemeye çalışmaktadır. Ancak süreci etkileyen birden fazla değişkenin varlığı durumunda ise bu şekilde tek tek ele alınması yanıltıcı olabilir.

Müşteri isteklerindeki artış, parça sayısının ve karmaşıklığının artması gibi nedenler tek değişkenli kontrol grafiklerinin kullanımını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kontrol grafiklerinin bir değişken için düzenlenmesi ve tasarımı için 15 veya 25 verinin gerekli olması gibi kısıtlar da vardır. Üretimin gittikçe otomatikleşen bilgi kontrollü sistemlerle yapılması, ürün kalitesinin saptanmasına yönelik daha bol miktarda verinin düşük maliyetle toplanması çok değişkenli kontrol grafiklerinin kullanımını kolaylaştırmakta ve teşvik etmektedir.

Çok değişkenli kontrol grafikleri, tek değişkenli kontrol grafiklerinin genelleştirilmiş halidir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde birden fazla kalite karakteristiği tek değişkenli kontrol grafiklerinde olduğu gibi tek bir değere indirgenerek izlenir.

1.8.1. Tek Değişkenli Kontrol Grafikleri

1.8.1.1. Bireysel Gözlem Değerleri (*I*) ve Hareketli Aralık (*MR*) Kontrol Grafikleri

Bazı süreçlerde alt grupların oluşturulması zaman, maliyet veya teknik nedenlerden dolayı oldukça zordur. Bu durumlarda üretim hattından, boyutu $n=1$ yani yalnızca bir ölçme içeren numune alınabilir. Bu tip kontrol grafikleri, üretimin çok yavaş gerçekleştiği ve yeni bir ölçüm için çok zaman beklenmesi gerektiği veya ölçmelerin çok pahalı olduğu veya üretilen birey sayısı çok az olduğu durumlarda kullanılır. Bu tür durumlarda tek tek ölçümler bir *X* kontrol grafiğine işlenir ve bu grafiğe tekli ***X* kontrol grafiği** denir. Birçok kaynakta tekli *X* kontrol grafiğine **bireysel gözlem değerleri kontrol grafiği** denir ve İngilizce’de yer alan bireysel anlamına gelen “*individual*” kelimesinin ilk harfi olan *I* harfi ile gösterilir.

I kontrol grafiğinde k adet bireysel gözlemin olması durumunda örneklem ortalaması **denklem (1-7)** ile;

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i}{k} \quad (1-7)$$

bulunur. Bu değer, *I* kontrol grafiğinde orta çizgisi olarak kullanılır (Devor, Sutherland ve Chang, 1992:348).

I kontrol grafiğinde tek ölçüm olduğundan bir aralık (*R*) veya standart sapma (*S*) değerini hesaplamak mümkün değildir. Bu durumda çözüm olarak her ardışık değer çiftinden bir *MR* değeri üretilir. Buna da **hareketli aralık (*moving range (MR)*)** adı verilir. Diğer bir deyişle *MR*, n örneklem hacmindeki ardışık bireysel ölçüm değerlerinin her birinin hareketli aralığını gösterir.

I ve *MR* kontrol grafikleri, bireysel gözlem değerlerinden elde edilir ve çok basit olmalarından dolayı oldukça fazla kullanılır. Hareketli aralık daha çok ikişerli (*bazen üçerli*) ardışık bireysel gözlem değerlerine uygulanır (Devor, Sutherland ve Chang,

1992:347). Literatürde daha çok ikişerli hareketli ortalama kullanılmaktadır (Hansen, 1963:108; Holmes, 1996:40; Montgomery, 2001:242). Buradan hareketle MR_{i+1} değeri;

$$MR_{i+1} = |X_{i+1} - X_i|, i=1,2,\dots \quad (1-8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Elde edilen MR değerleri, MR kontrol grafiği üzerine işaretlenir ve bu noktalar birleştirilir. MR değerine dayanarak hareketli aralık değerlerinin ortalaması **denklem (1-9)** ile;

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=1}^{k-n+1} MR_i}{k-n+1} = \frac{\sum_{i=2}^k MR_i}{k-1} = \frac{MR_2 + MR_3 + \dots + MR_k}{k-1} \quad (1-9)$$

formülü ile hesaplanır. Bu değer MR kontrol grafiğinin orta değeri olur ve gerçek süreç ortalamasının tahmini olarak kullanılır. Bu durumda I kontrol grafiğinin parametreleri **denklem (1-10)** ile;

$$\begin{aligned} \text{Üst Kontrol Sınırı} &= \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \\ \text{Alt Kontrol Sınırı} &= \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \end{aligned} \quad (1-10)$$

$$\text{Orta Çizgi} = \bar{X}$$

biçiminde hesaplanır. Burada $\frac{\overline{MR}}{d_2}$, anakütle standart sapmasının tahminidir. Bununla birlikte $\frac{\overline{MR}}{d_2}$ yerine $I_2 = \frac{3}{d_2}$ dönüşümü yapıldığında yukarıdaki kontrol sınırları **denklem (1-11)** ile;

$$\begin{aligned} \text{Üst Kontrol Sınırı} &= \bar{X} + 3 I_2 \overline{MR} \\ \text{Alt Kontrol Sınırı} &= \bar{X} - 3 I_2 \overline{MR} \\ \text{Orta Çizgi} &= \bar{X} \end{aligned} \quad (1-11)$$

şeklinde kolayca hesaplanır. Formüldeki I_2 ve d_2 değerlerine ilişkin katsayılar **Tablo 1.3'**dedir.

Tablo 1.3: Çeşitli Örneklem Hacimlerine İlişkin I Kontrol Grafiği Katsayıları

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_2	2.66	1.772	1.457	1.29	1.184	1.109	1.054	1,01	0.975
d_2	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.97	3.078

Kaynak: E.İşığışık, Toplam Kalite Kontrol Bakış Açısı ile İstatistiksel Kalite Kontrol, Ezgi Kitabevi, 2004, Bursa.

Bu katsayılar örneklem hacmine göre değişen katsayılardır. Sürecin kontrolde olması durumunda rassal olarak seçilen bütün ürünlerin bireysel değerler için kontrol içinde olması beklenir. Bireysel değerlere ilişkin bu sınırların spesifikasyon sınırları içinde olması durumunda üretimin yeterli olduğuna karar verilir. Bireysel değerlere ilişkin sınırlar bazen doğal sınırlar olarak da adlandırılır.

Bireysel gözlem değerlerinin izlendiği diğer kontrol grafiği ise *MR* kontrol grafiğidir. *MR* kontrol grafiğinin kontrol sınırları ise **denklem (1-12)** ile;

$$\begin{aligned} \text{Üst Kontrol Sınırı} &= D_4 \overline{MR} \\ \text{Alt Kontrol Sınırı} &= D_3 \overline{MR} \\ \text{Orta Çizgi} &= \overline{MR} \end{aligned} \quad (1-12)$$

şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki alt ve üst kontrol sınırlarının hesaplandığı formüllerde yer alan D_4 ve D_3 değerleri **Tablo 1.4**'de yer almaktadır ve bu iki değer örneklem hacmine göre değişen sabit sayılardır.

Tablo 1.4: Çeşitli Örneklem Hacimlerine İlişkin *MR* Kontrol Grafiği Katsayıları

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.267	2.575	2.282	2.115	2.004	1.924	1.864	1.816	1.777
D_3	0	0	0	0	0	0.076	0.136	0.184	0.223

Kaynak:E.İşığışok, Toplam Kalite Kontrol Bakış Açısı ile İstatistiksel Kalite Kontrol, Ezgi Kitapevi, 2004, Bursa.

1.8.1.2. Tek Değişkenli *EWMA* (*Exponentially Weighted Moving Average*) Kontrol Grafiği

Tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiği, süreç ortalamasındaki küçük ancak sürekli kaymalarla ilgilenilmesi durumunda Shewhart kontrol grafiğine alternatif olarak kullanılan kontrol grafiklerinden biridir.

Tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiklerinin gücü, küçük kaymalara etkili olan *CUSUM* (*Cumulative Sum*) kontrol grafiği ile hemen hemen eşdeğerdir. Ancak oluşturulması ve endüstride uygulanması *CUSUM* kontrol grafiğine göre daha kolay bir kontrol grafiğidir.

Tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiklerinin tahmini değeri **denklem (1-13)** ile hesaplanır.

$$Z_t = \lambda X_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} \quad (1-13)$$

Burada Z_t değeri, t zamanındaki tahmini değeri, X_t (alt gruplar olduğunda $\bar{x}_t$), t zamanındaki gözlem değeri, Z_{t-1} , $t-1$ zamanındaki tahmini değeri ve λ sabiti en son gözlem değerine verilecek ağırlığı belirtir. λ sabiti sıfır ile bir arasında bir değer alan sayıdır.

Tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiklerinde ortalama seviyesindeki kaymaların tespitinde, büyük λ değerleri süreç seviyesindeki büyük çaptaki kaymaların tespitinde ve küçük λ değerleri süreç seviyesindeki küçük kaymaların tespitinde optimal sonuçlar sağlar (Oktay, 1994:123).

EWMA kontrol grafiği, geçmiş ve cari gözlemlerin ağırlıklı ortalaması olmasından dolayı normallik yaklaşımına karşı çok hassastır. Bu kontrol grafiğinde izlenen kalite karakteristiği dağılımı normal dağılıyorsa tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiği ideal sonuçlar verir (Montgomery, 2013:299, 300).

Tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiklerinde işaretlenecek ilk *EWMA* tahmini değeri yani Z_0 değeri, $t=1$ zamanında alınan örnek olur ve orta çizgi üzerinde yer alır.

$\bar{X}$ değerleri σ^2/n varyanslı bağımsız rassal değişkenler iken *EWMA* beklenen değeri olup varyansı **denklem (1-14)** ile hesaplanır.

$$\sigma_{Z_t}^2 = \sigma^2/n \left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)(1 - (1 - \lambda))^{2t} \quad (1-14)$$

Bu formülde t değerini artırdığımız sürece $\sigma_{Z_t}^2$ değeri de sınırlı bir dereceye kadar artar. t değerinin 8 ya da 9 gibi yeterince büyük bir değere ulaşması halinde yukarıda yer alan varyans formülü daha basit ve açık bir şekle ulaşmış olur.

$$\sigma_{Z_t}^2 = \sigma^2/n \left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right) \quad (1-15)$$

Tek değişkenli *EWMA* kontrol grafiklerinde, kontrol sınırlarının hesaplanmasında kullanılan standart sapma değerleri belli bir değere kadar sabit değildir. t değerlerinin küçük olduğu durumlarda kontrol sınırları **denklem (1-16)** ile hesaplanır.

$$\text{Alt ve Üst Kontrol Sınırları} = \bar{\bar{X}} \pm 3\sigma \sqrt{1/n \left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)(1 - (1 - \lambda)^{2t})} \quad (1-16)$$

t 'nin yeterince büyük olduğu durumlarda alt ve üst kontrol sınırları ile orta çizgi ise **denklem (1-17)** ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Üst Kontrol Sınırı} &= \bar{\bar{X}} + 3\sigma \sqrt{1/n \left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)} \\ \text{Alt Kontrol Sınırı} &= \bar{\bar{X}} - 3\sigma \sqrt{1/n \left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)} \end{aligned} \quad (1-17)$$

$$\text{Orta Çizgi} = \bar{\bar{X}}$$

Yukarıda hesaplanan kontrol sınırları standart sapmanın bilindiği durumlarda kullanılır. Standart sapmanın bilinmediği durumlarda ise standart sapma, R kontrol grafiğinden tahmin edilir. Standart sapma bilinmediği durumlarda, alt ve üst kontrol sınırlarının hesaplanmasında aşağıda yer alan **denklem (1-18)**'den ve A_2 değerleri için **Tablo 1-5**'den istifade edilir.

$$\begin{aligned} \text{Üst Kontrol Sınırı} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)} \\ \text{Alt Kontrol Sınırı} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)} \end{aligned} \quad (1-18)$$

Tablo 1.5: Çeşitli Örneklem Hacimlerine İlişkin $EWMA$ Kontrol Grafiği A_2 Katsayıları

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2	1.88	1.023	0.729	0.577	0.483	0.419	0.373	0.337	0.308

Kaynak: E.İşığışık, Toplam Kalite Kontrol Bakış Açısı ile İstatistiksel Kalite Kontrol, Ezgi Kitapevi, 234, 2004, Bursa.

1.8.2. Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri

Günümüzde üretim süreçlerindeki ölçüm ve izleme teknolojileri sayesinde üretilen ürünler ile ilgili birbiriyle ilişkili birçok veri elde edilmekte ve depolama teknolojileri sayesinde elde edilen bu büyük miktardaki karmaşık veriler kolay bir şekilde depolanabilmektedir. Elde edilen bu verilerin analizi ile piyasada işletmeler rakiplerine göre üstünlük sağlayabilmekte, alanında öncü pozisyonunda olabilmekte ve birçok müşterilerin gereksinimlerini veya beklentilerini karşılayabilmekte hatta aşabilmektedir. Dolayısıyla günümüzde bir ürünün kalitesinin değerlendirilmesi veya kontrolü birçok kalite değişkeni hesaba katılarak yapılmaktadır.

Genelde bir ürünün kalitesini, birbirlerini etkileyen birden fazla kalite karakteristiği belirlemektedir. Bu nedenle günümüzde bu kalite karakteristiklerinin tamamının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Birden fazla değişkenin ele alındığı süreçlerin kontrolü iki şekilde yapılabilir. Birinci yol, her bir değişken için ayrı ayrı tek değişkenli kontrol grafiği düzenlemektir. İkinci yol ise, kalite değişkenleri arasındaki bağımlılığı dikkate alan çok değişkenli kalite kontrol yöntemleri kullanmaktır (Özçomak, 2004:16).

Bu değişkenlerin analizinde kullanılan birinci yolda her bir değişken için ayrı ayrı kalite kontrol grafikleri oluşturulur ve bu kalite kontrol grafikleri eş zamanlı gözlemlenir. Kalite karakteristikleri birbirinden bağımsız olduğunda bu şekilde süreci kontrol etmek uygun bir yol gibi görünmektedir. Ancak kalite karakteristikleri arasında bağımlılık olduğunda bu yola başvurmak yanlış sonuçların elde edilmesine neden olabilir. Bu durumda bir tane çok değişkenli kontrol grafiğinin oluşturulması daha uygun olduğu değerlendirilir.

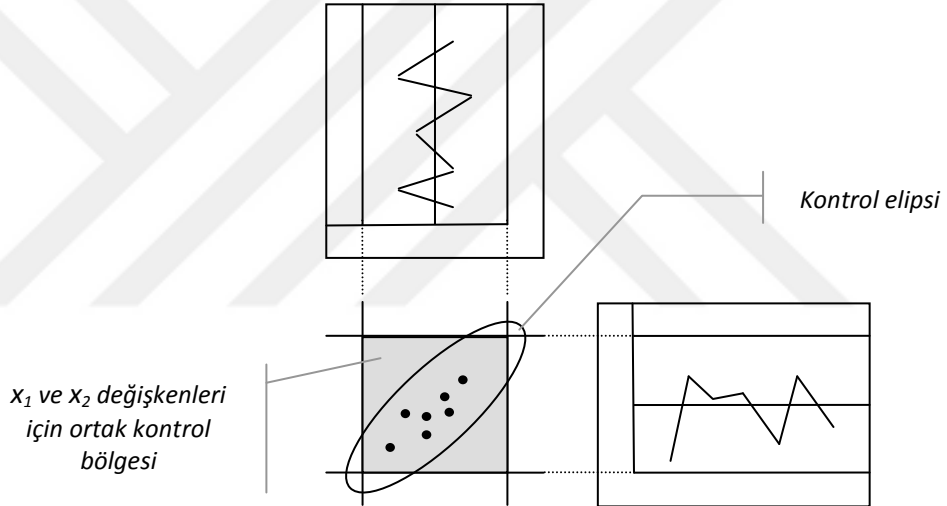
Tek değişkenli kontrol grafiklerinde ilgili değişken tek başına izlenirken, diğer kalite karakteristiklerinin bu değişkenin değerlerine etkileri göz ardı edilmektedir. Ancak sürecin, istatistiksel olarak değil de teknik olarak kontrol altında olup olmadığının belirlenmesinde bu karakteristiklerin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu kalite karakteristiklerinin eş zamanlı olarak tek değişkenli kontrol grafiklerinde izlenmesi durumunda, kalite karakteristikleri değerleri arasındaki etkileşim ihmal edilmiş olacaktır.

Bir ürünün ya da sürecin birden fazla karakteristiğini birlikte değerlendiren ve bu değerlendirme ışığında kontrol altında tutmayı amaçlayan kalite kontrol yaklaşımına çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü denir (Uyar, 1993). Ayrıca çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü, Mason ve Young (2002) tarafından çok değişkenli süreçleri izlemek maksadıyla kontrol grafiklerine dayalı bir yöntem olarak da tanımlanmaktadır.

Günümüzde üretim sistemlerinde veri toplanması için otomatik ve yeni teknolojiyle donatılmış sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler çok hızlı ve masrafsız şekilde çok değişkenli ölçüm yapmaktadırlar. Örneğin imalat sanayisinde, kullanım kolaylığı arttırılmış otomatik hassas master ve ölçüm aletleri, üç-boyutlu koordinat ölçüm cihazları, kameralara veya lazer teknolojisine dayalı optik sistemler, bilgisayarla bütünleşik şekilde hata teşhisinde kullanılmaktadır (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996; Espada Colon ve Gonzalez-Barreto, 1997; Singh ve Gilbreath, 2002; Gong, Jwo ve

Tang, 1997). Çok değişkenli kalite kontrolü sayesinde, tezgâh kaynaklı hataların tasnifi ve bu hatalardan yola çıkarak kaynaklarına inilmesi daha kolay ve sistematik bir biçimde yapılabilmektedir (Montgomery, 1996; Birgören, 1998).

Bağımsız birden çok değişkenin tek tek kontrol grafiklerinin oluşturulması ve incelenmesinin kullanılan bir yöntem olduğu önceki paragraflarda belirtilmişti. Ancak bu hem çok sayıda kontrol grafiğinin incelenmesi anlamına gelmektedir, hem de aralarında ilişki bulunan değişkenlerin hatalı yorumlanmasına neden olmaktadır. Çünkü Shewhart kontrol grafiklerinde değişkenler bağımsız olarak ele alınmakta, diğer değişkenlerin etkisi göz ardı edilmektedir. **Şekil 1.3**'de bir süreci etkileyen iki değişkenin tek değişkenli kontrol grafikleri ve çok değişkenli kontrol grafiklerine geçişi görülmektedir (Montgomery, 2009).



Kaynak: D. C. Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition, John Wiley and Sons. Inc., 2009, 500.

Şekil 1.3: Tek Değişkenli Kontrol Grafikleri ve Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerine Geçiş

Şekil 1.3'de iki değişken birbirlerinden bağımsız olarak izlendiğinde, herhangi bir değişkenin kontrol dışı sinyali vermesi durumunda sürecin kontrol dışı olduğu, ancak her iki değişkenin de kontrol sınırları içerisinde yer alması durumunda ise sürecin kontrol altında olduğu kabul edilir. Tek değişkenli kontrol grafiklerinin oluşturacağı kontrol bölgesi paralel çizelgelerdeki sınırların oluşturacağı bir dikdörtgen olacaktır. Buna karşın çok değişkenli kalite kontrol grafikleri değişkenler arası ilişki göz önünde bulundurarak farklı bir kontrol bölgesi tanımlarlar. Bu durumda kontrol bölgesi değişkenlerin arasındaki korelasyonun yönü ve şiddetine göre bir elips şeklini alır.

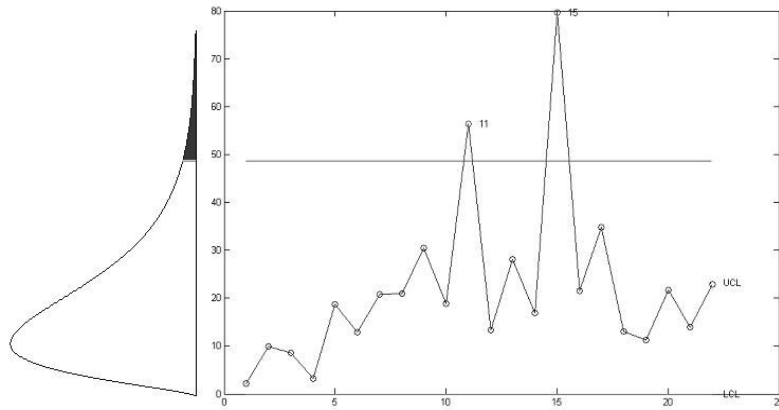
Değişken sayısının üçe çıkmasıyla kontrol bölgesi bir elipsoid şeklini alır. Değişkenlerden bir tanesi bir yöne hareket ederken diğer bir tanesinin de bu değişkenle birlikte sapmasının saptanması güçleşir. Kontrol elipsi içinde işaretlenen noktalar bir zaman çizgisi ile birleştirilemeyeceği veya birleştirildiğinde de anlamlı sonuçlar elde etmenin zor olması nedeniyle değişkenlerin birlikte sapmalarını saptamak güçleşir.

Değişkenler bağımsız olmadığında veya değişkenler arasında korelasyon göz önünde bulundurulduğunda, bir önceki paragrafta yapılan hesaplama geçersiz sayılacak ve Tip-1 hatası olasılığı farklı olacaktır. Bu durumda, değişkenler arasındaki kovaryans matrisinin yapısına göre Tip-1 hatası olasılığını belirlemek zorlaşacaktır. Hayter ve Tsui (1994), bunun için Monte Carlo simülasyonunu önermiştir.

Tip-1 hatası belirlenirken, Tip-1 ve Tip-2 hatası birlikte düşünülmeli, Tip-1 ve Tip-2 hataları olasılıkları dengeli olmalıdır (Mason, Chou ve Young, 2001).

1.8.2.1. Çok Değişkenli Kalite Kontrol Grafiklerinde Kontrol Bölgesi

Çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinde kontrol bölgesinin grafiksel olarak gösterimi **Şekil 1.4'**dedir.



Kaynak: B.KOÇER, Çok Değişkenli Kalite Kontrol ve Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2004, 18.

Şekil 1.4: Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Kontrol Bölgesinin Gösterimi.

Birden fazla tek değişkenli kontrol grafiğinin eş zamanlı olarak izlenmesi halinde kontrol bölgesi aşağıda olduğu gibi hesaplanır.

$$\text{Kontrol Bölgesi} = \int_{AKL_1}^{\dot{U}KL_1} \int_{AKL_2}^{\dot{U}KL_2} \dots \int_{AKL_n}^{\dot{U}KL_n} f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_n \dots dx_2 dx_1 = 1 - \alpha \quad (1-19)$$

Burada $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ fonksiyonu, $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenlerinin yani kalite karakteristiklerinin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunu temsil etmektedir. $x_1, x_2, \dots, x_n$ kalite karakteristiklerin birbirine ortogonal olması halinde ise;

$$\text{Kontrol Bölgesi} = \int_{AKL_1}^{\dot{U}KL_1} f(x_1) dx_1 \int_{AKL_2}^{\dot{U}KL_2} f(x_2) dx_2 \dots \int_{AKL_n}^{\dot{U}KL_n} f(x_n) dx_n = 1 - \alpha \quad (1-20)$$

haline gelir. Buradaki herhangi bir $f(x_i)$ fonksiyonu i . kalite karakteristiği için olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Kalite karakteristikleri arasında karşılıklı bir etkileşimin mevcut olması halinde, önceden belirlenmiş bir Tip-1 hatası olasılığı belirlemek zor hale gelecektir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinin temelinde çok sayıda ölçümü tek bir değişkene indirmek esası mevcuttur. Bu nedenle de kontrol bölgesi çok farklı gerçekleşir. Her şeyden önce artık kontrol edilen dağılım normal dağılım değildir. Zira değişkenler artık normal dağılım gösterebilirler bile tek bir değere indirgenmiş bir ortalamalar vektörü vardır ve bu değer normal dağılım göstermez.

1.8.2.2. Çok Değişkenli Hotelling T^2 Kontrol Grafiği

Hotelling T^2 kontrol grafiği, birbiriyle ilişki içinde olan çok değişkenli bir süreci izlemek için 1947 yılında Harold Hotelling tarafından ortaya konan çok değişkenli bir istatistiksel süreç kontrol grafiği çeşididir. Bu kontrol grafiği, çok değişkenli normallik varsayımı altında üretilen T^2 değerlerinin grafiklenmesine dayanır.

Literatürde Hotelling T^2 kontrol grafiği, çok çeşitli isimler ile anılmaktadır. Bazen tek değişkenli Shewhart kontrol grafiğine benzemesinden dolayı çok değişkenli Shewhart kontrol grafiği, bazen de, p serbestlik dereceli χ_p^2 dağılımına uymasından dolayı χ_p^2 kontrol grafiği olarak adlandırılmaktadır.

Hotelling T^2 kontrol grafiği, tek değişkenli R grafiğini andırır; sadece bir üst kontrol sınırı vardır ve sınırı geçen sinyaller bir kontrol dışı sinyali olarak değerlendirilir. Hotelling T^2 kontrol grafiğinde izlenen T^2 istatistiği, örneklemdeki çok değişkenli gözlemleri tek bir değere indirgeyen

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu)' \Sigma^{-1} (\bar{X} - \mu) \quad (1-21)$$

formül ile elde edilir. Burada X : p boyutlu $N_p(\mu, \Sigma)$ 'li μ ortalamalı ve Σ kovaryanslı çok değişkenli normal dağılıma sahip bir anakütleden birbirinden bağımsız rassal olarak çekilen örneklemeleri, $\bar{X}$: örneklem ortalamalarını, n : örneklem hacmini temsil etmektedir. Bu formül, değişkenler arasındaki kovaryans yapısını dikkate alır. Bu durum Hotelling T^2 kontrol grafiğinin en önemli özelliğidir. Hotelling T^2 kontrol grafiğinin en önemli özelliği olan değişkenler arasındaki kovaryansı dikkate almasının yanı sıra kontrol grafiğinin başka bir özelliği daha vardır. Hotelling T^2 kontrol grafiği, kontrol altında bir sürecin ortalama çalışma süresi ($O\check{C}S$) değerini üretip orjinal verinin ortalamasını, varyansını ve korelasyon değerini korur.

Değişkenler arasında ilişki olmadığında, Mason ve Young (1999) tarafından değişkenlerin eş zamanlı olarak Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmesi yerine her bir değişkenin tek değişkenli Shewhart kontrol grafiği ile izlenmesi önerilmektedir. Ancak değişkenler arasında ilişki olması durumunda ise Hotelling T^2 kontrol grafiği yerine tek değişkenli kontrol grafiklerini eş zamanlı izlemenin iki adet dezavantajı bulunmaktadır. Birinci dezavantaj, Tip-1 hatası olasılığını belirlemenin değişken sayısının artması ve korelasyon matrisinin genişlemesiyle zorlaşmasıdır. Bağımsız varsayılan, Tip-1 hatası olasılığı α olan tek değişkenli grafiklerin eşzamanlı izlenmesi halinde, p adet değişken için Tip-1 hatasının değeri $\alpha_s = 1 - (1 - \alpha)^p$ olur. İkinci dezavantajı ise süreçte kontrol dışı durumun oluştuğunun isabetli şekilde belirlemesine rağmen hangi değişken ya da değişken grubunun kontrol dışı olduğu konusunda bilgi vermemesidir. Diğer bir deyişle çok değişkenli bir süreçte ortaya çıkabilecek bir kontrol dışı sinyalinin pratik olarak yorumlanamaması bu testin en zayıf yönüdür (Mason, Tracy ve Young, 1995:99).

Mason ve Young (2001) ve Hawkins (1991) tarafından yapılan çalışmada, T^2 istatistiğinin, değişkenlerin ortalamalarındaki kaymaların saptanması için optimal test istatistiği olduğu gösterilmiştir.

Hotelling T^2 istatistiği, Mahalanobis uzaklık ölçüsüne dayalı bir prosedürdür ve *student-t* istatistiğinin genellenmiş bir halidir (Qiu, 2014).

Hipotez testlerinde, μ_0 gibi bir değer, anakütle ortalaması μ ile karşılaştırılmak istendiğinde hipotez testi;

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ ve } H_1: \mu \neq \mu_0 \quad (1-22)$$

şeklinde kurulur. Burada H_0 : sıfır hipotezini ve H_1 : alternatif hipotezi temsil eder. Student-t istatistiği, $N(\mu, \sigma^2)$ 'li μ ortalamalı ve σ^2 varyanslı tek değişkenli normal dağılıma sahip bir anakütleden birbirinden bağımsız rassal olarak çekilen örneklemeler yardımıyla;

$$\frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s/\sqrt{n}} \quad (1-23)$$

formülü ile hesap edilmektedir.

Burada $\bar{X} = 1/n \sum_{i=0}^n X_i$ ve $s = \sqrt{\sum_{i=0}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$ formülü ile gösterilir.

(Mason ve Young, 2002). **Denklem (1-23)**'de yer alan student- t istatistiği, $n-1$ serbestlik dereceli student t dağılımı gösterir. Hesaplanan student- t istatistiği, α önem seviyesinde $n-1$ serbestlik dereceli kritik değerden büyük çıkarsa μ_0 'ın anakütle ortalamasının μ 'ye eşit olduğunu ifade eden sıfır hipotezi yani H_0 hipotezi kabul edilmez.

Bu formülün karesi alınırsa;

$$\left[\frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s/\sqrt{n}} \right]^2 = n(\bar{X} - \mu_0)' (s^2)^{-1} (\bar{X} - \mu_0) \quad (1-24)$$

Hotelling T^2 istatistiği elde edilir. Bu formül örnek ortalamasının anakütle ortalamasına yakınlığının bir ölçüsünü ifade etmektedir. Hotelling T^2 istatistiğinin dağılım özellikleri ile ilgili temel varsayım, çok değişkenli gözlemlerin μ ortalamalı, Σ kovaryanslı normal dağılıma uymasındır.

Hotelling T^2 testi, bağımlı ve bağımsız iki örneklem durumunda iki veya daha çok değişkenli ($p \geq 2$) örnek ortalama vektörlerinin sıfır olduğuna ilişkin hipotezlerin test edilmesinde kullanılan bir testtir (Mason ve Young, 2002). $\bar{X}$ ve s^2 değerleri bilindiği zaman, $n(\bar{X} - \mu_0)' (s^2)^{-1} (\bar{X} - \mu_0) > t_{n-1, \alpha/2}^2$ olduğunda α önem seviyesinde H_0 hipotezi reddedilir. H_0 hipotezi kabul edildiği takdirde, μ_0 değeri normal anakütle ortalaması için mantıklı bir değer olarak kabul edilir. Hotelling T^2 istatistiğinden yola çıkarak daha sonraki zamanlarda çeşitli araştırmacılar (Örneğin Alt, 1985; Fuchs ve Kenett, 1998;

Lowry ve Montgomery, 1995; Mason ve Young, 2002) tarafından çeşitli çok değişkenli kontrol grafikleri de ortaya konmuştur.

T^2 istatistiğinin dağılımı μ ve Σ parametrelerinin bilinip bilinmemesi durumu ve parametrelerin tahmin edilebilir olduğu durum olarak iki şekilde açıklanır. Ayrıca parametrelerin tahmin edilebilir olduğu durum da ikiye ayrılır. Bunlar birincisi, X gözlem vektörünün, anakütle parametrelerinin tahmininden bağımsız oluşu durumu ve ikinci durum ise $\bar{X}$ ve S 'nin hesaplanmasında X gözlem vektörü dikkate alınması durumudur.

Hotelling T^2 kontrol grafiği, örneklem değerlerine dayalı olarak iki veya daha fazla olan kalite karakteristiklerinden hesaplanan Hotelling T^2 istatistiklerinin kontrol grafiğinin üzerine işaretlenmesi ile elde edilir.

Hotelling T^2 istatistiğinin karesel bir ifade olması değerinin her zaman pozitif olmasına neden olmaktadır. Böylece değişiklikler T^2 istatistiğinde sadece artırıcı bir özelliktedir. Bu durumda alt kontrol sınırına ihtiyaç duyulmamaktadır. Üst kontrol sınırını üzerindeki büyük Hotelling T^2 değerleri kontrol dışı sinyalleri ifade etmektedir. Bu durum, gözlemlerin süreç ortalamasından saptığının ya da süreçte dalgalanmalar olduğunun göstergesidir. Süreçte oluşan bu dalgalanmalar; gözlemlerin Shewhart kontrol sınırı dışında olmasından yani dikdörtgen ile tanımlanan kontrol bölgesi dışında olmasından veya değişkenler arasındaki ilişkinin referans veri seti ile belirlenen ilişki yapısına uymamasından yani elips ile tanımlanan kontrol bölgesinin dışında olmasından kaynaklanmaktadır. Bu dalgalanmalar aslında ortalamadaki kaymaları veya varyans yapısındaki farklılığın göstergesidir.

Tek değişkenli kalite kontrolünde olduğu gibi çok değişkenli kalite kontrolünde de Faz I ve Faz II olarak adlandırılan iki aşama vardır. Çok değişkenli kalite kontrolünde Faz I ve Faz II aşamalarında 28. sayfada yer alan Faz I ve Faz II bölümünde anlatılan hususlardaki esasların aynısı geçerlidir.

Hotelling T^2 kontrol grafikleri, **bireysel gözlem değerlerine ve alt grup verilerine** dayanarak oluşturulmaktadır. Hotelling T^2 kontrol grafiğinin nasıl oluşturulacağı, Faz I ve Faz II aşamalarına uygun olacak şekilde ilk olarak bireysel gözlem değerleri dikkate alınarak anlatılacak, daha sonra ise alt grup verilerine dayalı olarak oluşturulması anlatılacaktır.

1.8.2.2.1. Bireysel Örneklem Verilerine Dayalı Olarak Oluşturulan Hotelling T^2 Kontrol Grafiği

1.8.2.2.1.1. Faz I Aşaması

1.8.2.2.1.1.1. Süreç Parametrelerinin Bilinmesi Durumunda

Faz I aşamasında X kalite vektörünün $N_p(\mu_o, \Sigma_o)$ dağıldığını, μ_o ve Σ_o bilindiğini ve süreçte ortalamada meydana gelen kayma ile ilgilendiğimizi varsayalım. Kayma yoksa süreç kontrol altındadır ve sürecin ortalaması ile kovaryansı bilindiğinden i . zamanda izlenecek test istatistiği;

$$T^2 = n(X_i - \mu_o)' \Sigma_o^{-1} (X_i - \mu_o) \quad (1-25)$$

olarak hesaplanır. Buradan süreç i 'inci zamanda kontrol altında olduğunda;

$$T^2 \sim \chi_p^2 \quad (1-26)$$

dağılımı göstermektedir. Bu durumda üst kontrol sınırı $\chi_{(1-\alpha),p}^2$ ile hesaplanır. Burada $\alpha \in [0,1]$ güven seviyesi ve $\chi_{(1-\alpha),p}^2$, χ_p^2 'nin $(1 - \alpha)$. kantilidir. Eğer hesaplanan T^2 istatistiği, üst kontrol sınırından büyükse sürecin kontrol dışında, küçükse kontrol altında olduğu kabul edilir. Hotelling T^2 kontrol grafiğinin gücü daha önceki paragraflarda anlatıldığı gibi ortalama icra süresi ile ölçülmektedir. Bu durumda eğer süreç kontrol altında ve örneklem bağımsızsa ortalama icra süresi (OİS);

$$OIS_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (1-27)$$

ile hesaplanmaktadır.

Ancak günümüzde endüstri alanında sürecin ortalaması ile kovaryansının bilinmesi az rastlanan bir durumdur. Çoğunlukla bilinmez. Bu durumda ise Hotelling T^2 kontrol grafiği için aşağıda yer alan işlemler serisi takip edilmektedir.

1.8.2.2.1.1.2. Süreç Parametrelerinin Bilinmemesi Durumunda

Süreçlerde yukarı kaymış μ_o ve Σ_o 'nin bilinmediği durumlarda bu parametreler, örneklemelerden elde edilen istatistikler yardımıyla hesaplanır. S , örneklem kovaryans matrisi Σ_o 'nın tahmincisi, $\bar{X}$ örneklem ortalama vektörü μ_o temsil eder. Σ_o yerine S , μ_o yerine $\bar{X}$ konulduğunda;

$$T^2 = n(X_i - \bar{X})' S^{-1} (X_i - \bar{X}) \quad (1-28)$$

olur. Süreç kontrol altında iken örneklem hacmi m büyük ise T^2 'nin dağılımı χ_p^2 'ye çok yakındır. Çünkü, S ve $\bar{X}$, Σ_0 ve μ_0 'ye yakındır. Örneklem büyüklüğü m küçük ise T^2 'nin dağılımı χ_p^2 'den önemli derecede uzaktır. Tracy, Young ve Mason (1992), T^2 'nin dağılımı üzerine bir çalışma yapmış ve $\frac{m}{(m-1)^2}T^2$ nin parametrelerinin $p/2$ ve $(m-p-1)/2$ olduğu, Beta dağılımı olduğunu göstermiştir. Beta dağılımı, sürekli bir dağılım olup

$$f(x) = \frac{1}{B(a,b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1}, \quad x \in [0,1] \quad (1-29)$$

fonksiyonu ile gösterilir. Bu fonksiyonda $B(a,b) = \int_0^1 u^{a-1} (1-u)^{b-1} du$, bir sabittir.

Böyle bir durumda eğer

$$T^2 > \frac{(m-1)^2}{m} \text{Beta}_{1-\alpha(p/2, (m-p-1)/2)} \quad (1-30)$$

ise ortalamada kontrol dışı sinyalin varlığı anlaşılır. $\alpha \in [0,1]$, serbestlik derecesi, $\text{Beta}_{1-\alpha(p/2, (m-p-1)/2)}$ ise Beta dağılımının $(1-\alpha)$. kantilidir. Buradan da anlaşılacağı üzere kontrol grafiğinin üst kontrol sınırı, $\frac{(m-1)^2}{m} \text{Beta}_{1-\alpha(p/2, (m-p-1)/2)}$ ve alt kontrol sınırı ise 0'dır.

1.8.2.2.1.2. Faz II Aşaması

1.8.2.2.1.2.1. Süreç Parametrelerinin Bilinmesi Durumunda

X kalite vektörünün $N_p(\mu_0, \Sigma_0)$ 'da dağıldığını μ_0 ve Σ_0 bilinen süreçte ortalamada meydana gelen kayma ile ilgilendiğimizi varsayalım. Bu durumda sürecin ortalaması ve kovaryansı bilindiğinden i . zamanda izlenecek test istatistiği Faz I aşamasında bilinen parametreler için elde edilen formüller yardımıyla hesaplanır ve izlenecek prosedürde aynıdır.

1.8.2.2.1.2.2. Süreç Parametrelerinin Bilinmemesi Durumunda

Süreçlerde μ_0 ve Σ_0 'nin bilinmediği durumlarda bu parametreleri örneklemelerden elde edilen istatistikler yardımıyla hesaplanır. $\widehat{\Sigma}_0$, süreç kovaryans matrisi Σ_0 'nın tahmini, $\widehat{\mu}_0$, süreç değişkenlerinin ortalama vektörünü temsil eder. Σ_0 yerine $\widehat{\Sigma}_0$, μ_0 yerine $\widehat{\mu}_0$ konulduğunda;

$$T^2 = (X_n - \widehat{\mu}_o)' \widehat{\Sigma}_0^{-1} (X_n - \widehat{\mu}_o) \quad (1-31)$$

olur. Tracy, Young ve Mason (1992)'e göre sürecin kontrol durumunda,

$$\frac{(m-p)m}{p(m-1)(m+1)} T^2 \sim F_{p, m-p} \quad (1-32)$$

şeklinde F dağılımına uygundur. Bu durumda ortalamada kontrol dışı sinyal eğer

$$T^2 > \frac{p(m-1)(m+1)}{m(m-p)} F_{1-\alpha, p, m-p} \quad (1-33)$$

ise oluşur. $F_{1-\alpha, p, m-p}$, $F_{p, m-p}$ dağılımının $(1-\alpha)$. kuantilidir. Buradan da anlaşılacağı

üzere kontrol grafiğinin üst kontrol sınırı, $\frac{p(m-1)(m+1)}{m(m-p)} F_{1-\alpha, p, m-p}$ ve

alt kontrol sınırı ise 0'dır.

1.8.2.2.2. Alt grup Örneklem Verilerine Dayalı Olarak Oluşturulan Hotelling T^2 Kontrol Grafiği:

1.8.2.2.2.1. Süreç Parametrelerinin Bilinmemesi Durumunda

Bir süreçte gözlem değerleri, bir gözlem vektörü yerine n adet gözlem vektörü içeren alt grup verilerinden oluştuğunda alt grup verilerinin ortalaması kullanılarak kontrol grafikleri dizayn edilir. Alt gruplandırma, gözlemlerin alt gruplar arasındaki değişkenlik maksimum olacak, alt grup içerisindeki değişkenlik minimum olacak şekilde seçilmesidir.

Süreç parametrelerinin bilinmemesi durumunda; T^2 istatistiği S , süreç kovaryans matrisinin tahmini, $\overline{\overline{X}}$ süreç değişkenlerinin ortalamalarının ortalama vektörü, $\overline{X}$ de her bir alt gruptaki ortalamaları vektörü olmak üzere **denklem (1-34)** ile hesaplanır.

$$T^2 = n \left(\overline{X} - \overline{\overline{X}} \right)' S^{-1} \left(\overline{X} - \overline{\overline{X}} \right) \quad (1-34)$$

Alt kontrol sınırı sıfır olmak üzere üst kontrol sınırı ise **denklem (1-35)** ile hesaplanır;

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (1-35)$$

Daha sonra hesaplanan bu kontrol sınırları Hotelling T^2 kontrol grafiğine işlenir.

Süreç parametrelerinin bilinmemesi durumunda; kovaryans matrisi ise aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanmaktadır.

X , p adet değişkenin n örnek hacimli gözlem matrisi, üç boyutlu X matrisinin X_{ijk} elemanı i . alt gruptaki j . bireyin k . değişkeninin ölçülen değeri, $\overline{X_{ik}}$, k . değişkenin i . alt gruptaki gözlemlerinin ortalaması, $\overline{X_i}$, $\overline{X_{ik}}$ değerlerinin oluşturduğu altgrup ortalama vektörü, $\overline{X_k}$, $\overline{X_{ik}}$ değerlerinin oluşturduğu değişkenlerin ortalama vektörü, $\overline{\overline{X}}$, $\overline{X_k}$ vektörlerinin ortalamaları ile elde edilen değişkenlerin ortalama vektörü ve S , kovaryans matrisinin tahmini, S_{ik}^2 , k . değişkenin i . alt gruptaki varyansı, S_{ihk} , herhangi bir alt grupta k .değişken ile h . değişken arasındaki kovaryans değeri olmak üzere her bir alt gruptaki bireylerin belirli bir değişken için ölçümlerinin oluşturduğu vektör X_{ik} olsun.

Belirli bir değişken aynı alt gruptaki ölçümlerinin oluşturduğu X_{ik} vektörü ve diğer değişkenlerin oluşturduğu vektörler ile kovaryansı bulunur. X_{ik} vektörünün varyansının hesaplanması ile bulunan değerlerin ortalaması değişkenin varyansını verir. Kovaryans matrisi elemanları, değişkenin varyansı için;

$$S_{ik}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ijk} - \overline{X_{ik}})^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ k = 1, 2, \dots, p \end{array} \right\} \quad (1-36)$$

k . ve h . değişkenler arasındaki kovaryans değeri;

$$S_{ihk} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ijk} - \overline{X_{ik}})(X_{ijh} - \overline{X_{ih}}) \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j \neq h \\ j, h = 1, 2, \dots, p \end{array} \right\} \quad (1-37)$$

olur.

Değişkenler arası kovaryanslar her bir alt grup için bulunduktan sonra, alt gruplar boyunca kovaryans matrisinin ortalaması alınır.

Hotelling T^2 kontrol grafiğinde Faz II aşaması için ise T^2 değerleri ise aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanmaktadır.

Her bir değişkenin her bir alt grubunun ortalaması bulunarak, alt grup değişken ortalama vektörleri, $\overline{X_{ik}}$ oluşturulur. Bu sayede bir ortalamalar matrisi elde edilmiş olur.

$$\overline{X}_{ik} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ijk} \quad \begin{cases} i=1,2,\dots,m \\ k=1,2,\dots,p \end{cases} \quad (1-38)$$

Daha sonra bu vektörlerin ortalaması bulunarak ortalamaların ortalaması vektörü ($\overline{\overline{X_k}}$) elde edilir.

$$\overline{\overline{X_k}} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \overline{X_{ik}} \quad \{i=1,2,\dots,m\} \quad (1-39)$$

Her bir alt grup için elde edilen ortalama vektörü $\overline{X_{ik}}$ ile ortalamaların ortalama vektörü $\overline{\overline{X_k}}$ arasındaki farklar bulunur. Daha sonra her bir alt grup için T^2 değerleri hesaplanır ve kontrol grafiği hazırlanır.

Herhangi bir i . alt grup için T^2 değeri bir kez hesaplandıktan sonra, sonraki alt grupta, $\overline{\overline{X_k}}$ ve S değişmeksizin, yeni $\overline{X_{ik}}$ ortalama vektörleri için T^2 değerleri hesaplanır. $i+t$. alt gruplar için bu formül; $T_{i+t}^2 = n \left(\overline{X_{i+t}} - \overline{\overline{X_k}} \right)' S^{-1} \left(\overline{X_{i+t}} - \overline{\overline{X_k}} \right)$ halini alır.

Tüm veriler kontrol altında durumunda ise Faz II aşamasında sürecin izlenmesinde kontrol sınırlarının hesaplanmasında **denklem (1-40)** kullanılır (Wierda, 1994):

$$AKS = 0 \text{ ve } \ddot{UKS} = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (1-40)$$

Hotelling T^2 kontrol grafiklerinde Faz I aşamadaki üst kontrol sınırı katsayısı $\frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1}$ ile Faz II aşamadaki üst kontrol sınırı katsayısı $\frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1}$ birbirlerinden farklıdır. Farklı aşamalarda farklı üst kontrol sınırlarının kullanılmasının nedeni ise kontrol grafiklerin kurulmasında kullanılan verilerin kendi kendilerini kontrol etmekte kullanması ve dolayısıyla birbirlerinden bağımsız olmamaları olarak gösterilmektedir. Bazı araştırmacılar ise Faz I aşamada, kontrol grafiklerinin kurulması ve bu grafiklerin parametrelerinin hesaplanmasında F dağılımından farklı serbestlik dereceleri ile $Beta$ dağılımının kullanılmasını önermektedir (Mason, Chou ve Young, 2001).

1.8.2.2.2. Süreç Parametrelerinin Bilinmesi Durumunda

μ ve Σ yani süreç ortalaması ve varyans kovaryansı biliniyorsa, T^2 istatistiği χ^2 dağılımı takip eder. Bundan dolayı Montgomery (1996), μ ve Σ 'nın büyük örneklemden tahmin edildiğinde, yani, gözlem matrisi X 'teki m boyutunun büyümesi durumunda, üst kontrol sınırının gerek Faz I aşamasında ve gerekse Faz II aşamasında üst kontrol sınırı= $\chi^2_{\alpha,p}$ olarak da kullanılabileceğini belirtmektedir.

Lowry ve Montgomery (1995), m boyutunun elliden bile fazla olması gerektiğini belirtmektedirler. Bu durumda T^2 değerlerinin hesaplanmasındaki adımlarda herhangi bir değişiklik olmaksızın sadece kullanılan üst kontrol sınırı değişmektedir.

Mason, Chou, Sullivan, Stoumbos ve Young (2003), küçük T^2 değerlerinin de özel bir nedene bağlı olabileceği göz önünde bulundurularak sıfırdan farklı bir alt kontrol sınırının kullanılmasını önermektedirler. Buna göre üst kontrol sınırının belirlendiği güven düzeyi, α , güven düzeyi $\alpha/2$ alınarak eğrinin iki yanına dağıtılır. Böylece sıfırdan farklı bir alt kontrol sınırı elde edilmiş olur.

1.8.3. Kontrol Grafiklerinin Yorumlanması

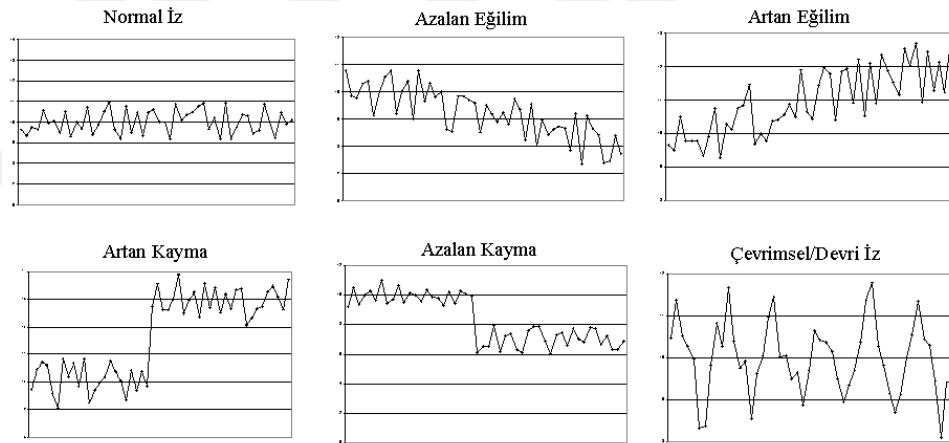
Kalite kontrol grafiğine işaretlenen bir noktanın kontrol bölgesinin dışında kalması sürecin kontrol dışında olduğunu gösterir ve süreci etkileyen özel neden veya nedenlerin varlığından şüphelenilmesini gerektirir. Ancak, süreç sadece genel nedenlerin etkilerinin altında olduğu durumlarda kontrol bölgesinin dışına bir noktanın çıkması olasılığı düşüktür. Genel nedenlerin etkileri çok ender olarak herhangi bir noktanın kontrol bölgesinin dışına çıkmasına neden olur. Ancak nokta veya noktaların kontrol bölgesinin içinde yer alması her zaman sürecin kontrol altında olduğu anlamına gelmez. Noktalar belirli bir bölgede yoğunlaşmış olabilecekleri gibi artan ya da azalan şekilde de olabilir. Genelde araştırmacıyı yönlendirmesi bakımından kontrol grafiğine işaretlenen noktaların daha önce standart olarak belirlenen durumlardan birini göstermesi süreçte özel nedenlerinin varlığının işareti olarak kabul edilir.

Tek değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol altındaki bir süreçten sapmaların olup olmadığını anlayabilmek için alt kontrol sınırları ile üst kontrol sınırları ihlallerine ek olarak oluşan örüntülerle ilgili olarak dört adet objektif kural ilk kez 1950'li yıllarda

Western Elektrik Şirketi tarafından geliştirilmiştir. Western Elektrik Şirketi tarafından geliştirilen bu objektif kurallar aşağıda sıralanmıştır.

- Bir ya da daha fazla nokta alt kontrol sınırının altında veya üst kontrol sınırının üstünde,
- Arka arkaya üç noktadan ikisi üstteki B bölgesinde ya da alttaki B bölgesinde,
- Arka arkaya beş noktadan dördü $\hat{\mu} + 1\hat{\sigma}$ sınırının üstünde ya da $\hat{\mu} + 1\hat{\sigma}$ sınırının altında,
- Arka arkaya sekiz nokta orta çizginin üstünde veya altında,

Daha sonra bu kurallara Western Elektrik Şirketi (1958) tarafından 15 madde halinde önerilen ve **Şekil 1.5**'de 6 adedi yer alan tipik örüntüleri kapsayan yeni kurallar da eklenmiştir.



Kaynak: Orçanlı K., Oktay E. ve Birgören B. (2015). “Çok Değişkenli Kontrol Kartları Örüntü Tanıma Literatüründe Bir Araştırma”, Social Sciences Research Journal, 4(2), 23-42.

Şekil 1.5: Western Elektrik Şirketi (1958) Tarafından Önerilen Altı Çeşit Tipik Örüntü

Western Elektrik Şirketi tarafından ortaya konan dört kurala ek olarak çeşitli araştırmacılar tarafından başka kurallar da önerilmiştir. Önerilen kurallar aşağıda sıralanmıştır. (Birgören, 2015)

- Arka arkaya altı nokta sırayla artmakta veya azalmakta,
- Arka arkaya on beş nokta C bölgesinde,
- Arka arkaya on dört nokta sırayla azalıp artmakta,

- Arka arkaya sekiz noktanın hiç biri C bölgesinde değil, bazıları $\hat{\mu} + 1\hat{\sigma}$ sınırının üstünde ve diğerleri $\hat{\mu} + 1\hat{\sigma}$ sınırının altında,
- Rastgeleliği bozan sıra dışı bir örüntü,
- Bir ya da daha fazla nokta kontrol sınırlarından birinin çok yakınında.

Yukarıda yer alan kuralların yanında literatürde başka teknikler ve kurallar da bulunmaktadır (Nelson, 1984). Literatürde önerilen bu teknikler ve kurallar üç ana başlıkta toplanmaktadır. Koşum testleri (*runs tests*) (Ducan, 1986), bölgesel testler (*zone tests*) (Nelson, 1985) ve geometrik hareketli ortalama testleri (*geometric moving averages tests*) (Roberts, 1959). Diğer kurallarda olduğu gibi bu testler de kontrol grafiğinde doğal olmayan örüntülerin varlığını göstermektedir. Ancak bu yöntemlerle kesin bir şekilde bu örüntülerin neden kaynaklandığı ortaya konamamaktadır. Diğer bir deyişle bu teknikler ve yöntemlerle doğal olmayan örüntüler ile bu örüntülerin oluşma sebepleri arasında kesin bir ilişki tespit edilememektedir (Cheng, 1997). Bir örüntü çeşidine sebep olabilen birden fazla sebep de olabilir.

Hachicha ve Ghorbel (2012), kontrol grafiklerinde oluşan kontrol dışı sinyaller ile yapılan çalışmaları değerlendirerek kontrol grafiğinde oluşan örüntüleri yorumlama ile ilgili çalışmaları üç ana grupta toplamaktadır:

- Kontrol grafiğinin ortalamasında veya varyansında meydana gelen ani değişiklikler,
- Kontrol grafiklerinde oluşan örüntülerin değişim noktasının tahmini,
- Doğal olmayan örüntünün tanımlanması (*yapısal değişim*)

Bu çalışmada, ilgilenilen doğal olmayan örüntü çeşitleri, Hachicha ve Ghorbel (2012) tarafından yapılan gruplamada birinci ve üçüncü grupta yer alan yapısal değişimlerle ilgilidir.

Tek değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan tipik örüntülerin nedenlerinin neler olduğu Montgomery (1996) tarafından aşağıdaki şekilde açıklamaktadır.

- Sürecin ortalamasında veya dağılımında meydana gelen **kaymanın**; yeni işçi, yeni yöntem, hammadde veya yeni makinenin devreye girmesinden, muayene

yöntemi meydana gelen değişimden veya operatöre bağlı olarak meydana gelen değişimden kaynaklanabildiği,

- Sürecin ortalamasında veya dağılımında meydana gelen **eğilim** (*trend*) şeklinde örüntünün bir aracın veya sürecin kritik bileşenlerinden birinin zamanla aşınması ve yıpranması, operatör yorgunluğu, denetim, mevsimsel faktörlerden oluşabileceği,

- **Diğer örüntülerin** sıcaklık, operatör yorgunluğu, operatörlerin ve makinelerin düzenli rotasyonu, üretim alet ve edevatlardaki bazı değişkenlerdeki dalgalanmalar gibi sistematik çevresel değişiklikler sonucu oluşabildiği,

- Ayrıca kontrol grafiklerinde yukarıda açıklanan örüntü çeşitleri dışında başka örüntü çeşitlerine de rastlanabileceği belirtilmektedir.

Tek değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyalin oluşmasının nedeni ortalama veya varyans değerinde meydana gelen değişiktir. Tek değişkene sahip olan süreçlerde izlenen değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişki göz ardı edilir. Ancak bu durum çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolünde geçerli olmamaktadır. Çünkü meydana gelen kontrol dışı sinyal birçok hata kaynağından kaynaklanabilir.

Yerli ve yabancı literatürde yapılan araştırma sonucu yukarıda tespit edilen tipik standart örüntülerin ağırlıklı olarak tek değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili olduğu görülmüştür. Ancak bu tip standart örüntülerin çok değişkenli kontrol grafiklerinde de kullanılabileceği literatürde yer almaktadır. Ancak çok değişkenli süreçlerde kontrol dışı sinyali yorumlanmasında karşılaşılan problemin iyi bir çözüm yolu için Hayter ve Tsui (1994)'ye göre bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir.

- Seçilen yöntem, süreç kontrol altında olduğunda α olasılığı ile sürecin kontrol dışı sinyali vermesi durumunda belirlenen α olasılığındaki tüm hata oranlarını kontrol etmelidir.

- Seçilen yöntem, sürecin kontrol dışında olduğu tespit edildiğinde, hangi kalite değişken ya da değişkenlerin kontrol dışı duruma neden olduğunu tespit etmek maksadıyla kolay uygulanabilir bir yöntem sağlamalıdır.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde meydana gelen tipik örüntü tipleri ile ilgili olarak yapılan bazı önemli çalışmalar aşağıda sıralanmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalar aşağıdakiler ile sınırlı değildir.

Mason, Chou, Sullivan, Stoumbos ve Young (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, Hotelling T^2 kontrol grafiğinde değişkenler arasındaki korelasyonun 0.5 olması durumunda tek değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan ve Western Elektrik Şirketi (1958) tarafından ortaya konan yedi adet örüntünün (**Tablo 1.6**) çok değişkenli kontrol grafiklerinde de oluşabileceği belirtilmiş ve bunun bir uygulaması gösterilmiştir.

Tablo 1.6: Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle Bağlantılı Örüntüler

Örüntü tipi	Açıklama
Eğilim (<i>Trend</i>)	T^2 değerinin aşağıya veya yukarıya doğru ivmelenmesi
Kayma	T^2 değerinin ayırık gruplar oluşturması
Tekrarlayan (<i>Cyclic</i>) Çevrim	Tekrarlayan U şekli
Karışım (<i>Mixtures</i>)	T^2 değerinin sıfır çizgisinin üzerinde kümelenmesi

Kaynak: R.L. Mason, Y.M. Chou, J.H. Sullivan, Z.G. Stoumbos, ve J.C. Young, (2003). "Systematic Patterns in T^2 Charts.", Journal of Quality Technology, 35, 47-58.

Cheng ve Cheng (2008) tarafından iki değişkenli bir süreçte yapılan çalışmada, iki değişkenle oluşturulan dağılım (*scatter*) diyagramı kullanılarak çıkartılan istatistiksel özellikler ile **aşağı ve yukarı kayma** örüntü çeşidinin tespitine yönelik bir model önerilmiştir.

El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed (2010) tarafından yapılan çalışmada, Hotelling T^2 kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyallere neden olan değişken veya değişken gruplarını tespit etmek için önerilen bir modelde, **aşağı ve yukarı eğilim** ile **aşağı ve yukarı ani kayma örüntü çeşitleri araştırılmıştır.**

Salehi, Bahreininejad ve Nakhai (2011) tarafından yapılan çalışmada, kontrol dışı sinyal ile doğal olmayan bazı örüntülerin tespiti ve kontrol dışı sinyale neden olan değişken veya değişken grubunun ortaya konması için iki aşamalı hibrit bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada, **aşağı ve yukarı kayma, aşağı ve yukarı eğilim, çevrim** örüntü çeşitleri araştırılmıştır.

Cheng ve Cheng (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan doğal olmayan örüntü cinslerini tespit etmek için destek vektör

makineleri (*DVM*) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, doğal olmayan örüntü çeşidi olarak Western Elektrik Şirketi (1958) tarafından ortaya konan **tipik örüntü çeşitleri araştırılmıştır.**

Birçok araştırmacı, literatürde Hotelling T^2 kontrol grafiği ile *MEWMA* kontrol grafiğinde izlenen istatistikî değerlerde ani olarak meydana gelen değişimin büyüklüğünün miktarını tespit etmek için çeşitli çalışmalar yapmıştır. İzlenen istatistiksel değerlerde meydana gelen ani değişim, literatürde **aşağı ve yukarı ani kayma örüntü çeşidi** olarak kabul edilmektedir. Yapılan bu çalışmalar ile ilgili detaylı bilgiler tezin üçüncü bölümünde YSA'nın kalite kontrolü problemlerinde kullanımı ile ilgili yapılan literatür çalışmasında bulunabilir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde yukarıda belirtilen doğal olmayan örüntülerin başarılı bir şekilde tespit edilmesine rağmen Hotelling T^2 kontrol grafiğinin bazı doğal olmayan örüntü çeşitlerini tespit edemediği belirtilmektedir. Örnek vermek gerekirse Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Chan ve Li (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, süreçte meydana gelen eğilim cinsi örüntü çeşidini, Sullivan ve Woodall (1996) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, süreçte meydana gelen ani aşağı ve yukarı kayma örüntü çeşitlerini tespit etmede etkisiz olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak; yukarıdaki ve benzer çalışmalar incelendiğinde, Western Elektrik Şirketi (1958) tarafından ortaya konan, tek değişkenli kontrol grafiklerinde kullanılan doğal olmayan tipik örüntü çeşitleri çok değişkenli kontrol grafiklerinde de kullanılabilir. Ancak çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşabilecek örüntü cinsleri ile olarak Masood ve Hassan (2012) tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği üzere daha detaylı çalışmaların yapılmasına ve kesin örüntü çeşitlerinin tanımlanmasına ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

SÜREÇ TABANLI TEMEL GÖSTERİMLERİ YÖNTEMİ

2.1. GİRİŞ

Birinci bölümde, kalite, kalite kontrolü ve istatistiksel kalite kontrolü ile ilgili kavramlar ile istatistiksel kalite kontrolünde kullanılan etkin yöntemlerden olan tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri hakkında bazı teorik bilgiler verilmiştir.

Bu bölümde ise, çok değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyalin yorumlanması ile ilgili karşılaşılan problemler, bu problemlerin giderilmesine yönelik olarak literatürde yer alan bazı çalışmalar ve süreç tabanlı temel gösterimleri (STTG) yöntemine dayalı olarak önerilen modelde kullanılan yaklaşımdan biri olan STTG yöntemi hakkında teorik bilgiler verilecektir.

2.2. ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİNDE HATA TEŞHİSİ

İşletmelerin önemli bir kısmı kalite geliştirme çabaları kapsamında kalite karakteristiklerini tek tek ele alarak kaliteyi sağlamaya çalışmaktadır. Ancak, kalite karakteristikleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Çünkü kalite karakteristiklerinin tek tek incelenmesi yeteri kadar etkin ve ekonomik olmamaktadır ve kalite karakteristikleri arasında var olabilecek ilişkiler tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olmaktadır. Günümüzde iki veya daha çok kalite karakteristiklerini beraber analiz ederek ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve buna göre en iyi kombinasyonları ortaya koyan yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri, birinci bölümde detayları açıklanan çok değişkenli kalite kontrol yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda, kalitedeki değişim çok değişkenli T^2 kontrol grafikleri veya diğer çok değişkenli kontrol grafikleri ile tespit edilebilir.

Çok değişkenli kontrol grafikleri, tek değişkenli kontrol grafiklerinin genelleştirilmiş halidir. Bu grafikler, incelenen süreç hakkında tek değişkenli kontrol grafiklerinde olduğu gibi sürecin kontrol altında olup olmadığına karar vermeyi sağlar. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı noktalar tek bir değişkenden kaynaklandığından hata kaynağını belirlemek nispeten kolaydır. Ancak çok değişkenli süreçlerde birden fazla değişken tek bir istatistik olarak ifade edilmektedir. Bu durumda sürecin kontrol dışı olduğu belirlenmekte ancak hangi değişken ya da değişkenlerin

veya hata kaynaklarının sinyal üzerinde etkili olduğu ve etki düzeyi bilinmemektedir. Bu da hata kaynaklarının belirlenmesini güçleştirmektedir. Dolayısıyla çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinin kullanımında ortaya çıkan en önemli problem sinyalin yorumlanmasıdır. Bu nedenle çok değişkenli kontrol grafikleri uygulamalarında kontrol dışı bir noktaya rastlandığında buna hangi değişkenlerin veya hata kaynaklarının neden olduğunun belirlenmesi güç olmaktadır. Ayrıca değişkenler arasındaki kovaryans nedeniyle kontrol dışı olan bir değişken değeri, kontrol altında farklı bir değişkenin istatistiksel olarak kontrol dışı gözükmesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı gerçekten kontrol dışı durumunda olan değişkenin/değişkenlerin gözden kaçırılması ile karşı karşıya kalınmaktadır.

Her ne kadar çok değişkenli kontrol grafiklerinde belirtilen bir yorumlama problemi var olsa da, üretimin gittikçe otomatikleşen bilgi kontrollü sistemlerle yapılması, ürün kalitesinin saptanmasına yönelik daha bol miktarda verinin düşük maliyetle toplanması, çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinin kullanımını kolaylaştırmakta ve teşvik etmektedir.

2.3.ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİNDE HATA TEŞHİSİNE YÖNELİK OLAN ÇALIŞMALARLA İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde en çok tartışılan konu, bir önceki kısımda da belirtildiği üzere sinyallerin yorumlanmasıdır. Özellikle son yıllarda bu konu çok değişkenli kontrol grafikleri uygulamalarının odak noktasında yer almaktadır. (Massood ve Hassan, 2010)

Çok değişkenli kontrol grafikleri uygulamalarında, kontrol dışı sinyalin veya hatanın teşhisine yardımcı olabilmesi amacıyla, hem değişkenlerin aynı anda her birinin ayrı ayrı tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmesi gibi uygulamalı, hemde Temel Bileşenler Analizi, Murphy Yaklaşımı, Bonferroni Eşitsizliği, Yapay Zekâ Teknikleri gibi teorik yaklaşımlar bulunmaktadır. Kontrol dışı sinyallerin yorumlanmasını kolaylaştırmak için ortaya konan bu yaklaşımlar, kontrol dışı sinyaller ile bunlara yol açan hata kaynakları arasındaki ilişkiyi sistematik bir biçimde ortaya koymayı hedefler. (Koçer ve Birgören, 2004)

Bu kapsamda çok değişkenli kontrol grafiklerinde meydana gelen kontrol dışı sinyalin yorumlanmasıyla ilgili olarak literatürde yer alan grafiksel ve analitik yöntemlerle yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Ancak yapılan çalışmalar bunlarla sınırlı değildir.

Blazek, Novic ve Scott (1987), çok değişkenli kontrol grafiklerindeki bilgileri yorumlamak amacıyla poligonal kontrol grafiklerinden (*polygonal charts*) yararlanarak bir yöntem önermiştir.

Iglewicz ve Hoaglin (1987), süreçte ortalamada ve varyanstaki kontrol dışı sinyalleri gösteren, Blazek, Novic ve Scott (1987) tarafından önerilen kontrol grafiklerinin tamamlayıcısı olan bir yöntem ortaya koymuştur.

Seder (1990), pozisyon boyut diyagramları ve çok boyut grafiklerini önermiştir ve bu grafiksel yöntemleri kullanmanın çok değişkenli süreçlerde teşhisi kolaylaştıracağını belirtmiştir. Pozisyon boyut diyagramları, parçaların teknik çizimlerini andıran şekiller üzerinde, gözlem alınan noktalardaki ölçümleri gösterir. Çok boyut grafikleri ise birbiriyle ilişkili birden çok kalite değişkenini belli geometrik şekiller oluşturacak şekilde izelgeler. Böylece hata kaynaklarının ürettiği izler kolayca gözlenebilir.

Fuchs ve Benjamini (1994), kontrol dışı sinyalin yorumlanmasıyla ilgili çok değişkenli profil grafiği (*Multivariate Profile (MP) chart*) adıyla yeni bir yaklaşım sunmuş ve içeriğinde Hotelling T^2 kontrol grafiklerindeki noktaların yerine bar çizelgelerini kullanıp, tek değişkenli değerlere ulaşmayı hedeflemişlerdir.

Subramanyan ve Houshmand (1995), çok değişkenli süreci devamlı olarak izlemeyi ve kalite karakteristiklerini sıralı tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlemeyi önermiştir.

Atienza, Ching ve Wah (1998), çok değişkenli kutu T^2 kontrol grafiğini (*the multivariate boxplot T^2 control chart*) önermiştir. Önerilen kontrol grafiği ile süreç ortalama ve varyansındaki değişimi müşterek olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Grafiksel yöntemler doğaları gereği oldukça hantal ve sıkıcı yöntemlerdir. Çünkü bu yöntemlerin sonuçlarının kullanıcılar tarafından objektif bir şekilde yorumlanması gerekmektedir. Bu ise oldukça zor bir durumdur. Bu kapsamda literatürde grafiksel

yöntemlere daha kolay olan analitik yöntemler geliştirilmiştir. Analitik yöntemler ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Alt (1985), Hotelling T^2 grafiklerinde kontrol sınırlarının belirlenmesinin önemine değinmiştir. Bu kapsamda, Bonferroni aralıklarını ($\alpha/2$ yerine $\alpha/2k$) kullanan X kontrol grafiklerini kullanmayı önermiştir.

Jackson (1985, 1991) ve Pignatello ve Runger (1990), sinyallerin yorumlarında temel bileşenler analizini kullanmıştır. Temel bileşenler analizi, T^2 istatistiğinin bağımsız temel bileşenlerinin karelerine parçalanmasıdır (Bakır ve Karaca, 2002). Diğer deyişle bu yöntemde temel bileşenler orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonları olarak ifade edilmekte olup kovaryans matrisi kullanılarak etkileşimli değişkenler, etkileşimsiz (*bağımsız*) değişkenler haline dönüştürülür. T^2 istatistiği orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olan temel bileşenlerin bağımsız karelerine ayrıştırılır. Temel bileşenler analizinde örneklem kovaryansı, S olmak üzere; $|S - \lambda I| = 0$ eşitliği yardımıyla; $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_k$ olmak üzere $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_k]$ özdeğerleri bulunur. Bulunan her bir özdeğer için; $\lambda I - S = 0$ eşitliğinden özvektörler elde edilir. Bu özvektörlerin elde edilmesi ile etkileşimli değişkenler ilişkisiz değişkenler haline dönüştürülür. Aslında temel bileşenler analizi bir eksen rotasyonu işlemidir. Ancak temel bileşenler analizinde kontrol dışı duruma neden olan değişkeni kesin olarak saptamakta yetersiz kalmaktadır. Temel bileşenler analizinde karşılaşılan en önemli sıkıntı, yeni değişkenlerin fiziksel anlamlarının genellikle olmamasıdır. Temel bileşenlerin orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olması sinyal yorumunu zorlaştırmaktadır. Temel bileşenlerle doğrudan ilişkilendirilebilir hata kaynakları varsa bu yöntem, hata teşhisini kolaylaştırmaktadır.

Murphy (1987), kalite vektöründeki değişkenleri sinyale neden olmasından şüphe edilen ve edilmeyen iki kümeye bölmeyi önermektedir. Yaklaşımda, $\overline{X}_j$ vektörü, kontrol dışı sinyale neden olduğundan şüphe duyulan q adet karakteristik ile şüphe duyulmayan ($k-q$) adet şüphe duyulmayan karakteristiğinin bulunduğu iki alt kümeye bölünür. Bu yöntemin iki dezavantajı bulunmaktadır. Önerilen yöntemin birinci dezavantajı, Σ 'nın bilinmesi durumunda kullanılabiliyor olması ve diğer dezavantajı ise uygulamada sezgiyle kontrol dışı durumundaki

karakteristiği belirlemenin kolayca mümkün olmamasıdır. Ayrıca, bu problem k boyutunun da büyümesiyle daha kötüleşecektir.

Doğanaksoy, Faltin ve Tucker (1991), çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyal oluştuğunda, tek değişkenli kontrol grafiklerinden yararlanmayı önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada, T^2 istatistiğini temel alan değişkenleri öncelik sırasına göre değer atamışlar ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyallerinin yorumlanmasında, kontrol grafiklerinde değişken ortalamasının kaydığının belirlenmesinde Bonferroni eşitsizliğinin kullanılmasını önermiştir.

Chua ve Montgomery (1992), Murphy (1987) tarafından yapılan çalışmayı geliştirmiştir.

Hawkins (1993) ve Wade ve Woodall (1993), Hotelling T^2 kontrol grafiklerindeki sinyali tanımlamak için regresyon düzenlemelerini kullanmışlardır.

Wierda (1994), step down sürecini önermiştir. Bu prosedür temel olarak değişkenlerden oluşan alt gruplar arasında öncelikli sıralar olduğunu kabul etmektedir.

Hayter ve Tsui (1994), değişkenlerin ortalaması için ortak bir güven aralığının oluşturulması gerektiği temeline dayalı bir yöntem önermiştir. Hayter ve Tsui (1994)'nın önerdiği yöntem, Alt (1985) tarafından önerilen Bonferroni aralıklarına dayalı yönteme göre daha etkilidir.

Mason, Young ve Tracy (1995), T^2 istatistiğinin bağımsız parçalara ayrılmasına yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Literatürde Mason, Young ve Tracy (1995) tarafından önerilen bu yöntem genellikle araştırmacıların baş harflerinin birleştirilmesi ile oluşan *MYT* ayrıştırması olarak adlandırılır. Literatürde kontrol dışı sinyalin yorumlanması ile ilgili yapılan uygulamalı örneklerde genellikle bu yöntem kullanılmaktadır.

Runger, Alt, and Montgomery (1996), T^2 değerlerinde kayan değişkeni tespit etmek amacıyla farklı bir metrik uzaklık ölçünün kullanımını önermişlerdir.

Sepulveda ve Nachlas (1997), çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinde meydana gelen kontrol dışı sinyalin yorumlanmasına benzetim yolu ile çözümler üretilmesi üzerinde durmuştur. Benzetilmiş minimax kontrol grafiği adını verdikleri bir yöntem

önermişlerdir. Benzetilmiş minimax kontrol grafiklerinde, p adet birbirini etkileyen kalite karakteristiği için, belirlenmiş bir Tip I hata olasılığını sağlayacak biçimde alt ve üst kontrol sınırlarının yerleştirilmesi söz konusudur.

Niaki ve Moeinzadeh (1997) ve Niaki, Houshmand ve Moeinzadeh (2001), Murphy (1987) tarafından yapılan çalışmanın parametrik olmayan halini geliştirmişlerdir ve kontrol dışı sinyale neden olan değişken seçimine yönelik bir algoritma ve istatistik geliştirmişlerdir.

Busby (2001), çok değişkenli kontrol grafiklerindeki kontrol dışı sinyallerin değişken boyutunu azaltmak için çoklu regresyon analizine benzeyen en iyi alt kümeler yaklaşımı önermiştir.

Thomas (2002), çok değişkenli kontrol grafiklerindeki kontrol dışı sinyallerin değişken boyutunu azaltmak için ileriye doğru seçim ve geriye doğru eleme olmak üzere iki yöntem üzerine çalışmıştır. Burada geliştirilen yöntemler, adımsal yöntemler olarak adlandırılmaktadır.

Houshmand ve Golnabi (2003), her bir kalite karakteristiğini kontrol etmek için bilinen Tip I hata olasılığı değerlerine dayalı bir yöntem önermiştir.

Aparisi, Avendaño ve Sanz (2006) tarafından çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyale neden olan değişkenleri sınıflandırmada *MYT* ayrıştırma metodu ile bazı yapay sinir ağı (YSA) modellerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırmının sonunda doğru sınıflandırma yüzdesi olarak YSA modelinin *MYT* ayrıştırma metoduna göre daha iyi sonuçların elde edilebileceği gösterilmiştir.

Montgomery (2013:495), aralarında ilişki bulunan kalite değişkenleri, bağımlılığı dikkate alan çok değişkenli kontrol grafiklerinde takip edildiğinde ve kontrol dışı bir durum tespit edildiğinde, bu duruma neden olan değişkeni bulmak için değişkenlerin tek değişkenli kontrol grafikleri ile takibinin yapılmasının etkili bir yol olduğunu belirtmektedir.

Apley ve Lee (2010), çok değişkenli üretim süreçlerinde meydana gelen değişimin temel nedenlerini bulmak için lineer modellerin kullanıldığı birçok çalışmaların yapıldığını belirtmektedir. Apley ve Lee (2010)'e göre süreçte meydana

gelen değişimin temel nedenlerini bulmak için gerekli olan örneklemin on-line ve off-line süreçlerden toplandığı iki paradigma bulunmaktadır. Birinci paradigmada, değişim örüntü seti, off-line olarak geçmiş veri seti kullanılarak oluşturulmakta ve bir ön model ortaya konmaktadır. Daha sonra on-line bir süreçte oluşturulan bu ön modelin denemesi yapılmaktadır. Diğer paradigmada ise ön modelin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. On-line bir süreçten alınan anlık örneklem yardımıyla süreçteki vektörlerde o andaki değişimin kaynağına neden olan veya olacak herhangi bir örüntünün varlığı aranmaktadır. Apley ve Lee (2010) belirtilen bu iki parametreyi tek bir lineer denklemde birleştirmiş ve $X_i = BU_i + CV_i + W_i$ şeklinde modellemiştir. X_i örneklemini, bir süreçten veya üründen örneklemini alınan kalite fark vektörü, BU_i , ön model oluşturulmuş hata kaynaklarını, CV , ön model oluşturulmamış hata kaynaklarını temsil etmektedir ve $W_i \sim (0, \sigma^2)$ ve b. ö. d.'dir. Ayrıca, bu kapsamda yapılan çalışmaların kaynağı olarak Caglarek, Shi ve Wu (1994), Barton ve Gonzalez-Barreto (1996), Apley ve Shi (1998) ve Jin ve Shi (1999) tarafından yapılan çalışmalar gösterilmektedir. Apley ve Lee (2010) tarafından yapılan çalışmada, ayrıca son zamanda lineer modellerle ilgili Ding, Caglarek ve Shi (2002), Zhou, Ding, Chen ve Shi (2003), Ding, Gupta ve Apley (2004), Apley ve Ding (2005), Ding ve Apley (2007) ve Runger, Barton, Castillo ve Woodall (2007) tarafından yapılan bazı çalışmaların da bulunduğu belirtilmektedir.

Liu ve Hu (2005) tarafından yapılan çalışmada, bir otomobil üretim sürecinin çok kompleks bir süreç olduğu, üretimdeki faaliyetlerin eş zamanlı olarak çeşitli aşamalarda yapıldığı ve her bir aşamada bir çok hata kaynağının (*fixture faults*) meydana geldiği belirtilmiştir. Bu üretim süreciyle ilgili olarak üretimin çeşitli aşamalarında meydana gelen birçok hata kaynağının kolay bir şekilde yorumlanması amacıyla “**Dizayn Edilmiş Bileşimler Analizi (Designated Component Analysis)**” isimli bir yöntem önerilmiştir. Önerilen bu yöntemde hata kaynaklarını temsil eden parametrelerin çeşitli istatistiksel kalite kontrolü yöntemleri (*kontrol grafikleri veya temel istatistiksel kalite kontrol yöntemleri (Shewhart (1931) tarafından ortaya konan ve literatürde muhteşem yedili olarak anılan yöntemler)*) ile izlenebileceği ve hata kaynaklarının teşhisi konusunda en etkili sonucun elde edilebileceği ifade edilmektedir.

Yukarıda yer alan konularla ilgili olarak tartışmaların detayları Lowry ve Montgomery (1995), Kourti ve MacCregor (1996), Mason, Tracy ve Young (1997) ve Bersimis, Psarakis ve Panaretos (2007) tarafından yapılmış çalışmalara bakılabilir.

Bakır ve Karaca (2002), yukarıda yer alan yaklaşımların genel bir değerlendirmesini yapmıştır.

Yukarıda belirtilen yöntemlerin yanında çok değişkenli kontrol grafiklerinde hata tespiti ve teşhisine yönelik yapay zekâ yöntemleri de kullanılmaktadır. Kalite kontrol grafiklerinde hata tespiti ve teşhisine yönelik olarak kullanılan yapay zekâ yöntemlerinden bazıları, genetik algoritmalar, uzman sistemler, bulanık mantık ve YSA gibi yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlardan en fazla kullanılanı ise YSA yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın kalite karakteristiklerinin izlenmesi, kontrol dışı sinyalin tespiti ile teşhisi ve hata kaynağının ortaya konulmasında nasıl kullanıldığı ile ilgili bilgiler ve yapılan çalışmalar tezin üçüncü bölümünde yer almaktadır.

Kontrol dışı sinyalin veya hatanın teşhisine yönelik olarak yukarıda açıklandığı üzere literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin hepsinin birçok avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Ancak günümüze kadar literatürde yer alan bu yöntemlerde, çok değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyalin yorumlanması veya hatanın teşhisi konusunda tam olarak anlayış birliği sağlanamamıştır.

2.4. STTG YÖNTEMİ METODOLOJİSİ

Günümüzde üretim sistemlerinde veri toplanması için otomatik ve yeni teknolojiyle donatılmış sistemler geliştirilmiştir. Otomatik veri toplama araçları ve sayısal analiz yöntemleri çok hızlı ve masrafsız şekilde çok değişkenli ölçüm yapmaktadır ve birçok endüstride üretimdeki ölçüm miktarını çoğaltmaktadır. Örneğin imalat sanayinde, kullanım kolaylığı arttırılmış hassas master ve ölçüm aletleri, üç-boyutlu koordinat ölçüm cihazları, kameralara veya lazer teknolojisine dayalı optik sistemler, bilgisayarla bütünleşik şekilde hata teşhisinde kullanılmaktadır (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996; Espada-Colon ve Gonzalez-Barreto, 1997; Gong, Jwo ve Tang, 1997; Singh ve Gilbreath, 2002). Kamera sistemleri, hem talaşlı hem elektronik imalat fabrikalarında, üç-boyutlu koordinat ölçüm cihazları ise talaşlı imalat fabrikalarında hızla yaygınlaşmaktadır. Bu durum şirketlerin elinde kompleks ve içinde

birçok gizli bilginin bulunduğu çok sayıda veri kümelerini yani kalite karakteristiklerini ortaya çıkarmaktadır.

Günümüzde kalite karakteristiği sayısının ve bu kalite karakteristiklerindeki gözlem sayısının artması geleneksel çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinin etkinliğini sorgular hale getirmektedir. Örneğin bu durumla ilgili olarak Hotelling T^2 kontrol grafiğini ele alalım. Hotelling (1947) tarafından önerilen klasik çok değişkenli T^2 kontrol grafikleri ile Montgomery (2009)'nin belirttiği üzere süreç ortalamasının takibi için birbiriyle ilişkili on ve daha az sayıda değişken takip edilebilmektedir. Dolayısıyla değişken sayısı fazlaştığında klasik çok değişkenli kontrol grafiklerinin kabiliyeti problem kaynaklarını teşhis etmek için düşmektedir.

Hotelling T^2 kontrol grafiği ile sayıca fazla kalite karakteristiklerinin takibinde hem zorlanılmakta, hem de kontrol grafiklerinin performansı düşmektedir. Bu durumda çok değişkenli *EWMA* ve *CUSUM* kontrol grafikleri gibi oldukça etkili yöntemler olmasına rağmen, yükselen değişken sayısı yine de bu kontrol grafiklerinin süreci izleme ve kontrol dışı sinyalleri tespit performansının düşmesine neden olmaktadır. (Runger, Barton, Castillo ve Woodall, 2007:160). Literatürde bu durumlarda yani değişken sayısının fazla olması durumunda temel bileşenler analizi, faktör analizi ve gizil kök gibi yöntemlerin kullanılarak bu sayının azaltılması önerilmektedir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kullanılan faktör analizi yaklaşımı ile ilgili gerekli detaylar Apley ve Shi (1998) ve Lee ve Apley (2004) tarafından yapılan çalışmalarda, temel bileşenler analizi ile ilgili detaylar ise Yang, He ve Xie (1994) ve Ceglarek ve Shi (1996) tarafından yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Ayrıca, değişken sayısı fazla olduğunda kontrol altına alınabilen ve bilinen nedenlere (*anticipated assignable causes*) bağlı kontrol grafiklerinin dizayn edilmesi de önemlidir.

İstatistiksel açıdan ortalama sapmalarını saptama gücü çok yüksek olan çok değişkenli kontrol grafiklerinin diğer taraftan mühendislerce yorumu zordur. Çünkü, T^2 istatistiğinin pratikte bir anlamı yoktur. Son yıllarda T^2 sinyallerini doğru yorumlayarak hata teşhisini kolaylaştırmak için önceki kısımlarda da açıklandığı gibi birçok yöntem geliştirilmiştir (Mason, Chou ve Young, 2001; Stoumbos, Reynolds, Ryan ve Woodall, 2000; Fuchs ve Kenett, 1998). Bu yöntemlerin bir kısmı T^2 grafiklerindeki sinyallerden hangi değişkenlerin sorumlu olduğunu saptamayı

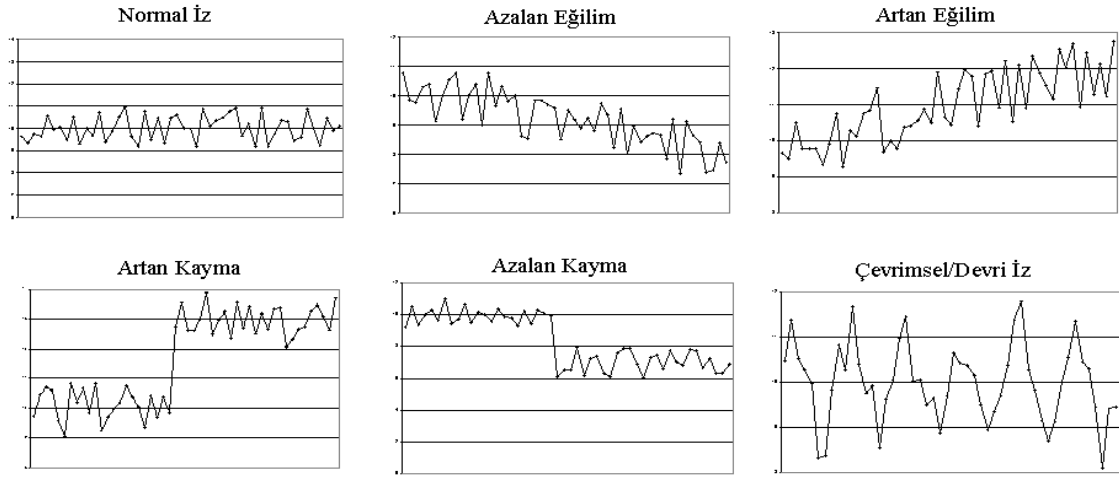
amaçlamaktadır (Murphy, 1987; Doganaksoy, Faltin ve Tucker, 1991; Mason, Tracy ve Young, 1995; Nedumaran ve Pignatiello, 1998; Birgören, 2000; Maravelakis, Bersimis, Panaretos ve Psarakis, 2002). Bu yöntemlerde sinyale etkisi en çok olan değişken ya da değişken grubunun belirlenmesiyle hata kaynağının doğrudan saptanacağı varsayılmaktadır.

Hata kaynaklarının belli değişkenleri doğrudan etkileyeceği varsayımı her zaman doğru değildir ya da belli değişkenler süreçteki hata kaynaklarının sadece bir kısmının etkilerini açıklayabilir. Bu varsayımın geçerli olmadığı durumlarda, süreçteki hata kaynaklarının çok değişkenli gözlemlerde ne tür izler bırakacağı süreç uzmanlığına dayanarak belirlenip bu izlerin saptanmasına yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Bu izler, değişken ortalamalarının belli yönlerde sapması şeklinde (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996, Birgören, 2000, Espada-Colon ve Gonzalez-Barreto 1997; Birgören, 2000; Maravelakis, Bersimis, Panaretos ve Psarakis, 2002; Apley ve Lee, 2003) ya da T^2 sinyallerinin kontrol grafiklerinde meydana getirdiği Grafik 2.1'dekine benzer izler (*örüntüler*) şeklinde (Mason, Chou, Sullivan, Stoumbos ve Young, 2003) olabilmektedir. Genellikle bu çalışmalar zaman boyunca değil, sadece bir parçadan alınan gözlemlerde oluşan izler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda bir parça üzerinde aynı kalite karakteristiğinin çoklu ölçümleri alınıp bir kalite vektörü oluşturulmuş bir çok örnekleri literatürde bulunmaktadır. Bu parçanın göstergesi olarak bu ölçümlerin birleştirilmesi sonucu oluşturulan bu, kalite vektörüdür. Bu çalışmalara örnek olarak, Can ve Zhou (1993) ve Avis ve Classen (1995) tarafından yapılan çalışmalar gösterilebilir.

Üretilmiş bir parçanın yüzeyindeki hata örüntüleri ile süreç hataları arasında ilişki kurma, kalite vektörünü temsil ederek parçaların üzerinde gözlemlenen hata örüntülerini teşhis etmek için bir yol sağlar. Süreçteki değişkenliğin veya yanlılığının her potansiyel nedeni için bir hata izini tanımlamanın mümkün olduğu kabul edilir. Bu bilgiler süreç bilgisinden, süreç hatalarının derin bir şekilde tanıtılan deney tasarımıyla ya da simetri/asimetri örüntülerden elde edilir (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996). Bu kapsamda, Apley ve Lee (2003), Apley ve Shi (2001) ve Jin ve Zhou (2006) geçmişte birikmiş verilerde örüntü izlerinin tanımlanması için metodlar önermişlerdir. Ding, Gupta ve Apley (2004), Huang ve Shi (2004) ve Jin ve Zhou (2006) ise gözlemlenen

kalite vektörünün örneklem kovaryans matrisini kullanarak hata izlerini tanımlamak için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir.

Bu konu üzerine yapılan araştırmalar, çok değişkenli verilerde oluşan bazı örüntülerle problem kaynakları arasında doğrudan bağlantılar olmasından hareket etmişlerdir.

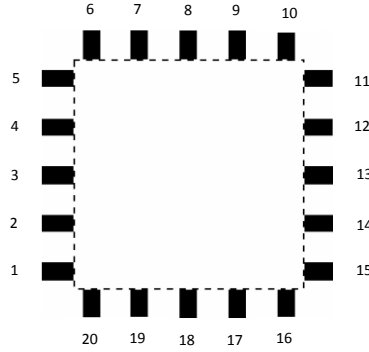


Kaynak: Orçanlı K., Oktay E. ve Birgören B. (2015). “Çok Değişkenli Kontrol Kartları Örüntü Tanıma Literatüründe Bir Araştırma”, Social Sciences Research Journal, 4(2), 23-42.

Grafik 2.1: Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Oluşan Tipik Örüntü Örnekleri

Yukarıda sözel olarak açıklanan hususları daha somut olarak ortaya koymak amacıyla literatürden bir örnek verilecektir.

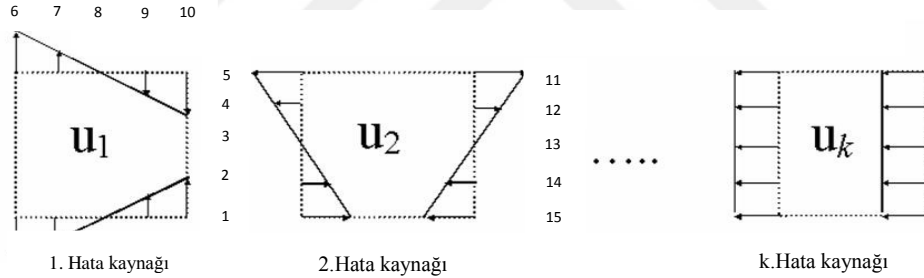
Espada-Colon ve Gonzalez-Barreto (1997), baskılı devre kartlarına lehim baskı sürecinde bu tür izlerin nasıl oluştuğunu incelemiştir. **Şekil 2.1**, bir baskılı devre kartındaki lehim pozisyonlarını göstermektedir. Burada kalite değişkenleri, her pozisyondaki lehim miktarlarının hedef değerden farklarıdır. Kalite vektörü ise $X=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{20})$ 'dir. Kalite vektöründe negatif değerli bir x 'in olması, hedef değerden az olduğunu, pozitif değerli bir x 'in olması, hedef değerden fazla olduğunu gösterir.



Kaynak: Espada Colon, H. I. ve Gonzalez-Barreto, D. R., (1997). "Component Registration Diagnosis for Printed Circuit Boards using Process-Oriented Basis Elements", Computers and Industrial Engineering, 33, 389-392.

Şekil 2.1: Baskılı Devre Kartında Lehim Pozisyonları

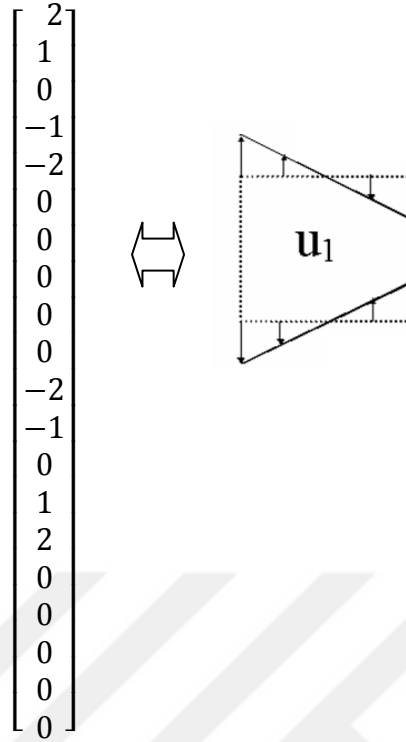
Baskılı devre kartında toplam yirmi lehim pozisyonu bulunmaktadır. Her pozisyondaki lehim miktarı kamera ile ölçülmektedir. Kalite değişkenleri, ölçülen miktarların hedef değerden farkları şeklinde tanımlanmıştır. Bir parça üzerinde oluşan örüntüler ve bunlara neden olan hata kaynakları, süreç uzmanlarıyla yapılan mülakatlar ve veri analiziyle ortaya çıkarılmıştır. Bu izler **Şekil 2.2**'de gösterilmiştir:



Kaynak: Espada Colon, H. I. ve Gonzalez-Barreto, D. R., (1997). "Component Registration Diagnosis for Printed Circuit Boards using Process-Oriented Basis Elements", Computers and Industrial Engineering, 33, 389-392.

Şekil 2.2: Baskılı Devre Kartında Oluşan Hata Kaynakları

Her pozisyondaki sapma, sapmanın negatif ya da pozitif yönde olmasına göre içeri ya da dışarı bir okla gösterilmiştir. Ok uzunlukları sapmanın miktarı ile orantılıdır. Ardından izin belirginleşmesi için ok uçları doğru parçalarıyla birleştirilmiştir. **Şekil 2.3**'de, 1. hata kaynağı ile ilişkili izin bir vektörle nasıl ifade edileceğini de gösterilmektedir.



Kaynak: Espada Colon, H. I. ve Gonzalez-Barreto, D. R., (1997). "Component Registration Diagnosis for Printed Circuit Boards using Process-Oriented Basis Elements", Computers and Industrial Engineering, 33, 389-392.

Şekil 2.3: Baskılı Devre Kartında Oluşan İzlerin Vektörde Gösterimi

Hata kaynaklarının vektördeki değerlerin göreceli büyüklükler olması önemlidir. Bu süreçte hata kaynaklarıyla doğrudan ilişkili k adet yön saptanmıştır. Gözlenen kalite vektöründe bu yönlerde bir sapmanın tespit edilmesi, ilişkili hata kaynağına doğrudan işaret edecektir (u_2 yönü için 2. hata kaynağı gibi). Bu amaçla geliştirilen yöntemler arasında regresyonla kalite vektörünün yönler cinsinden çözümlenmesi (*STTG-process oriented basis representation*) (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996, Espada-Colon ve Gonzalez-Barreto, 1997), çok değişkenli uzayda yönlerle ilişkili kontrol bölgeleri tanımlanması (Birgören, 1998) ve T^2 sinyalinin Scheffe tipi aralıklarla çözümlenerek anlamlı sapma yönlerinin bulunması (Birgören, 2000) sayılabilir.

2.4.1. Süreç Tabanlı Temel Gösterimler Yöntemi'nin Temelleri

STTG yöntemi, Barreto ve Barton (1996) tarafından geliştirilmiş istatistik tabanlı çok değişkenli bir süreç teşhis yöntemidir. (Birgören, 1998; Birgören, 2004: 19; Colon, 1998: 3; Padilla, 2005: 9). Bu yöntem;

- Çok değişkenli verilerde oluşan desenleri saptamak amacıyla geliştirilmiştir.
- Çoklu doğrusal regresyona dayanmaktadır.
- Üretim süreçlerindeki özel nedenlerin kalite vektörü üzerinde oluşturduğu örüntülerle bağlantı kurarak ürün performansındaki değişkenliğin en muhtemel sebeplerini tanımlar.

STTG yöntemi, 1950 yılında Seder tarafından ortaya konan pozisyon boyut diyagramları ile çok boyut çizelgelerine dayanmaktadır. Pozisyon boyut diyagramları, parçaların teknik çizimlerini andıran şekiller üzerinde, gözlem alınan noktalardaki ölçümleri gösterir. Çok boyut çizelgeleri ise, birbiriyle ilişkili birden çok kalite değişkenini belli geometrik şekiller oluşturacak şekilde çizelgeler, böylece hata kaynaklarının ürettiği izler kolayca gözlenebilir.

STTG yönteminde bir ürüne ait çok değişkenli kalite karakteristikleri vektörünün hedef değere göre sapmaların oluşturduğu örüntü, birbirine göre bağımsız hata kaynaklarının hedef değere göre oluşturduğu örüntülerin cebirsel toplamına eşit olduğu mantığına dayanır. Dolayısıyla her bir hata kaynağının oluşturduğu örüntünün standart bir temel vektörü bulunmaktadır. Bu nedenle STTG yönteminde önerilen matematiksel modellere girmeden önce standart temel vektör, bağımsız–normal vektör ve vektörlerin bağımsızlığı kavramlarının açıklanmasında yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

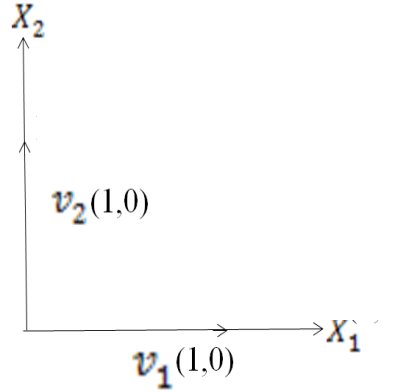
2.4.1.1. Standart Temel Vektör, Doğrusal Birleşimler (*Kombinasyonlar*) ve Vektörlerin Bağımsızlığı Kavramları

Standart temel vektör, doğrusal birleşimler (*kombinasyonlar*) ve vektörlerin bağımsızlığı kavramları iki boyutlu bir kartezyen koordinat düzlemi yani iki değişkenli bir uzayda anlatılmaya çalışılacaktır.

2.4.1.1.1. Standart Temel Vektör

Grafik 2.2'de olduğu gibi X_1 ve X_2 eksenleri üzerinde sırasıyla v_1 ve v_2 noktaları verilmiş olsun. Bu noktaları vektör olarak göstermek istersek, $v_1(1,0)$ ve $v_2(0,1)$ vektörleri şeklinde gösterilir. Yani, herhangi bir boyutta verilen kartezyen eksenler vektörler ile gösterilebilmektedir. Bu durumu k boyutlu bir uzayda genelleyecek

olursak; gösterim şekli $v_1, v_2 \dots v_k$ gibi olur. Bu vektörlere "**standart temel vektörler**" adı verilmektedir (Sharma, 1996:24-25).

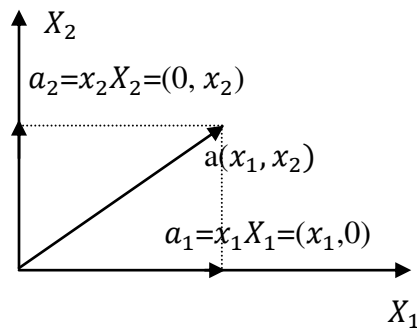


Grafik 2.2:Standart Temel Vektör

Burada $|v_1|=1$, $|v_2|=1$ ve v_1 ve v_2 vektörleri arasındaki açı 90° 'ye eşit olmaktadır. Birim uzunlukta ve birbirine dik vektörlere de "**bağımsız-normal vektörler**" adı verilmektedir.

2.4.1.1.2. Doğrusal Birleşimler (*Kombinasyonlar*)

R^2 'deki her nokta veya vektör temel vektörün doğrusal bileşimi olarak gösterilebilir. **Grafik 2.3**'de gösterildiği gibi a_1 ve a_2 vektörleri, x_1 ve x_2 temel vektörlerinin sırasıyla x_1 ve x_2 skaler değerleriyle çarpılması ile elde edilen iki vektördür.



Grafik 2.3:Doğrusal Birleşimler (Kombinasyonlar)

$$a_1 = x_1 X_1 = (x_1, 0)$$

$$a_2 = x_2 X_2 = (0, x_2)$$

(2-1)

yukarıdaki iki vektörün toplamı bitiş noktası A olan yeni bir vektördür.

$$a = a_1 + a_2 = a_1 x_1 + a_2 x_2 = (x_1, 0) + (0, x_2) = (x_1, x_2)$$

(2-2)

Diğer bir anlatımla a vektörü iki temel vektörün ağırlıklı toplamı olarak hesaplanmaktadır. Ağırlıklar (x_1 ve x_2) x_1 ve x_2 eksenlerine göre A noktasının koordinatları olarak adlandırılır. Ayrıca ağırlıklar A noktasını gösteren a vektörünün bileşenleri olarak da adlandırılır. Ağırlıkların toplamı doğrusal kombinasyonları göstermektedir. Yani a vektörü temel vektörlerin doğrusal bileşimidir. Burada a_1 ve a_2 vektörleri a vektöründen x_1 ve x_2 eksenleri üzerindeki izdüşümleri ile elde edilmektedir. izdüşümü vektörlerin büyüklüğü, aynı zamanda ayrı ayrı x_1 ve x_2 eksenleri üzerinde koordinatları sırası ile x_1 ve x_2 olan a vektörünün bileşenleridir. Genel olarak k boyutlu bir uzayda herhangi bir vektör temel eksenlerin doğrusal bileşimi olarak ifade edilebilmektedirler. Yani $a(x_1, x_2, \dots, x_k)$ olarak verilen bir vektör aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Yani;

$$a = x_1 X_1 + x_2 X_2 + \dots + x_k X_k \quad (2-3)$$

2.4.1.1.3. Vektörlerin Bağımsızlığı

İki boyutlu bir kartezyen koordinat sistemi, sırasıyla $v_1(1,0)$ ve $v_2(0,1)$ gibi iki bağımsız–normal vektörler tarafından gösterilebilmektedir. v_1 ve v_2 vektörlerinin doğrusal bileşimi ile gösterilen bir $a(x_1, x_2)$ vektörünü düşünelim. Yani,

$$a = x_1 v_1 + x_2 v_2 = x_1(1,0) + x_2(0,1) = (x_1, x_2) \quad (2-4)$$

Burada x_1 ve x_2 sırasıyla X_1 ve X_2 eksenlerinin koordinatlarını göstermektedir. Bu üç vektörden (a, v_1, v_2) birisi diğer iki vektörün doğrusal birleşimi olarak gösterilebilirse, bu vektörler "**birbirleriyle doğrusal olarak bağımlıdır**" denir. Diğer taraftan, örneğin v_1 ve v_2 vektörlerinden birisi diğeri cinsinden doğrusal olarak ifade edilemezse, iki vektörün birbirinden doğrusal olarak bağımsız olduğunu gösterir. Benzer şekilde, a ve v_1 vektörleri gibi a ve v_2 vektörleri birbirinden doğrusal olarak bağımsızdırlar. Genel olarak $a_1, a_2, \dots, a_k$ gibi bir grup vektörden herhangi biri diğerinin veya diğerlerinin doğrusal bileşimi olarak gösterilemiyorsa, bu vektörün veya vektörlerin doğrusal bağımsız olduğunu gösterir (Sharma, 1996:30-31).

2.4.1.2. STTG Yöntemine Matematiksel Bakış

STTG yöntemi, bir süreçte özel nedenlerin çok değişkenli kalite vektörü x üzerinde bilinen örüntüler oluşturduğu durumlarda regresyon analizi gibi tekniklerle kalite vektöründe hangi özel nedenlerin etkili olduğunu ortaya koymayı amaçlar.

x , kalite vektörü üzerinde hata kaynaklarının oluşturduğu sapmalardan oluşan örüntü matrisini, A , hata matrisini, a_i , A hata matrisinin i 'nci sütunu i 'nci özel nedenin oluşturduğu örüntüyü veya hata vektörünü, k , bir süreçte tespit edilen hata sayısını $i=1,2,...,k$ ve m ise değişken sayısını temsil etsin. Dolayısıyla k adet hata kaynağının oluşturduğu A hata matrisi, $A=[a_1|a_2|...|a_k]$ şeklinde ve her bir hata ise a_i şeklinde gösterilir. Burada $\{a_1,a_2,...,a_k\}$ 'e süreç tabanlı temel elemanlar denir. Kalite vektörü üzerinde oluşan x örüntü vektörünü bağımlı değişken ve A hata matrisinin her bir elemanını veya süreç tabanlı temel elemanı bağımsız değişken olarak kabul edersek STTG yönteminde matematiksel modeller hata matrisindeki satır ve sütun sayısına bağlı olarak **denklem (2-5)** ve **denklem (2-6)** şeklinde kurulmaktadır.

$$x=Az \quad (2-5)$$

veya

$$x=Az+\varepsilon, \varepsilon \sim (0, \sigma^2) \text{ b.ö.d} \quad (2-6)$$

Denklem (2-5) ile **denklem (2-6)**'daki z 'ler hata kaynağının büyüklüğünü temsil etmektedir ve STTG katsayıları olarak adlandırılır. **Denklem (2-5)**'deki parametreler basit lineer denklem çözümü ile ve **denklem (2-6)**, parametreler ise en küçük kareler yöntemi ile elde edilmektedir. Söz konusu iki model çözümlenerek z 'ler yani STTG katsayıları elde edilmektedir.

Hata matrisinin satır ve sütunları yani çok değişkenli kalite vektöründeki değişken sayısı ile hata sayısı eşit ise yukarıda belirtilen matematik modelden **denklem (2-5)** kullanılır. Eğer hata kaynak vektörleri veya STTE'ler birbirinden bağımsız veya ortogonal ise söz konusu birinci matematiksel model $x=z_1a_1+z_2a_2+...+z_ka_k$ şeklinde kurulmaktadır. Hata matrisinin satır sayısı sütun sayısından büyükse **denklem (2-6)**'de yer alan matematiksel model kullanılır. Ancak genellikle kalite vektörü boyutu özel neden sayısından büyük olduğu için daha çok bu matematiksel modellerden

denklem (2-6)'da yer alan matematiksel model kullanılır. Literatürde hata terimi vektörü ε için $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ve bağımsız, özdeş, dağılmış (*b.ö.d.*) varsayılmıştır.

Denklem (2-6)'de yer alan matematiksel modelde a_i 'ler bilinen özel nedenleri modellediğinden hata terimi genel nedenler ile süreç üzerinde az veya hiç etkisi olmayan ve bilinmeyen diğer özel nedenleri temsil eder.

Yukarıda sözel olarak açıklanan yöntem matematiksel olarak şu şekilde açıklanabilir.

Bir ürünlerdeki çoklu ölçüm değerlerinin sürecin sonunda ulaşılması istenen hedef değerlerden sapmalarından oluşan çok değişkenli kalite vektörü x , STTE matrisi A ve STTG katsayıları z ile gösterilecek olunursa yöntemle ilgili **denklem (2-5)** ile **denklem (2-6)**'da yer alan iki adet matematiksel model önerilmektedir. **Denklem (2-5)**'de yer alan matematiksel model $x=ZA$ ve **denklem (2-6)**'da yer alan matematiksel model ise $x=ZA+\varepsilon$ dir. Burada $\varepsilon \sim (0, \sigma^2)$ ve *b.ö.d.*'dir. STTE hata matrisindeki kalite değişken sayısı ile STTE sayısının eşit olup olmamasına göre STTG katsayılarının hesaplanmasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Kalite değişkeni sayısı temel eleman sayısına eşit (**denklem (2-5)**) ise STTG katsayıları yani z 'ler basit lineer eşitlik yardımıyla yani $z=(A)^{-1}x$ çözümü ile bulunur. Eğer STTE hata matrisinin satır sayısı sütun sayısından büyükse (**denklem (2-6)**) bu durumda ise STTG katsayıları, $z=(A'A)^{-1}A'x$ çözümü ile çözülmektedir. Fakat STTE hata matrisinin satır sayısı sütun sayısından küçük olması durumunda belirtilen çözüm yaklaşımları ile STTG katsayıları hesaplanamamaktadır.

STTG yöntemi literatüründe **denklem (2-5)** ve **denklem (2-5)**'lerde yer alan matematiksel modeller bulunmaktadır. m 'yi kalite vektöründeki kalite değişken sayısı ve k 'yi hata kaynağı sayısı olarak kabul edersek $m < k$ durumu yani kalite değişken sayısının hata kaynağı sayısından az olması durumunda literatürde çözüm yolu veya uygulamaya yönelik yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. $m < k$ durumunda kullanılabilecek yol olarak değişken seçimi kavramı ortaya çıkmaktadır.

Çok değişkenli regresyon çözümlemesinde, modeli oluşturan bağımsız değişkenlerden bazılarının modele katkısı önemsiz olabilir. Bu nedenle bağımlı değişkeni en uygun şekilde açıklayacak bağımsız değişkenlerin belirlenmesi ve önemsiz değişkenlerin modelden çıkarılması gerekir. Bu süreçte değişken seçimi denir. Değişken

seçimi için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri adımsal regresyon yöntemleridir. Adımsal regresyon yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler uygulama bölümünde verilmiştir.

Yukarıda açıklandığı üzere temel elemanları temsil etmek üzere eğer konuyu basit bir cebir işlemi olarak düşünecek olursak x vektörünün her bir bileşeni birbirinden bağımsız temel elemanlar oluşturmaktadır. Bu durumda x vektörü, bağımsız temel elemanların toplamından oluşur ve $x=a_1e_1+a_2e_2+a_3e_3+.....,a_ke_k$ şeklinde olur. Burada temel elemanlar yani e 'ler $(1,0,0,.....,0)$, $(0,1,0,.....,0)$, $(0,0,1,.....,0)$,..... $(0,0,0,.....,1)$ şeklinde alabiliriz. Ancak temel elemanların bu şekilde alınması problemin çözümü için yeterli olmamaktadır. Çünkü temel elemanların bağımsızlığı sağlanmıştır ancak her temel vektör sadece bir kalite karakteristiğini temsil etmektedir. Bu temel elemanlar yerine çok değişkenli kalite vektörünü temel eleman olarak temsil eden temel elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu durumda temel elemanları göstermek amacıyla Barton ve Gonzalez (1996) tarafından önerilen temel eleman hesaplama yönteminin değeri ortaya çıkmaktadır.

Buraya kadar STTG yönteminin mantığı ve kullanılan matematiksel modeller anlatılmaya çalışılmıştır. Özet olarak ele alınması gerekirse STTG metodolojisinin uygulama adımları aşağıya çıkarılmıştır. STTG metodolojisinin grafiksel olarak anlatımı ise **Şekil 2.4**'de yer almaktadır.

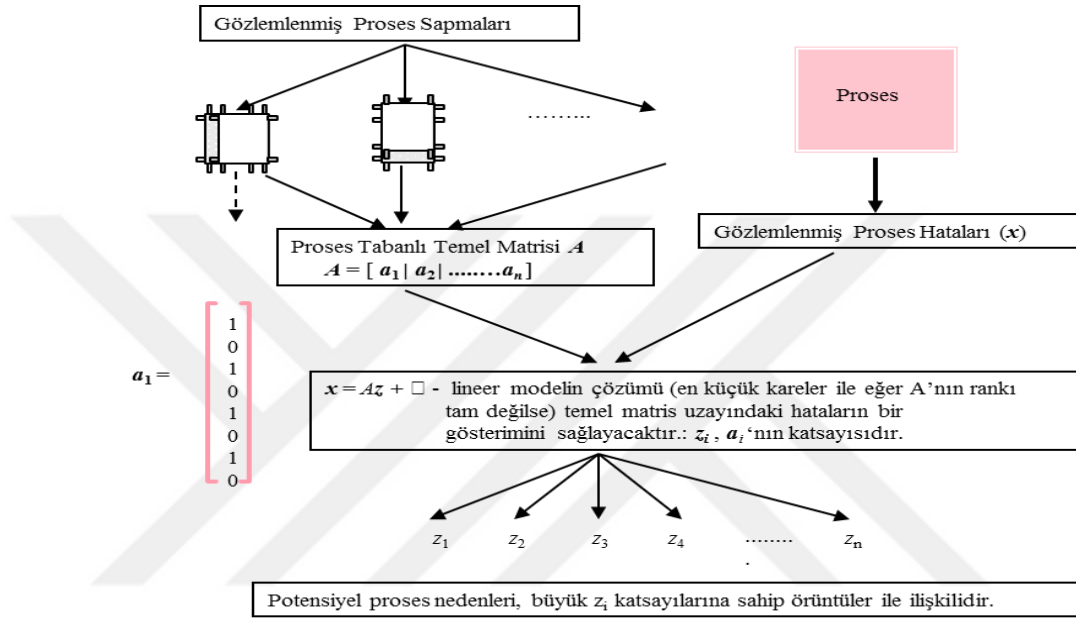
1. Adım: Kesin süreç problemleri belirlenir. Her farklı süreç problemi, a_1, a_2, a_k olarak adlandırılır. Her bir a vektörü bir adet hata kaynağını temsil eder ve bunlar süreç tabanlı temel elemanlardır. Daha sonra STTG metodolojisine uygun olarak süreç tabanlı temel elemanları birleştirilerek hata kaynağı matrisi yani temel elemanlar matrisi oluşturulur.

2. Adım: m elemanlı x kalite vektörünü oluşturmak için tek bir ürün için benzer ölçüm seti bulunur.

3. Adım: 2. adımda elde edilen x kalite vektörü bağımlı değişken ve 1. adımda elde edilen süreç tabanlı temel elemanları (hata kaynakları) açıklayıcı (bağımsız) değişkenler olarak ele alınır ve bunlara sıradan en küçük kareler yöntemi uygulanır. Bu sayede $x=Az+\varepsilon$ şeklindeki basit çoklu doğrusal regresyon yöntemi çözülür ve regresyon

katsayıları elde edilir. Burada elde edilen regresyon katsayıları STTG katsayıları olarak adlandırılır.

4. Adım: STTG katsayıları tek veya çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenir ve süreç hakkında karar verilmeye çalışılır. Eğer kontrol dışı sinyal tespit edilirse uygun ayrıştırma yöntemi ile hata kaynağı hangi STTG katsayısı veya katsayı gruplarından kaynaklandığı bulunmaya çalışılır.



Şekil 2.4: STTG Yönteminin Özet Olarak Grafiksel Gösterimi

2.5. STTG YÖNTEMİNİN YARARLARI

STTG yönteminin üretim süreçlerinde yapılan kalite kontrol uygulamaları kapsamında sağladığı yararlar Schmitt, Marcus ve Barton (2002) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir ve bu çalışmada, simülasyon ile temel bileşenler analizi ile STTG yöntemi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda STTG yönteminin temel bileşenler analizi yönteminden üstün olduğu ortaya konulmuştur. Bu karşılaştırmaya dayanarak Schmitt, Marcus ve Barton (2002) STTG yönteminin yararlarını dört ana başlıkta toplamıştır. Bu kapsamda STTG yönteminin sağladığı yararlar şunlardır.

- STTG yöntemi, çok sayıdaki birbiriyle ilişkili çok değişkenli verileri daha az boyuta indiren ve onları anlamlı bir hale sokan bir yöntemdir. Bu sayede süreçte meydana gelen kontrol dışı sinyali yorumlayacak hata teşhisi süreç uzmanları veya

mühendisler açısından daha basit hale gelmektedir (Barreto ve Barton, 1996; Schmitt, Marcus ve Barton, 2002; Birgören, 1998).

- Bir süreçte tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile sürecin davranışı veya değişkenlik durumu izlenebilmektedir. Ancak, süreçte kontrol dışı bir durum oluştuğunda hata kaynaklarının tespiti için başka analitik yöntemler gerekmektedir. Ayrıca, çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenen değişken sayısı onun üzerine çıktığında kontrol grafiklerinin etkinliği azalmaktadır (Montgomery, 2013:518). STTG yöntemi, belirtilen bu iki duruma bir çözüm olarak kullanılabilir.

- Barton ve Barreto (1999)'ya göre STTG yönteminde, bir sürecin davranışını anlamak ve izlemek için diğer istatistiksel kalite kontrolü yöntemlerine göre daha az çaba harcanır.

- Apley ve Shi (2001)'e göre STTG yönteminde, kontrol dışı sinyalin arkasında yatan hata daha kolay teşhis edilebilir.

- STTG yönteminde bir süreçte meydana gelen kontrol dışı sinyali yönetme ve kontrol dışı teşhis ile ilgili maliyetler diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Çünkü süreçte meydana gelen hata kaynakları önceden belirlendiğinden dolayı gayret ve çabalar önceden belirlenen hata kaynaklarına yönelmektedir. Dolayısıyla bütün hata kaynakları ile ilgilenme yerine sadece belirlenen hata kaynakları ile ilgilenildiğinden maliyet düşmektedir.

2.6. STTG YÖNTEMİNİN SINIRLILIKLARI

Klasik tek değişkenli süreç kontrol teknikleri, STTG metodolojisinde kullanılmaktadır. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde, süreç değişkenlerini izlemek yerine en küçük kareler yöntemi sonucunda elde edilen STTG katsayıları izlenmektedir. Ancak STTG katsayılarının çok değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili prosedürler uygulanacak olması durumunda üç önemli problem bulunmaktadır. (Birgören, 1998:2)

Birinci problem, STTG katsayılarının çok değişkenli normal dağılımı varsayımını sağlayıp sağlamadığı ile ilgili problemdir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde izlenecek olan değişkenlerin çok değişkenli normal dağılımı varsayımını sağlaması gerekir. Burada STTG katsayıları birlikte çok değişkenli normal dağılımı varsayımını sağlaması konusunda bir garanti yoktur. Bu nedenle STTG katsayılarını çok

değişkenli kontrol grafikleri ile izlemek için parametrik olmayan yöntemler önerilmiştir (Birgören, 1998:2).

İkinci problem çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenen STTG katsayılarıyla ilgili yorumlama problemidir. Her ne kadar normal olarak geçmişten günümüze kontrol dışı sinyalin yorumlanmasıyla ilgili ve bu bölümün ikinci kısmında anlatılan bazı yöntemler olsa da, kesin bir çözüm elde edilememektedir. Barton ve Barreto (1996) tarafından yapılan çalışmada, STTG katsayıları tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu katsayıların çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenilebileceği belirtilmiştir. Ancak, Birgören (1998), genel bir eksiklik olarak bu katsayıların çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenilebileceği ile ilgili tam olarak açık olmadığını belirtmektedir. Bu durumda parametrik olmayan yöntemlerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Üçüncü problem, ortaya konan hata vektörleri yani temel elemanlar arasındaki çoklu bağlantı sorunudur (Birgören, 1998:2). Çoklu bağlantı ortaya çıktığında, eğer çoklu doğrusallık tam ise STTG katsayıları belirsiz olup bunların standart hataları sonsuzdur. Eğer çoklu doğrusallık tamdan az ise, STTG katsayıları belirlenebilmekle beraber katsayılara oranla büyük standart hatalar taşırlar. Bu da, katsayıların büyük bir doğruluk veya kesinlikle tahmin edilememeleri anlamına gelir (Gujarati, 1995:322). Barton ve Barreto (1996), Espada-Colon ve Gonzalez-Barreto (1997), Padilla (2005) söz konusu problemin STTG metodolojisinde nasıl halledilebileceğini göstermiş ve yöntemleri açıklamıştır. Açıklanan bu yöntemlerin detayları müteakip kısımlarda çoklu doğrusallık durumunun ortadan kaldırılması ile ilgili yöntemler kısmında anlatılmıştır.

2.7.STTG YÖNTEMİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

STTG yöntemi, ilk olarak Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) tarafından ortaya atılmıştır. Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) tarafından yapılan çalışmada, STTG yöntemi elektronik sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Çalışmada, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan STTG katsayılarının her biri tek değişkenli kontrol grafiği ile izlenmiştir.

Birgoren (1998) çoklu bağlantı problemini çözmek için STTG için çözüm uzayının sınırlandırılması (*Constrained Space Solution (CSS)*) stratejisini geliştirmiştir. Bu teknik, izlenen sürecin fiziksel özellikleri ile tutarlı bir çözümü ortaya koyan

regresyon katsayıları için çözüm uzayını sınırlamaktadır. Birçok süreçte STTE'ler ile tutarlı olan süreç hatalarının büyüklüğü için ulaşılabilir en yüksek seviye mühendislerce belirlenebilir. Çözüm uzayının sınırlandırılması tekniği bu STTG katsayılarını alttan veya yukarıdan veya her iki yönden daraltmak için bu en yüksek hata seviyelerini kullanır. Bu nedenle, STTG katsayıları için uygun alanda eşit olmayan kısıtlara maruz kalır.

Colon (1998) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde, STTG yönteminin Printed Circuit Boards'da uygulanabilirliği gösterilmiştir. Çalışmada, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan STTG katsayılarının her birini tek değişkenli kontrol grafiği ile izlemiştir.

Foster (2002) tarafından yapılmış olan doktora tez çalışmasında, STTG yöntemini bir işletmeye ait dağıtım zincirinde dağıtım esnasında karşılaşılan engelleri modellemek için uygulanmıştır. Ayrıca söz konusu dağıtım sürecinin yeterliliğinin ölçümü için STTG yöntemine dayalı bir yeterlilik indeksi önermiştir.

Schmitt, Marcus ve Barton (2002) tarafından yapılan çalışmada, STTG yönteminin etkili bir boyut indirgeme metodu olduğu gösterilmiştir. Çalışmada, STTG yöntemi bir örnek üzerinde yapılan simülasyon çalışması ile temel bileşenler analizi ile karşılaştırmış ve çalışmanın sonunda elde edilen ortogonal temel bileşenlerin anlamlılığı açısından STTG yönteminin daha üstün bir yöntem olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca aynı çalışma, STTG yönteminin yararlılıklarını genelleyerek literatüre kazandırmıştır.

Foster, Barton, Gautam, Truss ve Tew (2005) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli bir sürecin yeterliğini ortaya koymak için çok değişkenli yeterlilik ölçüsü önermiştir. Çalışmada, Gonzalez ve Aviles (1995) ve Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) tarafından ortaya konan STTG yöntemi kullanılmıştır. Klasik tek değişkenli süreç yeterlilik indekslerin yalnızca süreçlerin kontrol altında olduğunu belirttiği ancak kontrol dışı kaynağın hangi sebepten kaynaklanmadığını belirtmektedir. Bu güçlüğü gidermek için STTG yönteminin kullanılması gerektiği önerilmiştir. Bu yöntemin özellikle çok sayıda ve farklı kalite karakteristikleri olduğunda kullanılmasında daha yararlı olduğu belirtilmektedir. Söz konusu yöntem, iki farklı endüstri alanındaki süreçlerde uygulanmış ve uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Birgören (2004) tarafından 1998 yılında yaptığı tez çalışmasında çok değişkenli kalite kontrolünde problem teşhisi için önerdiği STTG yöntemi için çözüm uzayının sınırlandırılması isimli yöntemi ortogonal olmayan STTE'ler arasında ciddi derecede çoklu bağlantı problemi olduğunda oldukça etkin sonuçlar verdiğini göstermiştir ve bir örnek ile uygulamasını yapmıştır.

Bir süreçte üretilen nihai ürünün performans değerinin istenilen düzeyde olup olmadığı kalite değişkenleri ile ilgili ölçümlere dayanmaktadır. Kalite değişkenleri değerlerinin güvenilir ölçümü ise literatürde genellikle iki yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntemler, tekrarlanabilirlik (*repeatability*) ve tekrar üretebilirlik-tekrarlanabilirlik (*reproducibility*) yöntemleridir. İkisi beraber düşünüldüğünde söz konusu yöntem İngilizce de "*The gauge repeatability and reproducibility (GR&R)*" yer almaktadır. Tekrarlanabilirlik (*repeatability*), bir kalite karakteristiğinin ölçümünde bir değerlendirici tarafından bir ölçüm aleti ile birçok defa ölçülerek elde edilen ölçüm değerlerindeki değişkenliği; tekrar üretebilirlik veya tekrarlanabilirlik (*reproducibility*), bir kalite karakteristiğinin ölçümünde farklı değerlendiriciler tarafından aynı ölçüm aleti ile yapılarak elde edilen ölçüm değerlerinin değişkenliği olarak ifade edilmektedir. Literatürde, genel olarak bu yapılan ölçümler tek kalite karakteristiği ile ilgili değerler elde edilmektedir. Çok değişkenli kalite karakteristiklerinin eşanlı ölçülmesi ve değerlendirilmesini inceleyen araştırmalar oldukça azdır. Wang ve Chen (2001) tarafından STTG yöntemine dayalı olarak bu kapsamda bir çalışma yapılmıştır. Önerilen yöntemin literatürde ANOVA yöntemi ile temel bileşenler analizi yöntemine dayalı olarak yapılan yöntemlerden daha üstün sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir.

Padilla (2005) ortogonal olmayan süreç tabanlı temel elemanlara dayalı STTG katsayılarını sıradan en küçük kareler, bağımsız alt gruplar, basit regresyon, ridge regresyon ve sınırlı çözüm uzayı yöntemi ile elde ederek en küçük hata kareler (*the lower Square Error (SE)*) ve güven aralığı yöntemine (*higher number of times the coefficient is between a confidence interval (Count)*) göre karşılaştırmasını yapmıştır. Karşılaştırma ile ilgili sonuçlardan ortogonalliğin araştırılması ve giderici tedbirlerle ilgili teorik bilgilerden sonraki bölümde verilecektir.

Runger, Barton, Del Castillo ve Woodall (2007) tarafından yapılan çalışmada, STTG katsayılarına dayalı Hotelling T^2 istatistiğinin Runger (1997) tarafından ortaya

konan U^2 istatistiğine eşit olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak STTG yaklaşımının bazı örnekler için orijinal kalite vektörüne uygulanan geleneksel Hotelling T^2 kontrol grafiği ile karşılaştırıldığında OÇS performansı açısından daha iyi sonuçların sağlandığı ortaya konmuştur.

Birgören (2004) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiklerinde yorumlama ile yapılan teknikler incelenmiştir. Birgören'e (2004) göre bu teknikler, geleneksel tek değişkenli kontrol grafikleri, yapay sinir ağı uygulamaları ve çok değişkenli kontrol grafikleridir.

Ranjana ve Maiti (2013) tarafından yapılan çalışmayyda, kendilerinin yaptığı çalışmaya kadar STTG yöntemi ile ilgili çalışmaların sadece uygulamaya dönük yapıldığı belirtilmektedir. Bu çalışma da süreç tabanlı temel elemanları oluşturmada değişkenler arasında mesafeyi kullanan çok değişkenli istatistiksel yöntemler olan kümeleme ve faktör analizi yöntemleri kullanılmıştır. Bu sayede STTG yönteminde kalite vektörü üzerinde etkili olan belli sayıda ve en önemli hata kaynakları ele alınırken, bu yöntem ile bir süreçte kalite vektörünü üzerinde etkili olan daha fazla hata kaynağının ele alınması sağlanmıştır. Ayrıca bu yöntemle ilgili olarak bir sürecin kontrol altında olup olmadığı ile ilgili bir süreç yeterlilik indisi ortaya atılmıştır. Öne sürülen yöntemin uygulaması elektronik endüstrisinde çok katmanlı çip üretimi sürecinde yapılmıştır.

2.8. ORTOGONAL OLMAYAN SÜREÇ TABANLI TEMEL ELEMANLAR

2.8.1. Genel

STTG yönteminde kurulan iki adet matematiksel modelden birinci model (**denklem (2-5)**) basit lineer eşitliğe, ikinci model (**denklem (2-6)**) ise regresyon modellerinden biri olan sıfır noktasından geçen basit lineer regresyon modeline dayanmaktadır. İkinci matematiksel modelde parametreler önceki kısımlarda da belirtildiği üzere sıradan en küçük kareler yöntemi ile elde edilmektedir. En küçük kareler yöntemine dayalı basit lineer regresyon hesaplamalarında katsayıların etkin çıkması için sağlanması gereken önemli varsayımlarından biri, bağımsız değişkenlerin ortogonal olması yani çoklu regresyon analizinde çoklu bağlantının olmamasıdır. Bu durum STTG yönteminde de en önemli varsayım veya sağlanması gereken önemli

koşullardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde regresyon analizinde kullanılan çoklu bağlantıyı tespit ve giderme yollarını STTG açısından incelenecektir.

Regresyon yöntemleri, bağımsız değişken veya değişkenlerdeki değişikliklerin bir fonksiyonu olarak bağımlı değişken veya değişkenlerdeki değişiklikleri modellemek için kullanılmaktadır. (Alkan, 2013:1) Dolayısıyla bir regresyon modelinin amacı, bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki göreceli etkiyi tanımlamak ve model için en uygun değişken alt kümesini tahmin etmek ve seçmektir. Regresyon analizi, STTG yöntemi açısından incelenecek olunursa ürünün performans değeri bağımlı değişken ve ürünün performans değerini etkileyen hata kaynakları da bağımsız değişken olmaktadır. Bağımsız hata kaynaklarının ortogonal yani çoklu bağlantının sıfır olduğu hata kaynakları toplamı ürün performans değerine eşittir. Bu durum simgelerle gösterilecek olunursa ve önceki bölümlerde de gösterildiği üzere; $x = a_1z_1 + a_2z_2 + a_3z_3 + \dots + a_kz_k$ şeklinde gösterilir ve modelde eğer çoklu bağlantı yoksa veya hata kaynakları olan a 'lar ortogonal ise ürünün performansı, hata kaynaklarının ürün üzerinde yaptığı etkilerin toplamına eşittir. Burada z 'ler x üzerinde etki düzeyini verir. Eğer hata kaynakları arasında çoklu bağlantı varsa hata kaynaklarını temsil eden katsayıların güvenilir olmamasına neden olmaktadır. İdealde hata kaynakları arasında çoklu bağlantının sıfır olması arzu edilir.

Çoklu bağlantı, STTG katsayıları ile ilgili yapılacak işlemleri yararsız yapan ve olumsuz olarak etkileyen çok ciddi bir problemdir. Çünkü çoklu bağlantı, STTG katsayılarının tahmin etme kabiliyetini olumsuz yönde etkiler. Çoklu bağlantının kaynağı literatürde çeşitli yazarlarca araştırılmıştır. Bu kapsamda Montgomery, Peck ve Vining (2012) göre çoklu bağlantının dört temel kaynağı vardır. Çoklu bağlantının kaynağı sırasıyla kullanılan veri toplama yöntemi, model ya da kitle üzerindeki kısıtlamalar, modelin özellikleri ve aşırı tanımlanmış bir modeldir.

STTG elemanları için çoklu bağlantı olup olmadığını araştırmak gereklidir. Çünkü, STTG katsayıları süreçte meydana gelen kontrol dışı durumlar hakkında bize ip uçları sağlamak için anahtardır. STTG katsayıları aşırı tahmin edilirse veya yanlış bir şekilde işaret edilirse süreçte olan şeyler için yapılan yorumlar uygun olmayacaktır. Bu nedenle çoklu bağlantıya neden olan bu hata kaynaklarının açıklanması STTG metodolojisi ile irtibatlandırılarak bir sonraki kısımda detayları tartışılacaktır.

STTG elemanlarının ortogonal olması STTG metodolojisinin başarısında önemli bir rol oynar. Temel elemanlar dikse STTG metodolojisi, çok değişkenli kalite vektörü ve STTE'ler ile karakterize edilen süreç hataları arasında güvenilir ve yeterli bir bağlantı kurar. Birbirine ortogonal olan STTG elemanlarına yine bunlara ortogonal olan başka bir hata kaynağını temsil eden yeni bir temel eleman eklendiğinde STTG elemanlarının temsili olan z katsayılarında herhangi bir değişiklikler meydana gelmez. *(Bu durum değişkenlerin ortalamaya göre sapma değerleri hesaplandığında elde edilen değerler regresyon analizinde kullanıldığında aynı özellik geçerlidir.)*

Süreç problemlerini modelleyen sütunlar yani STTG elemanları arasında ciddi çoklu bağlantı mevcut olduğunda bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemler STTG katsayılarının güvenilirliği ve açıklayıcı gücünde ortaya çıkar (Padilla, 2005). STTG elemanlarının dik olmaması çok değişkenli süreç verilerinde meydana gelen ufak değişikliklere karşı çok hassas STTG katsayıları üretir. Ayrıca STTG katsayıları, aşırı büyük olabilir ve yanlış sinyaller verebilir. STTG katsayılarında çoklu bağlantının varlığı yüksek varyanslı sıradan en küçük kareler tahmin edicilerine neden olur.

2.8.2. STTG Yöntemi ve Çoklu Bağlantı

Giriş bölümünde anlatıldığı şekilde Barreto ve Gonzalez-Barton (1996) tarafından ortaya konan STTG yönteminin yorumu, hata vektörü olan A vektörünün sütunlarında bulunan STTG elemanlarının arasında kuvvetli bir çoklu bağlantı olmaması varsayımına bağlıdır (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996).

STTG yöntemi regresyon denklemleri $m=k$ ve $m<k$ durumlarında aşağıda belirtildiği gibi yazılır (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996). Burada m kalite vektöründe bulunan değişken eleman sayısını ve k ise STTG eleman sayısı yani hata sayısını göstermektedir. Bu açıklamalar ışığında STTG ile ilgili mevcut literatürde gösterilen iki durum çerçevesinde STTG katsayıları aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanmaktadır. Gösterilen hesaplama daha öncesinden açıklanması nedeniyle sadece hatırlamak maksadıyla konmuştur.

$m=k$ olduğu durumlarda;

$$x = Az_k \text{ ve } z_k = A^{-1}x \quad (2-7)$$

$m<k$ olduğu durumlarda;

$$x = Az_k + \varepsilon \text{ ve } z_k = (A'A)^{-1}A'x \quad (2-8)$$

Burada x , bağımlı değişkene, A , bağımsız değişkenlere ve z_k , STTG katsayılarına ve ε hata terimine karşılık gelmektedir.

2.8.3. Çoklu Bağlantının Kaynakları

STTG modeli aşağıda yer aldığı şekilde yazılmaktadır.

$$x = Az + \varepsilon \quad \text{ve dolayısıyla} \quad (A'A)z = A'x \quad (2-9)$$

Burada x , $m \times 1$ 'lik kalite vektörünü, A , $m \times k$ 'lik süreç tabanlı temel elemanların matrisini, z , $k \times 1$ 'lik bilinmeyen STTG katsayıları vektörünü ve ε , $\varepsilon_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ olacak şekilde $m \times 1$ 'lik rastgele hatalar vektörünü temsil etmektedir. Kalite vektörü ile süreç tabanlı temel elemanları merkezileştirilmiş ve birim uzunluğa göre ölçeklendirilmiştir. Dolayısıyla $(A'A)$, süreç tabanlı temel elemanları arasındaki $m \times m$ boyutlu korelasyon matrisidir. $A'z$ ise süreç tabanlı temel elemanları ile kalite vektörü arasındaki $m \times 1$ boyutlu korelasyonlar vektörüdür.

A matrisinin j . sütunu a_j olarak gösterilsin ve $A = [a_1, a_2, \dots, a_k]$ olsun. Böylece a_k, j . süreç tabanlı temel elemanın m sayıda düzeyini içermektedir. Temel olarak çoklu bağlantıyı A matrisinin sütunları arasındaki doğrusal bağımlılık olarak tanımlayabiliriz. Hepsisi sıfır olmayan $t_1, t_2, \dots, t_k$ sabitleri varsa;

$$\sum_{j=1}^k t_j A_j = 0 \quad (2-10)$$

ise $a_1, a_2, \dots, a_k$ vektörleri doğrusal olarak bağımlıdır. Yukarıda yer alan eşitlik A STTE'ler matrisinin sütunlarının herhangi bir altkümesi için geçerliyse o zaman $(A'A)$ matrisinin rankı k 'den küçüktür ve $(A'A)^{-1}$ var olamaz. Yukarıda yer alan eşitliğin A STTE'ler matrisinin sütunlarının bazı alt kümeleri için yaklaşık olarak doğru olduğunu farz edelim. Bu durumda, $(A'A)$ matrisinde yakın doğrusal bağımlılık olacak ve çoklu bağlantı probleminin olduğu söylenecektir. Çoklu bağlantının $(A'A)$ matrisinde gerçekleşen bir kötü koşullanma biçimi olduğuna dikkat edilmelidir. Aslında sorun bir dereceleme sorunudur. Yani A süreç tabanlı temel elemanlar matrisinin sütunları ortogonal ($A'A$ bir köşegen matrisidir.) olmadıkça her bir veri kümesi bir dereceye kadar çoklu bağlantıdan etkilenmektedir. Ortogonallik, genellikle tasarlanmış bir deneyde ortaya çıkmaktadır.

2.8.4. Çoklu Bağlantının Etkileri

Çoklu bağlantının STTG katsayılarının en küçük kareler kestirimi üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler iki hata kaynağının olduğu bir süreçte kullanılan bir örnek üzerinde gösterilmeye çalışılacaktır.

Bir süreçte a_1 ve a_2 gibi yalnızca iki hata kaynağının bulunduğunu varsayalım. a_1 , a_2 ve x 'in birim uzunluğa ölçeklendirildiğini varsaydığımızda bu model;

$$x = z_1 a_1 + z_2 a_2 + \varepsilon \quad (2-11)$$

biçiminde ve en küçük kareler normal denklemleri de aşağıdaki gibi olacaktır:

$$(A'A)z = A'x \quad (2-12)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1x} \\ r_{2x} \end{bmatrix}$$

Burada r_{12} , a_1 ve a_2 arasındaki basit korelasyon, r_{kx} , a_k ve x arasındaki basit korelasyon ve $k=1,2$ 'dir. Buna göre $(A'A)$ 'nın tersi;

$$C = (A'A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/(1-r_{12}^2) & -r_{12}/(1-r_{12}^2) \\ -r_{12}/(1-r_{12}^2) & 1/(1-r_{12}^2) \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

olur. STTG katsayılarının kestirimleri ise aşağıdaki gibi olur.

$$z_1 = \frac{(r_{1x} - r_{12}r_{2x})}{(1-r_{12}^2)} \quad (2-14)$$

$$z_2 = \frac{(r_{2x} - r_{12}r_{1x})}{(1-r_{12}^2)}$$

Eğer z_1 ve z_2 arasında güçlü bir çoklu bağlantı varsa o zaman r_{12} korelasyon katsayısı büyük olacaktır. $r_{12}=1$ ya da $r_{12}=-1$ olmasına göre $|r_{12}|=1$, $Var(z_j)=C_{jj}\sigma^2 \sim \infty$ ve $Cov(z_1, z_2)=C_{12}\sigma^2 \sim \pm \infty$ elde edilir. Böylece a_1 ve a_2 arasındaki güçlü çoklu bağlantı STTG katsayılarının en küçük kareler kestiricileri için büyük varyans ve kovaryansa yol açmaktadır. Bu durumda aynı A düzeylerinde alınan farklı önlemlerin, model parametreleri için çok farklı kestirimlere yol açtığını düşündürmektedir.

İkiden fazla a hata kaynağı vektörleri olduğunda, çoklu bağlantı benzer etkilere yol açmaktadır. $C=(A'A)^{-1}$ matrisinin köşegen elemanları aşağıda belirtildiği gibi gösterilebilir.

$$C_{jj} = \frac{1}{1-R_j^2} \quad j=1,2,\dots,k \quad (2-15)$$

Burada R_j^2 , a_k hata kaynağı vektörünün geri kalan $k-1$ hata kaynağı değişkeni üzerindeki regresyondan elde edilen çoklu belirtme katsayısıdır. Eğer a_j ve diğer $k-1$ sayıdaki hata kaynağı değişkeninin herhangi bir alt kümesi arasında güçlü bir çoklu bağlantı varsa, R_j^2 'nin değeri bire yakın olacaktır. z_j 'nin varyansı $Var(z_j)=C_{jj} \sigma^2=(1 - R_j^2)^{-1}\sigma^2$ olduğundan yüksek çoklu bağlantı, z_j STTG katsayısının en küçük kareler kestiriminin varyansının çok büyük olduğunu gösterir. a_i ve a_j doğrusal bir ilişki içindeyse z_i ve z_j 'nin kovaryansı da büyük olacaktır.

2.8.5. Çoklu Bağlantının Ortaya Çıkarılması

STTG katsayılarının arasındaki çoklu bağlantıyı saptayabilmek için birçok yöntem önerilmiştir. Ancak STTG katsayılarının elde edilmesinde regresyon analizinin temeli olan en küçük kareler yönteminin kullanılmasından dolayı buradaki sorunu çözmek amacıyla regresyon analizi yöntemindeki çoklu bağlantının giderilmesinin sağlanması için ortaya konan yöntemler temel alınmaktadır. Bu kapsamda STTG katsayılarının arasındaki çoklu bağlantıyı tanılama için gerekli olan hususlar aşağıda belirtilmiştir.

2.8.5.1. STTG Katsayılarının Arasındaki Çoklu Açıklayıcılık Katsayısı ve Frisch'in Kavşak Çözümlemesine Dayalı Yöntem

Çoklu bağlantının etkilerinin ciddiliği, basit korelasyon katsayısının derecesine (r, z_1, z_2) olduğu kadar çoklu açıklayıcılık katsayısına da (R_x, z_1, z_2) bağlıdır. Bu nedenle standart hataların, kısmi korelasyon katsayılarının ve çoklu açıklayıcılık katsayısının çoklu bağlantıyı sınamakta kullanılması önerilmektedir. Ancak bu ölçülerden hiç biri tek başına çoklu bağlantının yeterli bir göstergesi değildir. Çünkü, büyük standart hatalar her zaman çoklu bağlantı ile birlikte görülmez. z_i 'lerin değerlerinin ve standart hatalarının kötü etkilenmesi için hata kaynağı değişkenlerinin çoklu bağlantının yüksek olması da gerekmez ve çoklu açıklayıcılık katsayısı yüksek olabilir ama sonuçlar yine de büyük ölçüde kesinlikten uzak ve anlamsız (*yanlış işaretli ve büyük standart hatalı*) çıkabilir. Ancak bu ölçütlerin bir birleşimi, çoklu doğrusallığın ciddiliği konusunda olabildiğince fazla bilgi edinebilmek amacıyla özünde Frisch'in kavşak çözümlemesinin değişik bir biçimi olan sürecin izlenmesi önerilebilir.

Frisch'in kavşak çözümlemesinde çoklu bağlantıya sahip değişkenler arasındaki bütün regresyonlar her değişkeni sırasıyla bağımlı değişken olarak alıp çözümlemeye teker teker katılan bütün öteki değişkenlerle arasındaki bütün regresyonlar hesaplanarak uygulanır. Yani kurulan her bir regresyon modelinden elde edilen belirtme katsayıları bir sonraki anlatılan ölçütlerden biri olan varyans şişirme katsayısı formülünde yer alan R_j^2 katsayısının elde edildiği regresyon modelleridir.

Frisch'in kavşak çözümlemesine dayalı önerilen yöntem, kalite fark vektörünün yani x değişkeniyle hata kaynağı değişkenlerinin her biriyle ayrı ayrı regresyonun yapılmasıyla başlar. Böylelikle bütün başlangıç regresyonları elde edilmiş olur. Bu sonuçlar önsel ve istatistiksel ölçütlerle incelenir. Hem önsel ve hem de istatistiksel ölçütlere göre en uygun başlangıç regresyonu seçilir. Sonra tek tek diğer hata kaynağı değişkenleri eklenir. Daha sonra bunların tek tek STTG katsayıların standart hataları ve çoklu açıklayıcılık katsayısı üzerindeki etkileri incelenir.

2.8.5.2. STTG'lerin Arasındaki Korelasyon Katsayılarının İncelenmesi

STTG katsayıları arasındaki çoklu bağlantının tespit edilmesinde en basit ölçülerden biri, $(A'A)$ 'daki köşegen dışı birimlerin kontrol edilmesidir. Eğer iki STTG katsayısı hemen hemen doğrusal bağımlı ise her ikisi arasındaki korelasyon katsayısının mutlak değeri yaklaşık bire eşittir.

STTG katsayıları arasındaki basit korelasyonlarının incelenmesi yalnız STTG katsayı çiftleri arasındaki yakın doğrusal bağımlılıkları saptamada yararlı olmaktadır. Ancak ikiden daha fazla STTG katsayısının birlikte yakın çoklu bağlantı içinde olduğu durumlarda ikişer ikişer korelasyon katsayılarından herhangi birinin büyük olacağının garantisi yoktur.

STTG katsayıları arasındaki basit korelasyon çiftlerinden herhangi biri şüphe uyandırmayacak kadar büyük değilse STTG katsayıları arasında yakın çoklu bağlantının olduğunu gösterir.

2.8.5.3. Varyans Şişirme Değerleri (*Variance Inflation Factors*) ve Tolerans Değeri

Hata kaynakları değişkenleri olan a_j 'lere ait korelasyon matrisinin $(A'A)$ tersinin köşegen öğelerine varyans şişirme değerleri denir ve *VIF* veya *C* ile gösterilir.

$C=(A'A)^{-1}$ matrisinin köşegen elemanları çoklu bağlantıyı saptamada oldukça yararlıdır. $C_{jj}=\frac{1}{1-R_j^2}$ denkleminde C 'nin j . köşegen elemanı olan C_{jj} , $C_{jj}=(1-R_j^2)^{-1}$ şeklindedir. Burada R_j^2 , a_j 'nin diğer $k-1$ sayıda hata kaynağı değişkeni üzerinden modellendiği zaman bulunacak belirtme katsayısıdır. Eğer a_j diğer hata kaynağı değişkenlerine aşağı yukarı dik ise R_j^2 küçük ve C_{jj} bire yakındır. Eğer a_j diğer hata kaynağı değişkenlerine yaklaşık doğrusal bağımlı ise R_j^2 bire yakın ve C_{jj} oldukça büyüktür. Eğer j . STTG katsayısı z_j 'nin varyansı $C_{jj}\sigma^2$ ise C_{jj} 'yi, z_j 'nin varyansını hata kaynakları değişkenleri arasındaki yakın doğrusal bağımlılıklar dolayısıyla, artıran etken olarak kabul edebiliriz. $Var(z_j)$ şu üç etmene bağlıdır. σ^2 , $\sum a_j^2$ ve C .

Varyans şişirme değeri (*VIF*) terminolojisi Marquardt (1970)'den alınmıştır. Modeldeki her bir hata kaynağı değişkeninin *VIF*'ni, hata kaynağı değişkenleri arasındaki bağımlılıkların o hata kaynağı değişkeninin varyansı üzerindeki birleşik etkilerini ölçmektedir. Bir ya da daha fazla büyük *VIF*, çoklu bağlantıyı işaret etmektedir. Bu *VIF*'lerden herhangi biri 5 ya da 10'u aşarsa bu durum ilgili STTG katsayılarının çoklu bağlantı nedeniyle zayıf bir biçimde kestirildiklerinin göstergesidir ve ilgili STTG katsayılarına pek güvenilmemesi gerektiğini bildirir. Bazı yazarlar *VIF* değerinin ancak 30'un üzerinde olması durumunda, ilgili hata kaynakları değişkenleri arasında güçlü çoklu bağlantı olduğunu belirtmektedir. *VIF*'ler iki ya da daha fazla çoklu bağlantının varlığını göstermede yararlı olabilecek en iyi ölçülerden biridir.

Bazı yazarlar da çoklu bağlantıyı aramak için tolerans değeri ölçüsünü kullanmaktadır. Bu ölçü şöyle tanımlanır.

$$\text{Tolerans Değeri (TD)}=(1-R_j^2) \text{ veya } 1/VIF \quad (2-16)$$

Açıktır ki a_j öteki hata kaynağı değişkenleriyle ilişkisiz yani dik ise $TD=1$, tam ilişkili ise $TD=0$ olur.

STTG katsayılarının güven aralığının uzunluğu; $h_j=2(C_{jj} \sigma^2)^{1/2} t_{\alpha/2, m-k-1}$ şeklinde ve orijinal tasarımla aynı örneklem büyüklüğü ve kareler ortalaması karekökü değerlerine sahip dik referans tasarımına dayanan ilgili aralığın uzunluğu ise $h^*=2\sigma t_{\alpha/2, m-k-1}$ şeklinde yazılabilir. Bu iki güven aralığının oranı $h_j/h^*=C_{jj}^{1/2}$ dir.

Böylece j . VIF 'in karekökü, j . STTG katsayısının güven aralığının çoklu bağlantıdan dolayı ne kadar uzun olduğunu göstermektedir.

2.8.5.4. $(A'A)$ Matrisinin Koşul Sayısı, Koşul İndisleri ve Özdeğer-Özvektör Değerlerinin İncelenmesi

$(A'A)$ matrisinin belirgin karakteristik veya özdeğerleri yani $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ verilerdeki çoklu bağlantının boyutunu ölçmek için kullanılabilir. Eğer verilerde bir ya da daha fazla yakın doğrusal bağımlılık varsa o zaman öz değerlerden biri ya da daha fazlası küçük olacaktır. Bir ya da daha fazla küçük özdeğer, A matrisinin sütunları arasında yakın doğrusal bağımlılık olduğunu gösterecektir. Bazı araştırmacılar $(A'A)$ matrisinin koşul sayısını değerlendirmeyi tercih etmektedirler:

$$Koşul\ Sayısı = \lambda_{max} / \lambda_{min} \quad (2-17)$$

Yukarıda yer alan koşul sayısı $A'A$ matrisinin öz değer spektrumundaki yayılımın bir ölçüsüdür. Genellikle koşul sayısı 100'den küçükse ciddi bir çoklu bağlantı sorunu yoktur. Eğer koşul sayısı 1000'i geçerse ciddi bir çoklu bağlantı sorunu vardır.

Ayrıca bir regresyon modelinde çoklu bağlantı, 1000'den büyük olan koşul indis sayısına bağlıdır. Koşul indis değeri ve dolayısıyla $(A'A)$ matrisinin koşul indisleri değerleri ise aşağıda yer alan formül ile hesaplanmaktadır.

$$Koşul\ Indisleri_j = \lambda_{max} / \lambda_j \quad j=1,2,\dots,k \quad (2-18)$$

Burada en büyük koşul indisi koşul sayısının hesaplandığı formüldeki hesaplanan koşul sayısıdır. Büyük olan ($yani \geq 1000$) koşul indislerinin sayısı, $(A'A)$ matrisinde yakın doğrusal bağımlılıklarının sayısına ilişkin kullanışlı bir ölçüdür.

Koşul sayısı ve koşul indisleri değerlerinin yanında verilerdeki yakın doğrusal bağımlılıkların yapısını belirlemek için özdeğer-özvektör analizi de kullanılmaktadır. Bu kapsamda $A'A$ matrisi aşağıda yer alan eşitlikte gösterildiği gibi ayrıştırılabilir.

$$A'A = TAT' \quad (2-19)$$

Burada ana köşegen elemanları $(A'A)$ matrisinin λ_j ($j = 1,2, \dots, k$) özdeğerleri olan bir $m \times m$ köşegen matrisi ve T , sütunları $(A'A)$ matrisinin özvektörleri olan $k \times k$ dik

matrisidir. T 'nin sütunları, $t_1, t_2, \dots, t_k$ olarak gösterilsin. Eğer λ_j özdeğeri verilerde yakın doğrusal bağımlılık gösterecek şekilde sıfıra yakınsa ilgili t_j özvektörünün elemanları bu doğrusal bağımlılığın yapısını betimler. Burada t_j vektörünün elemanları çoklu bağlantının tanımını verilirken kullanılan $\sum_{j=1}^k t_j a_j = 0$ eşitliğindeki $t_1, t_2, \dots, t_k$ katsayılarıdır.

Belsley, Kuh ve Welsch (1980), çoklu bağlantıyı tanımlamak için benzer bir yaklaşım önermiştir: $m \times k$ olan A matrisi aşağıdaki gibi ayrıştırılabilir.

$$A = UDT' \quad (2-20)$$

Burada U , $m \times k$; T ise $k \times k$ 'dir. $U'U=I$, $T'T=I$ ve D 'de negatif olmayan $\mu_j, j=1,2,\dots,k$ köşegen elemanlı $k \times k$ köşegen matrisidir. μ_j , A 'nın tekil değerleri olarak tanımlanır ve $A = UDT'$ 'dir, A 'nın tekil değer ayrışımı olarak adlandırılır. Tekil değer ayrışımı özdeğer ve özvektör kavramlarıyla yakından ilişkilidir. Çünkü, $(A'A) = (UDT')'UDT' = TD^2T' = TAT'$ ve dolayısıyla A 'nın tekil değerlerinin kareleri $(A'A)$ 'nin özdeğerleridir. Burada T , $A'A$ matrisinin özvektörlerinin matrisidir ve U , $(A'A)$ matrisinin sıfır olmayan k sayıda özdeğerlerine karşılık gelen sütunları özvektör olan matristir.

A matrisindeki kötü koşulluluk tekil değerlerin büyüklüğüne yansır. Her bir yakın doğrusal bağımlılık için küçük bir tekil değer olacaktır. Kötü koşulluluk, her bir tekil değer için en büyük μ_{max} tekil değerine göre ne kadar küçük olduğuna bağlıdır.

Yapılan hesaplamalar sonunda elde edilen STTG katsayılarının kovaryansı aşağıda yer alan eşitlikte olduğu gibi hesaplanır.

$$Var(Z) = \sigma^2(A'A)^{-1} = \sigma^2 T \Lambda^{-1} T' \quad (2-21)$$

j . STTG katsayısının varyansı bu matrisin j . elemanı yada aşağıdaki eşitliktir.

$$Var(z_j) = \sigma^2 \sum_{i=1}^p \frac{t_{ji}^2}{\mu_i^2} = \sigma^2 \sum_{i=1}^p \frac{t_{ji}^2}{\lambda_i} \quad (2-22)$$

Ayrıca, σ^2 'den başka $T \Lambda^{-1} T'$ matrisinin j . köşegen elemanının j . VIF'tir. Böylece

$$VIF_j = \sum_{i=1}^k \frac{t_{ji}^2}{\mu_i^2} = \sum_{i=1}^k \frac{t_{ji}^2}{\lambda_i} \quad (2-23)$$

olur. Açık bir şekilde bir yada daha fazla küçük tekil değerler $Var(z_j)$ 'nin değerini belirgin bir şekilde artırabilir.

Belsley, Kuh ve Welsch (1980), çoklu bağlantı ölçütü olarak varyans ayırım oranlarını kullanmayı önermektedir.

$$\pi_{ij} = \frac{t_{ji}^2 / \mu_i^2}{VIF_j}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2-24)$$

Eğer π_{ij} 'yi bir $k \times k$ boyutlu π matrisinde sıralarsak o zaman π 'nin her bir sütunundaki elemanlar, i . tekil değerin her bir $Var(z_j)$ 'na katkısının oranıdır. Eğer iki ya da daha fazla STTG katsayısı için varyansın yüksek bir oranı tek bir küçük değere karşılık geliyorsa bu durum çoklu bağlantıya işaret etmektedir. 30'dan büyük koşul indisleri ve 0.5'den büyük varyans ayırım oranları önerilen referans değerleridir.

2.8.5.5. Korelasyon Matrisinin Determinantının Elde Edilmesi

Bir diğer çoklu bağlantı ölçüsü süreç tabanlı temel elemanlarına ilişkin korelasyon matrisinin determinantını almaktır.

Bir korelasyon matrisinin determinantı 0 ile 1 arasında değişir. Eğer $|R|=1$ ya da 1'e yakın ise bağımsız değişkenler ortogonaldır. Bu durum çoklu bağlantının olmadığı bir göstergesidir. Determinantın değerinin sıfıra yaklaşması ise güçlü çoklu bağlantıyı gösterir. (Alpar, 2012:524) Bu yöntemin uygulanması basit olmakla beraber hangi değişkenler arasında çoklu bağlantı olduğunu yani çoklu bağlantının kaynağını göstermez.

Bu kapsamda VIF 'lere ve $(A'A)$ matrisinin özdeğerlerine dayalı işlemler var olan en iyi çoklu bağlantı tanılama araçlarındandır. Bunların hesaplaması kolaydır, yorumlaması doğrudandır ve çoklu bağlantının yapısını sorgulamak için kullanışlıdır.

2.8.6. STTG Yönteminde Çoklu Bağlantıya Yönelik Düzeltici Tedbirler

Şu ana kadar STTG yönteminde katsayıların en küçük kareler yöntemi ile elde edildiği **denklem (2-6)**'da yer alan matematiksel modelde çoklu bağlantının olduğu durumlarda bunun tespitine yönelik kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise çoklu bağlantının tespit edilmesi durumunda kullanılacak düzeltici tedbirlerden bahsedilecektir.

Dik olmayan hata kaynağı değişkenlerine en küçük kareler yöntemi uygulandığında STTG katsayılarının çok zayıf kestirimleri elde edilir. En küçük kareler

yöntemindeki sorun Z 'nin yansız bir kestirici olma zorunluluğudur. Gauss-Markov özelliği en küçük kareler kestiricisinin yansız doğrusal kestiriciler sınıfındaki en küçük varyansa sahiptir. Ancak bu varyansın küçük olacağının bir garantisi yoktur. Bu durumda regresyon modelinde çoklu bağlantının tespiti ve giderilmesi önem taşır.

STTG yöntemindeki ikinci matematik modelde eğer çoklu bağlantı tespit edilirse, bu çoklu bağlantıyı gidermek için literatürde kullanılan yöntemler, **ek verilerin toplanması, modelin yeniden belirlenmesi, temel bileşenler regresyonu ve ridge regresyonudur**. Ancak en çok kullanılan yöntem ridge regresyonudur. Bu bölümde belirtilen yöntemler tanıtılacak, ancak bunların matematiksel boyutu kısaca ele alınacaktır. Konuyla ilgili detaylı bilgiler için Montgomery, Peck ve Vining (2012) tarafından hazırlanmış esere bakılabilir.

Farrar ve Glauber (1967) ve Silvey (1969), çoklu bağlantıyı gidermede en iyi yöntem olarak **ek verinin toplanmasını** önermiştir. Ancak ek veri toplanması ekonomik kısıtlar veya çalışılan sürenin örneklemeye uygun olmaması durumunda her zaman mümkün değildir. Ek veriler olsa bile eğer yeni veriler bağımsız değişkenler aralığını araştırmacının inceleme alanının ötesine kaydıracak şekilde artırıyorsa ek verilerin kullanılması uygun olmayabilir.

STTG yönteminde çoklu bağlantıyı giderme yollarından bir diğeri **modelin yeniden belirlenmesidir**. Modelin yeniden belirlenmesine yönelik temel yaklaşımlar; temel elemanlarının yeniden tanımlanması, değişken eleme ve değişken seçimi gibi yöntemlerdir. Ancak bu yöntemlerin kullanılması matematiksel modelde çoklu bağlantının azaltılacağı her zaman garanti etmez.

STTG yönteminde temel elemanlar arasında çoklu bağlantı olduğunda giderme yollarından biri de, **temel bileşenler regresyonudur**. Temel bileşenler regresyonu, STTG yöntemindeki **denklem (2-6)**'da yer alan ikinci matematiksel modelin ortogonal temel elemanlar kümesine dayanarak yeniden açıklanabileceği gerçeği üzerine oluşturulmuştur. Bu yeni ve ortogonal temel elemanlar, orjinal açıklayıcı temel elemanların doğrusal bileşeni olarak elde edilirler ve temel elemanların temel bileşenleri olarak adlandırılır. Temel elemanlar kümesinde doğrusal bağımlılık yoksa bu veri kümesinin dik olduğu söylenir. Temel bileşenler analizi sonucunda, ortogonal olmayan bir veri kümesi için temel elemanların birbirine tamamen ortogonal olan yeni bir temel

elemanlar kümesi elde edilir. Elde edilen yeni temel elemanlar arasındaki korelasyon katsayıları, temel elemanların birbirine ortogonal olmasından dolayı sıfıra eşittir. Gunst ve Mason (1977) tarafından yapılan bir çalışmada, veriler kötü koşullu olduğunda temel bileşenler regresyonunun en küçük kareler yöntemine göre belirgin bir iyileşme ortaya koyduğunu gösterilmiştir. Hawkins (1973) ve Webster, Gunst ve Mason (1974) tarafından yapılan çalışmalarda temel bileşenler yöntemindeki yaklaşım takip edilmiş ve gizil kök işlemlerini geliştirmişlerdir. Gizil kök regresyonun hata kareler ortalamasında en küçük karelere göre belirgin bir iyileşme sağlayabileceği belirtilmektedir.

Yukarıda STTG yönteminde çoklu bağlantının giderilmesi amacıyla üç farklı yöntem anlatılmıştır. Literatürde en çok kullanılan dördüncü yöntem ise **ridge regresyon yöntemi**dir.

STTG katsayılarının yanlı kestiricilerini elde etmek için farklı işlemler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi Hoerl ve Kennard (1970) tarafından ortaya konan ridge regresyonu yöntemidir. $\widehat{Z}_R$ ile gösterilen ridge kestiricisi; $(A'A + kI)\widehat{Z}_R = A'x$ denkleminin çözümü olarak tanımlanır. Buradan $\widehat{Z}_R = (A'A + kI)^{-1}A'x$ elde edilir. Burada $k > 0$ araştırmacı tarafından seçilen bir sabittir. Bu işlem ridge regresyonu olarak adlandırılır. $k=0$ olduğunda ridge kestiricisinin en küçük kareler kestiricisi olmaktadır.

Ridge kestiricisi; $\widehat{Z}_R = (A'A + kI)^{-1}A'x = (A'A + kI)^{-1}(A'A)\hat{Z} = D\hat{Z}$ eşitliğinden ötürü en küçük kareler kestiricisinin doğrusal bir dönüşümüdür. Dolayısıyla $E(\widehat{Z}_R) = E(D\hat{Z}) = D\hat{Z}$, $\widehat{Z}_R$ olduğundan $\widehat{Z}_R$, Z 'nin yanlı bir kestiricisidir. Genellikle k sabiti yanlılık parametresi olarak adlandırılır. $\widehat{Z}_R$ 'nin kovaryans matrisi,

$$Var(Z_R) = \sigma^2(A'A + kI)^{-1}A'A(A'A + kI)^{-1} \quad (2-25)$$

olarak elde edilir.

Ridge regresyonunun hata kareler ortalaması ise;

$$\begin{aligned} MSE(\widehat{Z}_R) &= Var(\widehat{Z}_R) + (\widehat{Z}_R' \text{deki yan})^2 \\ &= \sigma^2 Tr[(A'A + kI)^{-1}A'A(A'A + kI)^{-1}] + k^2 Z'(A'A + kI)^{-2}Z \\ &= \sigma^2 \sum \left(\frac{\lambda_1}{(\lambda_j + k)^2} \right) + k^2 Z'(A'A + kI)^{-2}Z \end{aligned} \quad (2-26)$$

Burada $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ $A'A$ nın özdeğerleridir. Bu denklemin sağ tarafında yer alan ilk terim $\widehat{Z}_R$ 'deki parametrelerin varyansları toplamıdır. İkinci terim de yanın karesidir. Eğer $k > 0$ ise $\widehat{Z}_R$ 'deki yan k ile artmaktadır. Ancak k azaldıkça varyans azalmaktadır.

Ridge regresyonunda artık kareler toplamı da aşağıda verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} SS_{Res} &= (y - A\widehat{Z}_R)'(y - A\widehat{Z}_R) \\ &= (y - A\hat{Z})'(y - A\widehat{Z}_R) + (\widehat{Z}_R - \hat{Z})'A'A(\widehat{Z}_R - \hat{Z}) \end{aligned} \quad (2-27)$$

Yukarıda yer alan denklemde sağ tarafta yer alan ilk terim $\hat{Z}$ en küçük kareler kestiricisi için artık kareler toplamı olduğu için k arttığından artık kareler toplamı da artmaktadır. Sonuç olarak toplam değişim sabit olduğundan k arttığında R^2 azalmaktadır.

Literatürde ridge regresyonu yönteminde en çok tartışılan konu k yanlılık parametresinin seçimidir. Ancak şu ana kadar optimum çözümü garanti edebilecek bir yaklaşım henüz bulunamamıştır. Literatürde çeşitli araştırmacılar (Marquardt, 1970; Hoerl ve Kennard, 1970; Mallows, 1973; Hoerl, Kennard ve Baldwin, 1974; McDonald ve Galarneau 1975; Wahba, Golub ve Health, 1979) k 'yı seçmek için bazı grafiksel ve analitik yaklaşım yöntemleri önermişlerdir. Ancak k 'nın seçilmesi araştırmacının deneme yanılma yolu ile seçmesini gerektiren bir kavramdır. k , 0 ile 1 aralığında değerler alır; 1'e yaklaştıkça tahminlerin yanlılığı artmakta, fakat varyansları azalmaktadır.

2.8.7. STTG Çözümleri Açısından Yanlı Kestiricilerin Karşılaştırılması ve Değerlendirmesi

STTE'ler arasında ortogonalite olmaması durumunda STTG metodolojisi etkilidir. Ancak çoklu bağlantının olması durumunda uygulanan en küçük kareler yöntemi yanlı çıkmakta ve dolayısıyla güvenilmeyen STTG katsayıları elde edilmektedir. Önceki kısımlarda ciddi çoklu bağlantı veya tam çoklu bağlantının olması durumundan güvenilir STTG katsayılarının elde edilmesi için dört adet yöntem tanıtılmıştır. Bu yöntemler sırasıyla ridge regresyonu, temel bileşenler regresyonu, gizil kök regresyonu ve sınırlı uzay çözümü yöntemi olduğu belirtilmiş ve yöntemlerin detayları anlatılmıştır.

Padilla (2005), dört yöntem ile bağımsız altgruplar (*independent subsets*) ve lineer regresyon yöntemleriyle STTG katsayılarını elde etmiş ve hata kareler (*square error*) ve güven sınırları (*confidence interval*) açısından değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sınırlı uzay çözümü yöntemi ile ridge regresyonu yöntemi en düşük hata kareler toplamına ve en yüksek güven (*count*) değerine, lineer regresyon, sıradan kareler ve bağımsız altgruplar yöntemleri ise daha yüksek hata kareler ve daha küçük count değerine sahip olmuştur. Süreç tabanlı temel elemanları arasında ortogonallik olmaması durumunda en güvenilir STTG katsayıları sınırlı uzay çözümü yöntemi ile elde edilmiştir.

STTG haricinde de, yanlı kestiricileri incelemek ve hangi işlemlerin en iyi şekilde işlediğini belirlemeye çalışmak için literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan ortaya tek bir en iyi yöntem çıkmazken çoklu bağlantı olduğu durumlarda yanlı kestirimin en küçük kareler yönteminden daha iyi olduğuna dair önemli kanıtlar bulunduğu görülmüştür. Ancak STTG yönteminde yanlı kestiricilerin kullanılmasına karşı çıkan bazı araştırmacılarda bulunmaktadır.

2.9. STTG YÖNTEMİ VE PROFİL İZLEME (PROFILE MONİTORİNG) YÖNTEMİ

STTG yöntemi ile bazı konularda benzerlik gösteren yöntemlerden biri profil izleme yöntemidir.

Profil izleme yöntemi, bir ürünün veya sürecin kalitesinin bağımlı değişken ile bağımsız bir veya daha fazla açıklayıcı değişken arasında fonksiyonel bir ilişki ile karakterize edilmesi durumunda kontrol grafiklerinin kullanılmasıdır. STTG yönteminde ise açıklayıcı değişkenler bağımlı değişkenin bir boyutudur.

Her iki yöntemde kontrol grafikleri ile izlenen katsayılar regresyon analizi veya en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmaktadır. Katsayıların yani parametrelerin hesaplanmasında başka yöntemler de kullanılabilir.

STTG yönteminde katsayıların hesaplanmasında lineer modeller kullanılır. Ancak profil izleme yönteminde problemin durumuna göre katsayıların hesaplanmasında lineer olmayan modellerde kullanılabilir.

Katsayıların kontrol de olup olmadığı her iki yöntemde de kontrol grafikleri ile izlenmektedir.

STTG yönteminde kalite vektörünü etkileyen, bilinen hata kaynaklarında elde edilen parametreler kontrol grafikleri ile izlenir. Profil izleme yönteminde ise kalite vektörü ile fonksiyonel ilişkisi olan bağımsız değişkenlerden elde edilen parametreler kontrol grafikleri ile izlenmektedir.

Profil izleme yönteminde nominal değerler ile işlem yapılırken STTG yönteminde hedef değer ile nominal değer arasında kalan hata değerleri ile işlem yapılmaktadır.

2.10. STTG YÖNTEMİ VE TEMEL BİLEŞENLER ANALİZİ

Günümüzde bilgi toplama teknolojilerinin gelişmesi sonucunda çok daha fazla ve çeşitli veriler toplanmaktadır. Bu duruma paralel olarak çok değişkenli analiz yöntemleri de gelişmektedir. Bu gelişen ortamda bir ürünün kalitesinin değerlendirilmesi ve takibi de tek değişkenle değil çok değişkenle yapılmaya başlanmıştır. Önceki bölümlerde belirtildiği üzere değişken sayısının az olduğu süreçlerde bu değişkenleri klasik çok değişkenli kontrol grafikleri ile kolay ve etkili bir şekilde takibinin yapıldığı belirtilmişti. Ancak gelişen üretim ve ölçüm teknolojileri ile birlikte üretim süreçlerinde ürünler veya süreç hakkında daha fazla bilgi toplanmaya başlanmıştır. Bu da Montgomery (2009) dediği gibi eğer izlenecek süreçte kalite karakteristiklerin sayısı on ve daha fazla olduğunda klasik çok değişken kontrol kartı yeterince etkili olamamaktadır. Dolayısıyla değişken sayısının onu aştığı durumlarda, değişkenleri klasik çok değişkenli kontrol grafikleri ile takip etmek için değişken sayısını makul bir seviyeye daha doğrusu onun altına indirmek gerekir. Aslında bu bir boyut indirme işlemidir.

Literatürde boyut indirmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden bazıları temel bileşenler analizi, faktör analizi ve kümeleme analizi gibi yöntemlerdir. Ancak bilimsel çalışmalarda bu boyut indirme metodlarının hepsi yoğun olarak kullanılsa da, en çok kullanılan yöntem, temel bileşenler analizi yöntemidir.

Bu bölümde STTG yöntemi ile temel bileşenler analizi arasındaki ortak yönler ortaya konmaya çalışılacaktır. STTG yöntemi ile faktör analizi ve kümeleme analizi yöntemlerinin ortak yönleri ise bir sonraki kısımda anlatılacaktır.

Temel Bileşenler Analizi, orijinal k değişkenin varyans yapısını daha az sayıda ve bu değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan yeni değişkenlerle ifade etme yöntemidir. Aralarında korelasyon bulunan k sayıda değişkenin açıkladığı yapıyı, aralarında korelasyon bulunmayan ve sayıca orijinal değişken sayısından daha az sayıda orijinal değişkenin doğrusal bileşenleri olan değişkenlerle ifade etme yöntemine temel bileşenler analizi denir.

Veri matrisinde yer alan k değişkenin doğrusal bileşenlerini bulmak için kovaryans matrisinin ya da korelasyon matrisinin özdeğerleri ve özvektörleri kullanılır. Eğer değişkenler aynı birim veya karşılaştırılabilir birimlerde ve değişken varyansları aynı boyutta ise varyans-kovaryans matrisi kullanılır.

Temel bileşenler analizi, orijinal değişken uzayını daha az boyutlu temel bileşenler uzayına indirgemektedir. Temel bileşenlerin birim değerleri veya yeni değişkenler, noktaların bu eksenler üzerindeki izdüşümleridir. Örneğin, orijinal değişkenlerin yerine verilerdeki bilginin çok önemli bir kısmını açıklayan x yeni değişkeninin kullanılacağını varsayalım. Geometrik olarak iki boyutlu orijinal değişken uzayının tek boyutlu bir uzayla temsil edilmesiyle aynı anlamı taşımaktadır. Böylece bir araştırmacı k -boyutlu bir veri matrisini m -boyutlu ($m < k$) bir uzayda gösterebilir. Orijinal veri uzayını daha az boyutlu bir uzayla tanımlanmasına boyut indirgeme adı verilmektedir. Verilerin daha az boyutlu bir uzaydaki gösteriminde açıklanmayan toplam varyans düzeyi, bilgi kaybının ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Veri metrisindeki toplam varyans, türetilen birkaç temel bileşen tarafından açıklanabilmesi durumunda, araştırmacı k sayıdaki orijinal değişken yerine daha az sayıdaki temel bileşeni yorumlamak veya regresyon ve diskriminant analizleri gibi diğer analizlerde kullanılabilir. Bu anlamda temel bileşenler analizine bir boyut indirgeme tekniği olarak bakılabilir.

Verilerin çözümlenmesinde temel bileşenler analizi tekniğinin uygun olup olmadığının değerlendirilmesi çalışmanın amacına bağlıdır. Amaç birbirinden bağımsız değişkenler elde etmekse, elde edilen bileşenlerin kavramsal olarak yorumlanabilir

olması gerekir. Temel bileşenler kavramsal olarak yorumlanamıyorsa, bu bileşenlerin diğer analizlerinde (*regresyon analizi gibi*) kullanılması çok anlamlı olmayabilir. Diğer bir anlatımla böyle bir durumda temel bileşenler analiz ile birbirinden bağımsız yeni değişkenler türetilmemelidir. Amaç orijinal değişken uzayını daha az boyutlu ve orijinal değişkenlerin doğrusal bir birleşimi olan temel bileşen uzayına indirgemekse, bu durumda orijinal değişken, bu durumda, orijinal değişken sayısından daha az, fakat önemli bilgi kaybına neden olmayacak yeterli temel bileşenin türetilmesi gerekir.

Yukarıda belirtilen temel bileşenler analizi ile ilgili sınırlılık STTG yönteminde bulunmamaktadır.

Bu konu üzerine STTG yönteminin yararlarını ortaya koymak için schmitt ve barton tarafından yapılmış çalışma da rastlamaktayız. yapılan çalışma da simülasyon yardımı ile süreç tabanlı temel göstelimleri yöntemi karşılaştırılmış ve elektronik sanayisinde temel bileşenler analizine göre STTG yönteminin üstünlüğünü ortaya koymuştur.

2.11. STTG YÖNTEMİ, KÜMELEME ANALİZİ VE FAKTÖR ANALİZİ

STTG yöntemi, aynı zamanda kümeleme analizi ve faktör analizi ile beraber kullanılabilir. Bu konu ile ilgili bir adet çalışmanın yapıldığı STTG yöntemi ile ilgili literatür araştırmasında belirtilmiştir. Ranjana ve Maiti (2013) tarafından bu kapsamda yapılan çalışmanın özelliği, STTG yönteminin istatistikî metodlar açısından teorik olarak geliştirilmesidir. Her ne kadar STTG yöntemi, Birgören (1998) tarafından teorik olarak geliştirdiyse de bu gelişim katsayılar açısından sınırlı olmuştur, ancak temel elemanlar açısından olmamıştır. Ranjana ve Maiti (2013) tarafından yapılan çalışmada;

- STTE'lerin faktör analizi ve kümeleme analizi ile hesaplanabileceği,
- Kümeleme analizi ve faktör analizi tabanlı temel elemanlardan hesaplanan STTG katsayılarına ait süreç yeterlilik ölçüm değerlerinin, aralarında korelasyona göre tek veya çok değişkenli istatistiksel kontrol grafikleri ile de izlenebileceği önerilmektedir.

2.12. STTG YÖNTEMİ VE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

Literatürde STTG katsayılarının tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenebileceği önerilmektedir. STTG katsayıları bağımsız ise yani aralarında korelasyon yoksa, tek değişkenli kontrol grafikleri ile başarılı bir şekilde izlenebilir. Ancak süreç tabanlı temel elemanlar arasında bir korelasyon varsa bu durum, matematiksel modelde çoklu bağlantı problemine neden olur. Bu durumda hata kaynaklarını temsil eden katsayılara güven azalır.

STTG katsayıları her zaman bağımsız olmamaktadır. Bu durumda söz konusu katsayılar, katsayılar arasındaki ilişkiyi dikkate alan çok değişkenli kontrol grafikleri ile de takip edilebilir ve kontrol dışı sinyal tespit edildiğinde ise literatürde mevcut ayrıştırma ve değişkenleri sınıflandırma yöntemleri kullanılabilir. STTG yönteminde önceki bölümlerde de belirtildiği üzere büyüklüğü hatanın büyüklüğünü temsil ettiği ve büyük değere sahip katsayı ürünün performansında meydana gelen hatada en büyük paya sahiptir.

Ancak, STTG katsayılarının istatistiksel kontrol grafikleri ile izlenmesinde iki önemli problem ortaya çıkmaktadır.

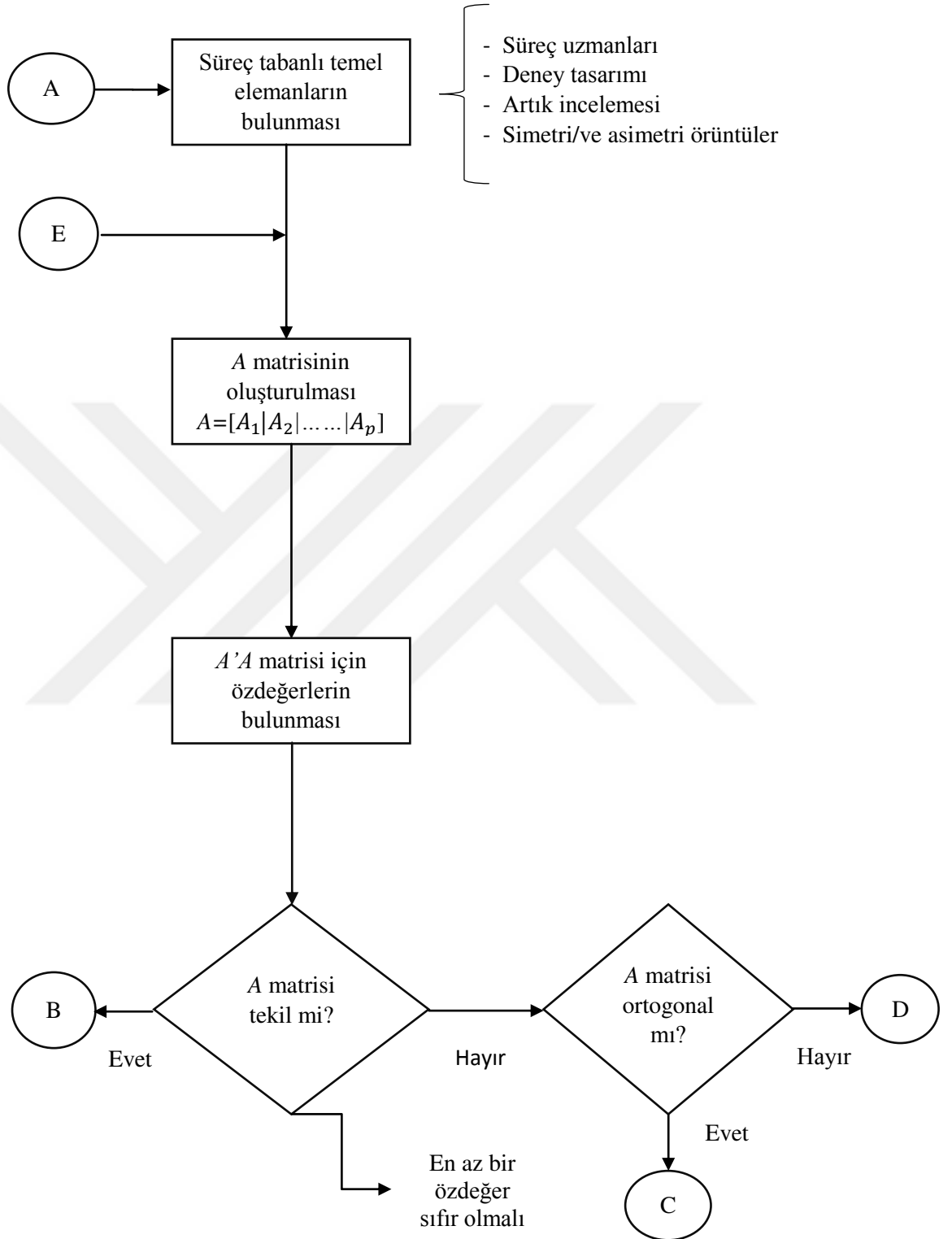
Birinci problem; tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde gözlemlerin normal ve çok değişkenli normal dağılması varsayımı bulunmasıdır. STTG katsayılarının her zaman bu varsayımı sağlayacağını garanti bulunmamaktadır. Bu durum parametrik olmayan prosedürlere başvurma mecburiyetini ortaya çıkartır. Bu kapsamda Birgören (1998) tarafından bir çalışma yapılmış ve STTG katsayılarının yorumlanması ile ilgili parametrik olmayan yöntem olarak değerlendirilen "*Çok Boyutlu Uzayın Sınırlandırılması*" isimli bir yöntem önermiştir.

İkinci problem; çok değişkenli kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyallerin yorumlama sorunudur. Her ne kadar STTG yöntemi teşhis ve yorumlama için bir yöntem önerse de, STTG katsayılarının istatistiksel önemi katsayıları izleyen istatistiksel kontrol kartları tarafından belirlenir. Örneğin Gonzalez-Barreto (1996) her biri bir adet kontrol dışı sinyalden sorumlu olan STTG katsayılarını Hotelling T^2 istatistiğine bazı çekincelerle uygulamıştır. Ancak STTG katsayılarının her biri bir hata kaynağını temsil etse de, kontrol dışı sinyale sebep veren değişkenin doğru katsayılar ile temsil edildiğine dair bir kesinlik bulunmamaktadır.

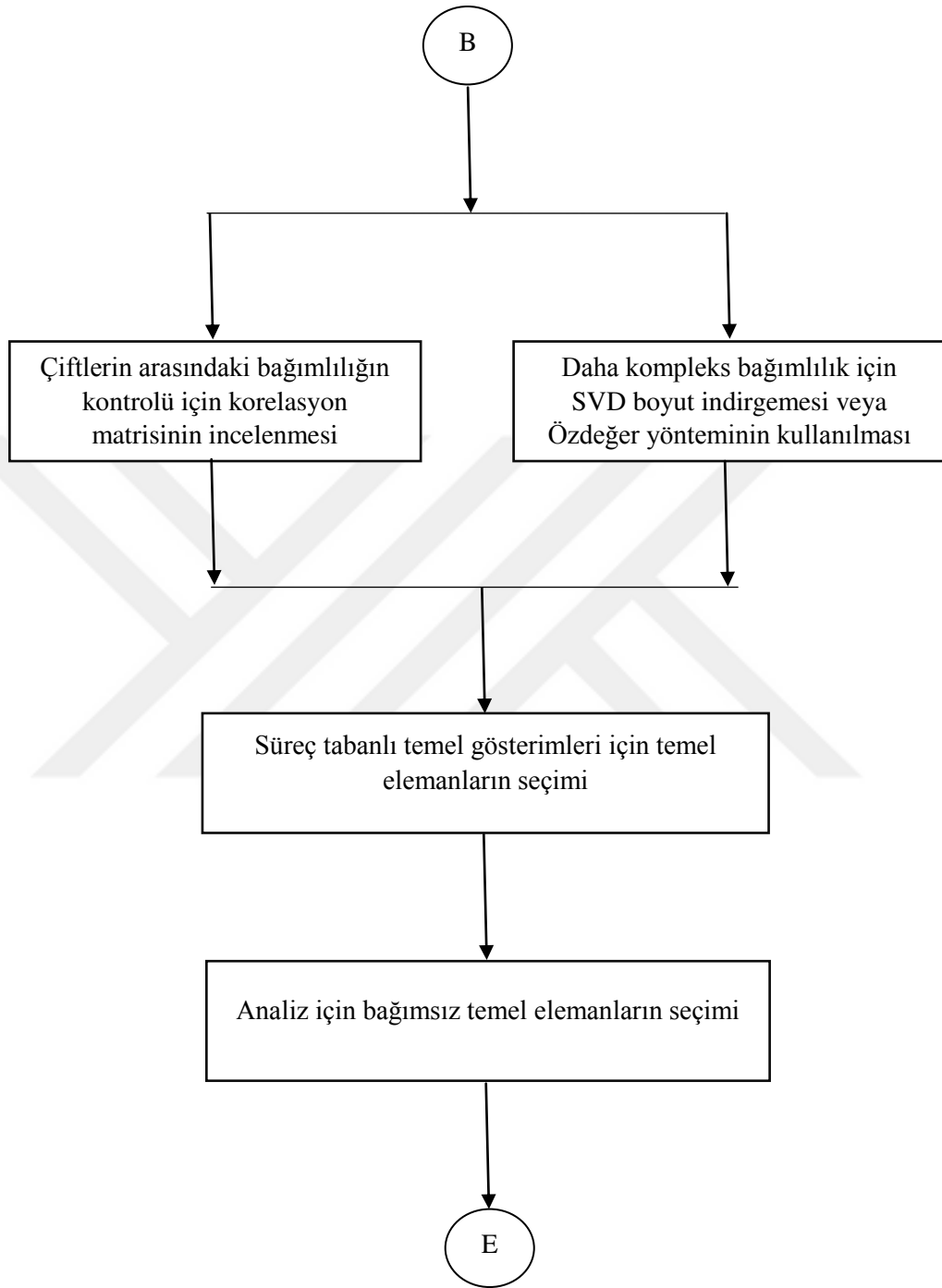
Li, Jin ve Shi (2008) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyallere neden olan sebeplerin ortaya konması problemi irdelenmiştir. Li, Jin ve Shi (2008)'ye göre diğer çalışmalarda olduğu gibi istatistiksel kontrol grafiklerinde kalite karakteristikleri sadece izlenmektedir ve süreçte meydana gelen bir kontrol dışı sinyalin tespiti veya teşhisi ile ilgili bir bilgi sağlanmamaktadır. Böyle bir durumda kontrol dışı sinyalin tespiti veya teşhisi ile ilgili birçok yöntemin olduğunu belirtmektedir. Bu yöntemlerden biri ise Mason, Tracy ve Young (1995) tarafından bir boyut indirgeme metodu olarak ortaya konan ve kısaca *MTY* yöntemi olarak adlandırılan bir yöntemin olduğunu belirtmektedir. Ancak Hotelling T^2 kontrol grafiğinde kontrol dışı bir sinyal olduğunda *MTY* yöntemi sadece kontrol dışı sinyale sebep olan değişkenin bulunmasında faydalı olduğunu ancak hata kaynağının köküne inilemediğini belirtmektedir. İşte burada Li, Jin ve Shi (2008), yaptıkları çalışmada, **“the causation-based T^2 decomposition method”** olarak adlandırılan bir metod önermiştir. Bu metotta *MYT* yöntemi ve bayesgil yaklaşımı hibrit bir şekilde kullanılmıştır.

Bu bölümde STTG yöntemiyle ilgili literatürde yer alan teorik bilgiler detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışılmıştır. STTG metodolojisinin teorik kısımlarının akış diyagramı ile gösterimi Şekil 2.5'de yer almaktadır.

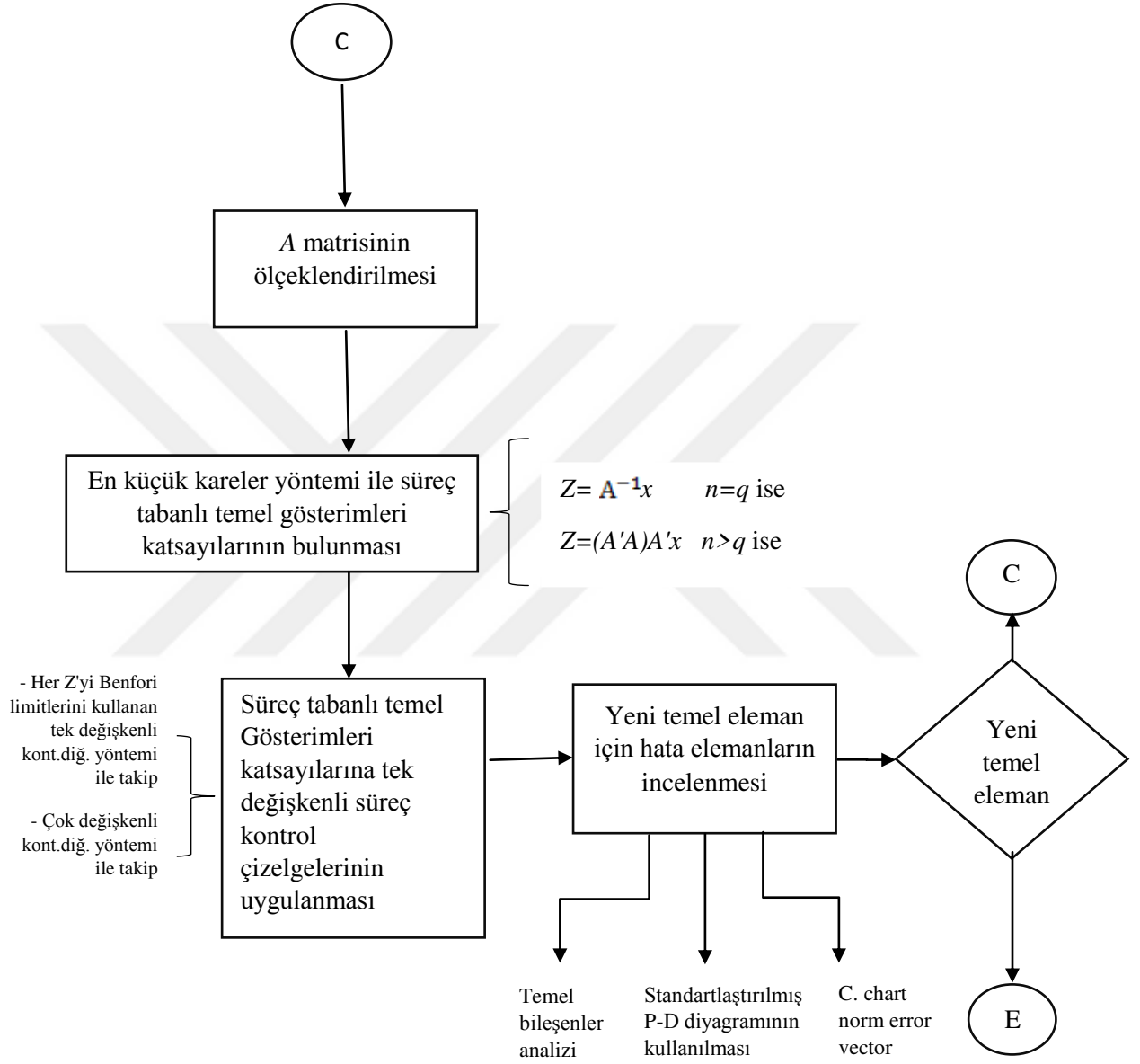
STTG yönteminde Barton ve Gonzalez (1996) regresyon modellerinden elde edilen hata teriminin karesi değerlerinin yani $|e|^2$ değerlerinin *EWMA* kontrol grafiği ile takibini önermektedir. $|e|^2$ değerlerinin *EWMA* kontrol grafiği ile takibi için hazırlanan akış diyagramı Şekil 2.6'da yer almaktadır.



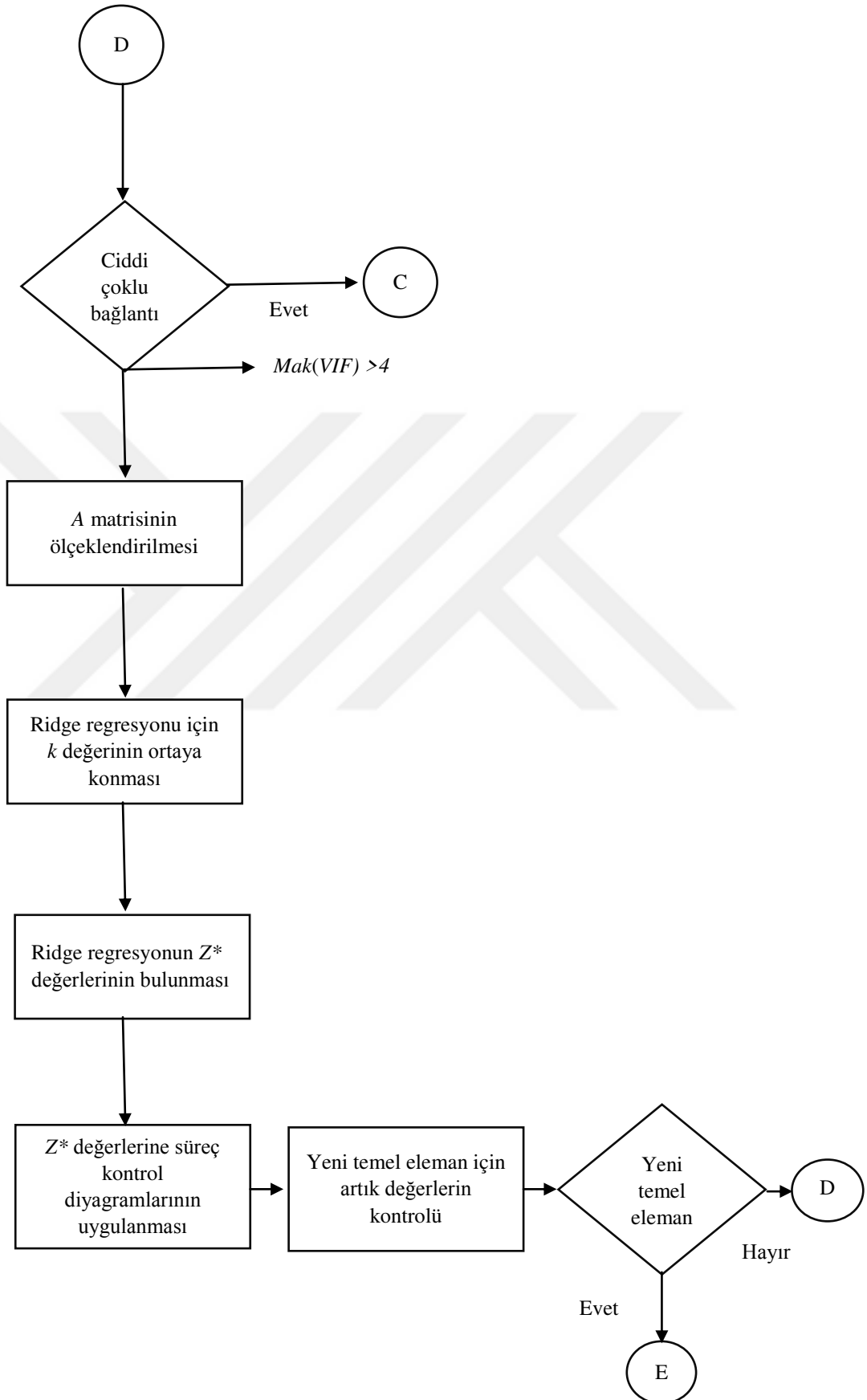
Şekil 2.5: STTG Metadolojisi



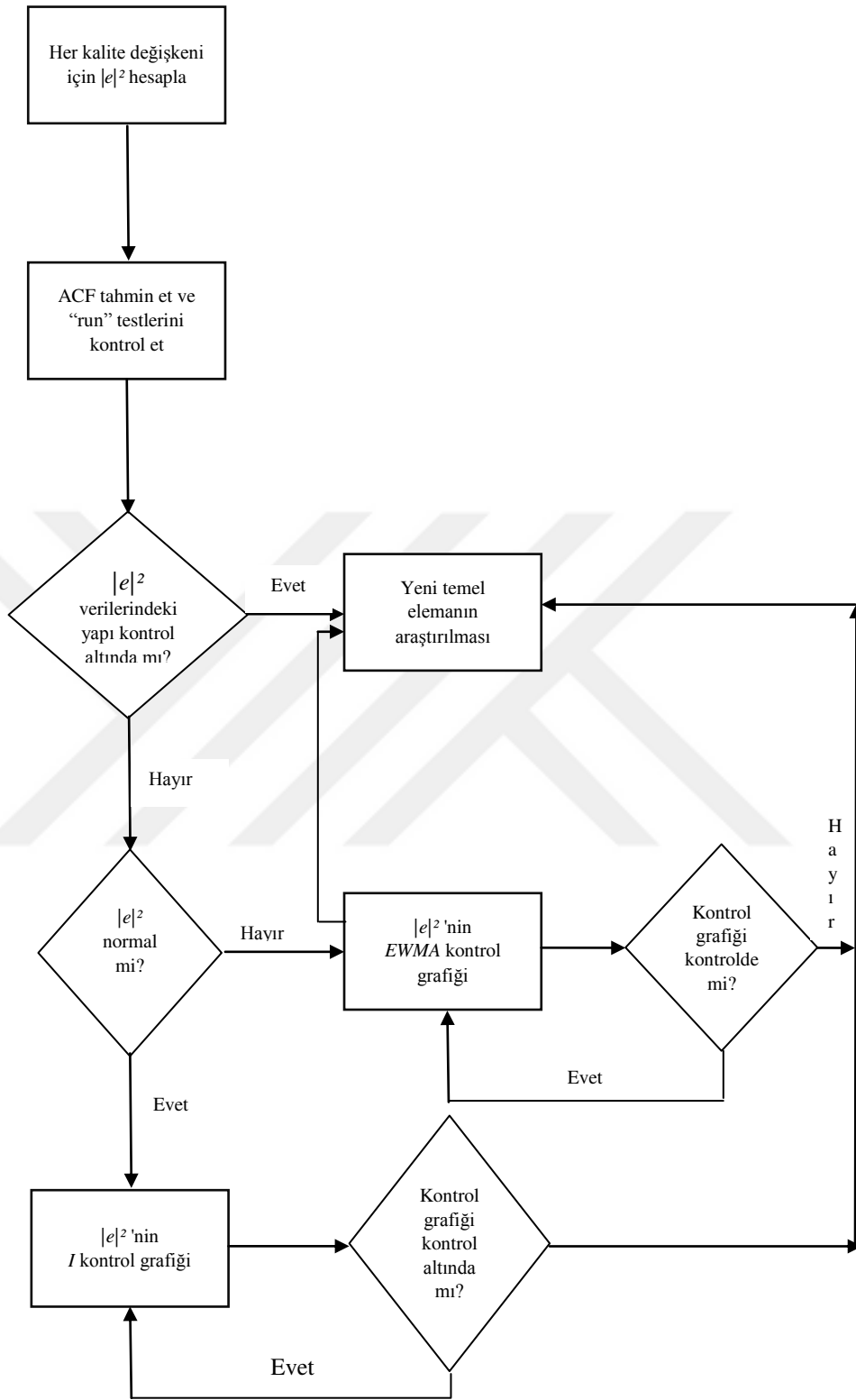
Şekil 2.5 devam: STTG Metodolojisi



Şekil 2.5 devam: STTG Metodolojisi



Şekil 2.5 devam: STTG Metodolojisi



Şekil 2.6: STTG Metodolojisi Hata Teriminin Analizi

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI VE ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL KONTROL GRAFİKLERİ

3.1.GENEL

Günümüzde bilgisayarlar, hem olaylar hakkında karar verebilmekte, hem de olaylar arasında ilişkileri öğrenebilmektedir. Bilgisayarları bu özellikler ile donatan ve bu yeteneklerin gelişmesini sağlayan unsurlar ise zeki sistemlerdir.

Zeki sistemler mühendislik, sosyal bilimler ve bilgisayar bilimlerinde meydana gelen karmaşık ve zor karar problemlerin çözümünde oldukça fazla kullanılmaktadır. Zeki sistemlerin **temel amacı**, geleneksel yolla çözülemeyen gerçek yaşamdaki karmaşık ve zor problemlerin çözümüdür. Zeki sistemlerin **en temel özelliği** ise, bir yandan bilgiye dayalı olarak karar verebilme özelliklerinin olmasından dolayı olaylara ve problemlere çözümler üretirken ve diğer yandan eldeki bilgiler ile olayları öğrenerek sonraki olaylar hakkında karar verebilmeleridir (Öztemel, 2012).

Günümüzde birçok alanda kullanılan zeki teknik çeşitleri bulunmaktadır. Bu tekniklerden bazıları destek vektör makineleri, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları (YSA), bulanık yöntemler, benzetilmiş tavlama, tabu arama, karınca koloni optimizasyonu, parçacık sürü optimazasyonu ve diğer sezgisel yöntemlerdir.

Zeki tekniklerin kullanım alanlarından biri kalite yönetimi alanıdır ve bu teknikler kalite yönetimi problemlerini çözmek için oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü;

- Kalite yönetimindeki problemlerin çoğunun yapısında birçok değişken ve parametreler bulunmaktadır.
- Kalite problemlerindeki veri tipleri genellikle belirsiz, tam olmayan, güvenilmeyen ve belirsiz verilerdir.
- Kalite problemlerindeki veriler, genel olarak problemin modellenmesi veya optimize edilmesi kolay olmayan çok değişkenli verilerdir.

Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı zeki teknikler kalite kontrolünde verileri analiz etmek ve karar almak için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda

bilgisayar ile entegre edilmiş üretim süreçlerinin gelişmesi, kalite kontrolü görevlerinin otomatik olarak yapılmasına imkan tanır.

Zeki karar alma tekniklerden birisi de YSA'dır. Son yıllarda YSA konusu, pek çok uygulama alanında ilgi çekmektedir. Özellikle bilgisayarların birim zamanda yapabildiği işlem sayısının fazlasıyla artmış olması, YSA'nın daha etkin kullanılmasını da sağlamıştır. YSA'nın en fazla model seçimi ve sınıflandırılması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırılması işlerde başarılıdır (Elmas, 2011, 23). Ayrıca, örüntü tanıma uygulamalarında da kullanılmaktadır. Kalite kontrolü uygulamalarında en fazla ileri beslemeli YSA mimarilerin kullanıldığı görülmektedir (Cura, 2008).

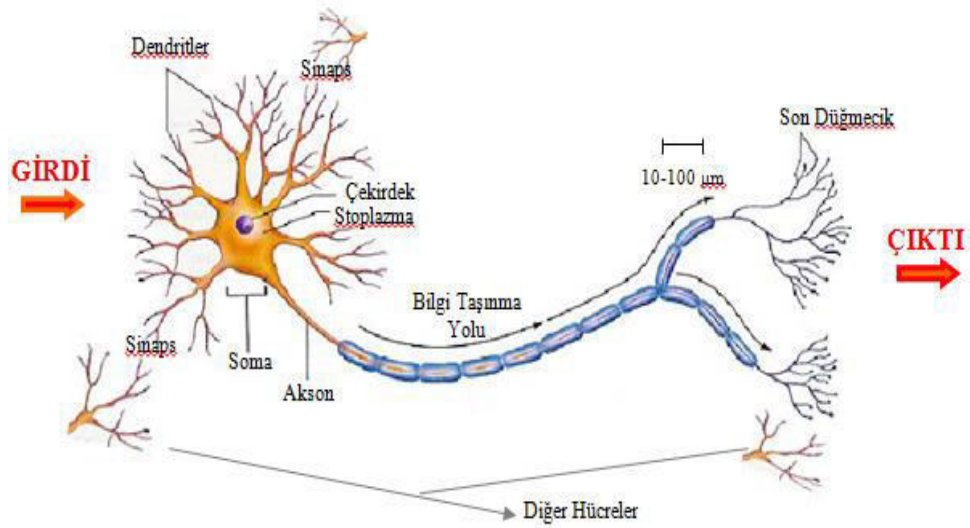
3.2.YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA modelleri, insan beyninin sorunu çözmek üzere kullandığı yöntemi taklit etmeye çalışarak belirli türde problemleri çözmek için tasarlanmış bir yapı olmasına rağmen aynı zamanda çok boyutlu, doğrusal olmayan veriler için de kullanılan modellerdir (Montgomery, Peck ve Vining, 2012). YSA modelleri, insan beyninin bilgiyi dijital bilgisayardan temelde tamamen farklı bir biçimde işlendiğinin anlaşılmasıyla ortaya çıkmıştır.

İnsan beyninden esinlenerek geliştirilmiş olan YSA modelleri, ağırlıklı bağlantılar aracılığı ile birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır (Elmas, 2011, 23). YSA modelleri makine öğrenme algoritmaları, paralel dağıtılmış işlem, doğal zekâ sistemleri gibi çeşitli isimlerle de anılmaktadır.

Yukarıda belirtildiği üzere YSA modelleri, biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Dolayısıyla YSA modellerinin ne olduğunu anlamak için, başlangıçta insan beyninin çalışma mantığını ortaya koymak gerekmektedir.

İnsan beyni, sinir sisteminden ve sinir sistemi de birbiriyle iletişim halinde olan sinir hücrelerinden meydana gelmektedir. Beyindeki sinir hücreleri, akson, çekirdek (*soma*), dendrit ve beyindeki diğer sinir hücrelerine bağlantılardan (*sinaps*) oluşmaktadır (Öztemel, 2012:47). Sinir hücresinin basit bir gösterimi **Şekil 3.1**'de sunulmuştur.



Kaynak: StateMaster. (2015) *The Major Structures of The Neuron*, <http://www.statemaster.com/wikimir/images/upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/bd/Neuron.jpg>, (Erişim Tarihi: 22.02.2015).

Şekil 3.1: Sinir Hücresinin Basit Gösterimi

Burada sinir hücreleri arasında ilişki bağlantılar (*sinaps*) yardımıyla kurulmaktadır. Sinir hücreleri arasındaki bu bağlantılar fiziksel olmayıp sinirler arasındaki elektrik bağlantısının iletilmesini sağlayan boşluklardır. Bir sinir hücresinden alınan sinyaller bağlantılar ve akson yardımıyla sinyalin gittiği somaya gider. Soma gelen bu sinyali işleme tabi tutar ve kendi çıktısını oluşturur. Ancak sinyaller hücre çekirdeğine doğru iletilirken, her biri aynı ağırlıkta ve önemde etkiye bulunmamaktadır. Burada kimi daha yüksek etki gösterirken, kimi ise daha zayıf etki göstermektedir. Daha sonra bu sinyal dentride iletilir (Yılmaz, 2015).

Bir sinir sisteminin çalışma özelliği yukarıda verilen milyarlarca sinir hücresinin bir araya getirilmesiyle oluşmuştur. YSA biyolojik hücrelerin bu özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir.

Literatürde YSA ile ilgili araştırmacılar tarafından yapılan çeşitli tanımlar mevcuttur. Ancak herkes tarafından kabul edilmiş genel bir tanım bulunmamaktadır.

YSA, en genel anlamı ile Öztemel (2012) tarafından “**insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleri**” olarak,

Haykin (1999) tarafından **"Deneyimsel bilgiyi depolamak ve bunların kullanılmasını sağlamak için basit işlem birimlerinden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemci"** olarak,

Sağıroğlu, Beşdok ve Erler (2000) tarafından **"yerel bir hafıza yapısı tanımlayan ve birbirleriyle çeşitli şekillerde bağlantılı olan veri işleme elemanlarının dağıtılmış veriyi geliştirebildikleri paralel bir yapı"** olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda yer alan tanımlar incelendiğinde, YSA beyne iki yönden benzemektedir. Birinci yönü bilgiyi öğrenerek elde eder. İkinci yönü ise öğrendiği bilgiyi prosesler arasındaki bağlantılardaki ağırlıklarda saklar ve kullanır (Haykin, 1999:2).

3.2.1.Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

YSA'nın özellikleri uygulanan ağ modeline ve algoritmasına göre değişmektedir. Ancak literatürde YSA'nın genel özellikleri doğrusal olmama, örnekten öğrenme, paralellik, genelleme yeteneği, uyarlanabilirlik ve hata toleransı olarak yer almaktadır (Kargı, 2015). YSA'nın sayılan bu özellikleri ile ilgili detaylı bilgiler literatürde yer alan YSA ile hazırlanmış birçok kaynakta (Haykin, 1999; Öztemel, 2012) kolaylıkla bulunabilmektedir.

3.2.2.Yapay Sinir Ağlarının Avantajları

YSA'nın literatürde yer alan bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- YSA, öğrenebilme yeteneğine sahiptir ve farklı öğrenme algoritmaları ile öğrenebilirler.
- YSA, uyarlanabilir ve esneyebilir.
- YSA, matematiksel modele ihtiyaç duymaz.
- YSA, kural tabanlı kullanımı gerektirmezler.
- Diğer üstünlükleri ile ilgili hususlar Öztemel (2012) tarafından hazırlanmış "Yapay Sinir Ağları" isimli esere bakılabilir.

3.2.3.Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları

YSA, birçok avantaja sahip olmasına rağmen, bazı dezavantajlara da sahiptir (Öztemel, 2012). Literatürde yer alan dezavantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- YSA'nın en büyük dezavantajı, ağın davranışının açıklanamamasıdır. Bu kapsamda YSA kara kutu olarak adlandırılmaktadır.

- YSA'nın ikinci dezavantajı, sinir ağının bilgisayarın donanımına bağlı olarak çalışmasıdır. Her ağ için belli özelliklerde bilgisayar donanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

- YSA'nın üçüncü dezavantajı, probleme uygun olarak seçilecek ağ modelinin ve bu ağda kullanılacak parametrelerin deneme yanılma yolu ile seçilmesidir. Literatürde bu konularla ilgili olarak kesin bir yöntem bulunmamaktadır.

- YSA'nın dördüncü dezavantajı ise problemin ağa gösterim şeklinde bir standartlığın olmamasıdır.

Ancak yukarıda sayılan dezavantajlarına karşılık günümüzde birçok araştırmacı üstünlüklerinden dolayı birçok alanda YSA yaklaşımını başarılı bir şekilde kullanmaktadır.

3.2.4.Yapay Sinir Ağlarının Yapıları

YSA'lar, proses olarak adlandırılan çok sayıdaki işlem elemanlarının bir araya getirilmesinden oluşur. YSA'ların ilk olarak ortaya konan modellerinden üzerinde en çok çalışılan modeli, proseslerin sıralı bir şekilde art arda bağlanmasından oluşan hiyerarşik sinir ağı yapısı olmuştur.

YSA'ların prosesleri ve bağlantıları çok değişik biçimlerde bir araya getirilebilir. Ağlar bu proses ve bağlantı mimarilerine göre değişik isimler alırlar. Bu durum farklı öğrenme kurallarından ve bu kuralların bir ağı yapısını nasıl değiştirdiğinden kaynaklanmaktadır (Elmas, 2011). Bu kapsamda YSA, çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar şu şekildedir.

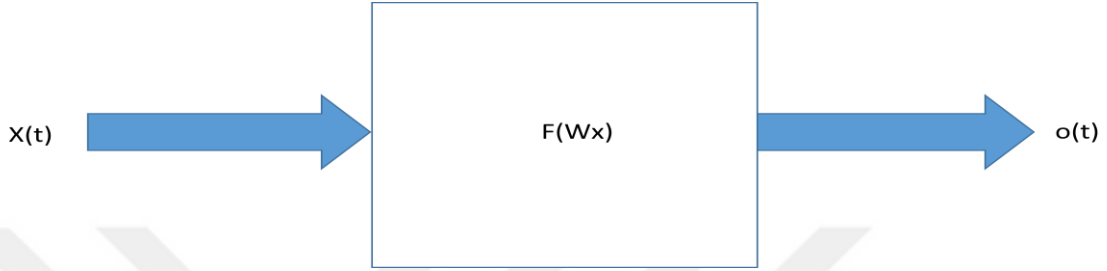
3.2.4.1.Sinirler Arasındaki Bağlantıların Yönlerine Göre

YSA, sinirler arasındaki bağlantıların yönlerine göre **ileri beslemeli** (feedforward) ve **geri beslemeli** (feedback/recurrent) ağlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.2.4.1.1.İleri Beslemeli Ağlar

Reel değerli n boyutlu girdi özel vektörleri şu şekilde ifade edilir; j gizli katman siniri, i girdisini $w(i=1,2,...,n, j=1,2,...)$ ağırlığına göre alır. j birimi x girdi işaretinin ve

w ağırlıklarının bir işlevini hesaplayıp, sonucu sonraki tüm komşu sinirlere iletir. İlk gizli katman gibi ikinci gizli katman sinirleri de ağırlıklarla önceki katmana tam bağlıdır. Bu sinirler de girişlerin ve girişlerin ağırlıklarının bir işlevini hesaplayıp sonucu aktarır. Bu işlem, çıkış katmanındaki sinirler tarafından da yapıldıktan sonra tamamlanır. Bu ağlar, çok katmanlı ileri beslemeli ağlar olarak isimlendirilir. **Şekil 3.2**'de çok katmanlı ileri beslemeli bir ağ görülmektedir.

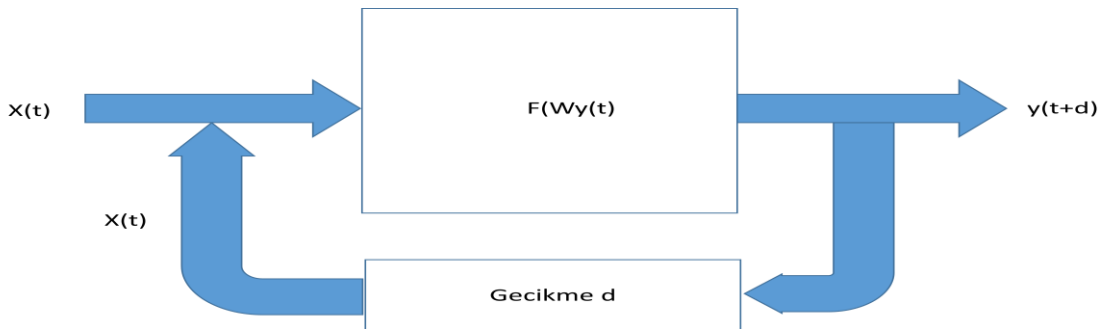


Kaynak:Burmaoğlu, S. (2009). "Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Beşeri Kalkınma Endeksi verilerini kullanarak diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının sınıflandırma başarılarının değerlendirilmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 72, Erzurum.

Şekil 3.2:Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağ Modeli

3.2.4.1.2.Geri Beslemeli Ağlar (feedback/recurrent)

Bir geri beslemeli YSA, çıkış ve arakatman çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır. Bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. **Şekil 3.3**'de çok katmanlı ileri beslemeli bir ağ görülmektedir.



Kaynak:Burmaoğlu, S. (2009). "Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Beşeri Kalkınma Endeksi verilerini kullanarak diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının sınıflandırma başarılarının değerlendirilmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 72, Erzurum.

Şekil 3.3:Çok Katmanlı Geri Beslemeli Ağ Modeli

3.2.4.2.Katmanlar Arası Bağlantı Çeşitlerine Göre

Katmanlar arasında kullanılan değişik türde bağlantılar vardır. Elmas (2011) tarafından yapılan bağlantı çeşitleri gruplaması şunlardır.

Tam Bağlantılı: İlk katmandaki her sinir ikinci katmandaki her sinire bağlıdır.

Kısmi Bağlantılı: İkinci katmanda bir sinir, birinci katmandaki her sinire bağlı değildir.

İleri Beslemeli: İlk katmandaki sinirler çıkışlarını ikinci kat sinirlere gönderir, fakat ikinci kat sinirlerinden geri bir giriş almazlar. İleri beslemeli bağlantılar tam veya kısmi olabilir.

Çift Yönlü: İkinci katman sinirlerinin çıkışlarını birinci katman sinirlerine taşıyan bir başka bağlantı kümesi vardır. Çift yönlü bağlantılar tam veya kısmi olabilir.

Hiyerarşik: Eğer sinir ağı hiyerarşik yapıya sahipse, düşük katmanların sinirleri bir sonraki seviyedeki katmanın sinirlerine iletilebilir.

Rezonans: Çift yönlü bağlantılı katmanlar ve kesin durum oluşuncaya kadar defalarca mesajı bağlantı üzerinden göndermeye devam edebilir.

Yukarıda sayılan bu bağlantı çeşitlerinden en yaygın kullanımı olan bağlantılar ise, **tam bağlantılı** ve **kısmi bağlantılı** olan ağlardır (Psarakis, 2011).

3.2.4.3.Sinirler Arası Bağlantıya Göre

Tekrarlamalı ve merkez/çevre dışı olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.2.4.4.Uygulamaya Göre

Off-line ve on-line öğrenme yaklaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır. Off-line öğrenme de, ağ kullanıma alınmadan elde bulunan hazır örneklemeler ile eğitilir ve on-line olarak kullanıma sunulur. Ağ kullanımda iken ağırlıkları değiştirilmez. Eğer ağırlıkların değiştirilmesine ihtiyaç duyulursa, ağ on-line olarak kullanımdan çıkarılır ve geçmiş veriler kullanılarak ağırlıklar değiştirilir. On-line öğrenmede ise kullanımda olan ağ kullanımdan çıkartılmadan eğitilir.

3.2.4.5.Öğrenme Stratejilerine Göre

Literatürde çeşitli çalışma alanlarına göre değişik öğrenme kuralları ve bu öğrenme kurallarına dayalı olarak geliştirilmiş birçok öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Günümüzde temel olarak kabul edilen dört tip öğrenme kuralı bulunmaktadır. Bu öğrenme kuralları Hebb, Delta, Kohonen ve Hopfield öğrenme kurallarıdır. Öğrenme kurallarının çoğunluğu bu temel öğrenme kurallarından esinlenerek üretilmiştir. Ayrıca Delta, Kohonen ve Hopfield öğrenme kuralları da, Hebb öğrenme kuralından üretilmiştir. YSA'da öğrenme işlemi, karışık, çok parametrelili ve matematiksel olarak modellenmesi oldukça zor bir iştir.

Hebb öğrenme kuralı, **"bir nöron diğer bir nörondan giriş alıyorsa, her iki nöronda aktif ise nöronlar arasındaki ağırlık değeri kuvvetlendirilir"** prensibine, Hopfield öğrenme kuralı, **"eğer istenilen çıkış ve girişin her ikisi aktif veya her ikisi de aktif değilse, öğrenme oranı tarafından bağlantı ağırlığı artırılır, diğer durumlarda ise azaltılır."** prensibine, Delta öğrenme kuralı, **"nöronun gerçek çıkışı ile istenen çıkış değerleri arasındaki farkı azaltan, giriş bağlantılarını güçlendiren ve sürekli olarak değiştiren"** düşünceye yani **"ortalama karesel hatayı bağlantı ağırlık değerlerinin değiştirilmesiyle düşürme"** prensibine, Kohonen öğrenme kuralı, **"kazanan tamamını alır"** prensibine dayanmaktadır (Öztemel, 2012).

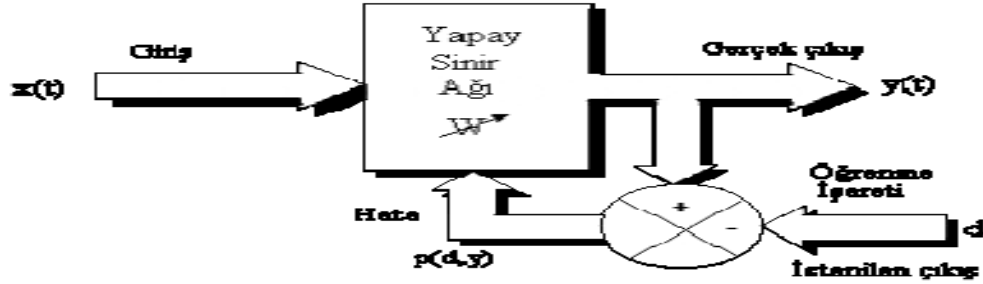
Ağların eğitimi için kullanılan öğrenme algoritmaları, öğrenme kurallarına göre, **danışmanlı öğrenme** (supervised learning), **danışmansız öğrenme** (unsupervised learning) ve **pekiştirerek öğrenme** (reinforcement learning) olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

3.2.4.5.1.Danışmanlı Öğrenme (supervised learning)

Danışmanlı öğrenmede, istenen ağ çıkışının elde edilebilmesi için çıkış hatasının düşürülmesinde YSA'nın ağırlıklarının uyarlanabilir hale getirilmesini gerekli kılar. Bu öğrenme tipinde her giriş değeri için arzu edilen çıkış sisteme gösterilir ve YSA'nın giriş ve çıkış ilişkisini gerçekleştirene kadar aşama aşama ayarlar.

Danışmanlı öğrenmede, sistemin olayı öğrenebilmesi için bir öğretmen yardımcı olmaktadır. Sistemin öğrenmesi için öğretmen tarafından öğrenilmesi istenen olay ile ilgili örnekler ağa girdi ve çıktı şeklinde verilir (Zurada, 1992:57). Yani olayla ilgili örneklerin girdileri sisteme verilirken diğer yandan bu örneklerin çıktıları da sisteme

gösterilir. İstenilen ve gerçek çıktı arasındaki hataya göre katmanlar arası bağlantıların ağırlığını en uygun çıkışı elde etmek için çalışılır. Bu sayede sistem tarafından olayın girdileri ile çıktıları arasındaki ilişki öğrenilmektedir. **Şekil 3.4**'de danışmanlı öğrenmenin şekilsel gösterimi görülmektedir.

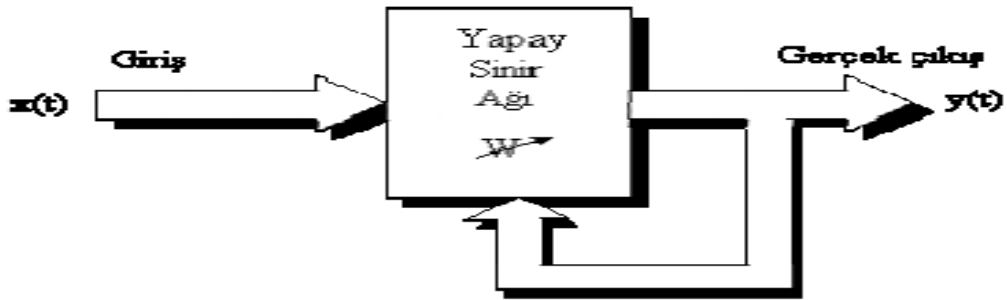


Kaynak:Burmaoğlu, S. (2009). "Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Beşeri Kalkınma Endeksi verilerini kullanarak diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının sınıflandırma başarılarının değerlendirilmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 73, Erzurum.

Şekil 3.4:Danışmanlı Öğrenmenin Şekilsel Gösterimi

3.2.4.5.2.Danışmansız Öğrenme (unsupervised learning)

Danışmansız öğrenmede, sistemin olayı öğrenebilmesi için herhangi bir öğretmene ihtiyaç duyulmamaktadır. Sisteme sadece girdi değerleri gösterilir, çıktı değerleri gösterilmez. Sisteme gösterilen örneklerin parametrelerin arasındaki ilişkilerin sistem tarafından kendi kendine öğrenmesi beklenilir (Zurada, 1992:57). Danışmansız öğrenme, danışmanlı öğrenmeye göre çok daha hızlıdır ve matematiksel algoritmaları da daha basittir. **Şekil 3.5**'de danışmansız öğrenmenin şekilsel gösterimi görülmektedir.



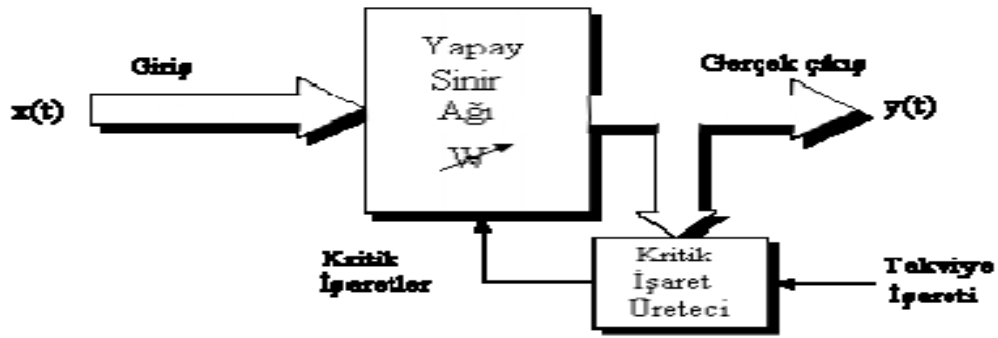
Kaynak:Burmaoğlu, S. (2009). "Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Beşeri Kalkınma Endeksi verilerini kullanarak diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının sınıflandırma başarılarının değerlendirilmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 74, Erzurum.

Şekil 3.5:Danışmansız Öğrenmenin Şekilsel Gösterimi

3.2.4.5.3. Pekiştirerek Öğrenme (reinforcement, graded)

Pekiştirerek öğrenmede, sistemin olayı öğrenebilmesi için bir öğretmen yardımcı olmaktadır. Bu öğrenme yönteminde, öğretmen sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktılarını üretmesini bekler ve üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir.

Pekiştirerek öğrenmede, ağlar doğrudan gerçek ağ çıkışını vermez, ancak ağların çıkışını iyi veya kötü olarak değerlendirmesini yapar. Bu ağların performans bilgisi genellikle ikili sayıdır. **Şekil 3.6**'da pekiştirerek öğrenmenin şekilsel gösterimi görülmektedir.



Kaynak: Burmaoğlu, S. (2009). "Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Beşeri Kalkınma Endeksi verilerini kullanarak diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının sınıflandırma başarılarının değerlendirilmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 74, Erzurum.

Şekil 3.6: Pekiştirerek Öğrenmenin Şekilsel Gösterimi

3.2.4.6. Öğrenme Stratejilerine Göre YSA Çeşitleri;

Öğrenme stratejilerine göre en çok kullanılan YSA çeşitleri **Tablo 3.1**'de yer almaktadır (Elmas, 2011).

Tablo 3.1: Öğrenme Stratejilerine Göre YSA çeşitleri

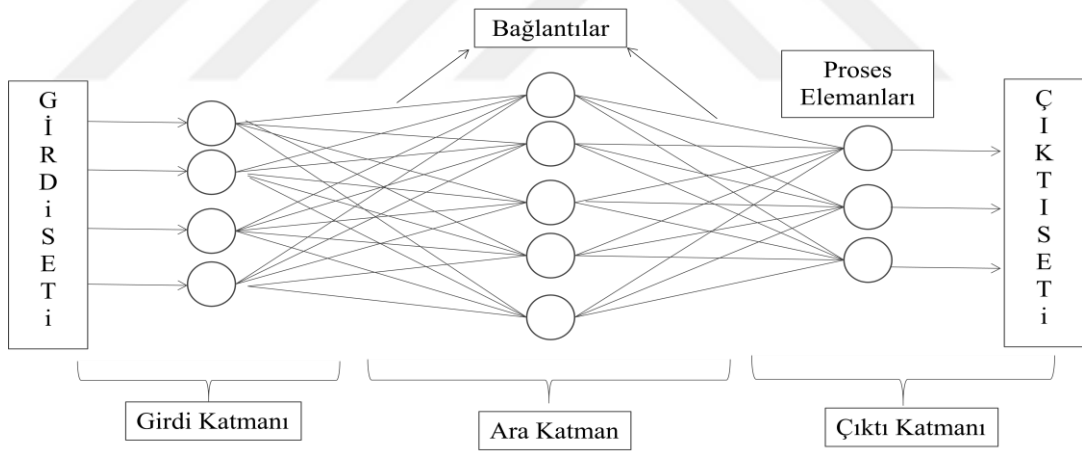
Danışmansız	Danışmanlı
- Perceptron	- Hopfield Ağı
- Çok katmanlı Perceptron	- Olasılıksal Sinir Ağları
- Geri Yayılım Ağı	- Uyarlanırlı Rezonans Ağı
- Daha Yüksek Düzeyli Sinir Ağı	- Özörgütlemeli Harita Ağı
- İşlevsel Bağ Ağı	- Boltzman Makinesi

- Hamming Ağı
- Geri yayma Özörgütlemeli Harita Ağı
- Karşı Yayma Ağı
- Öğrenme Vektör Nicelendirmesi
- Rekabetçi Öğrenme Ağları

Kaynak:Ç.Elmas, Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayınevi, 2011, 69.

3.2.5.Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Temel Bileşenleri

YSA, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanlarından oluşan ve genellikle paralel işleyen yapılardır. Bu tür ağlar giriş katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Bu katmanlar ve her katmanda bulunan proses elemanları arasındaki ilişkiyi gösteren bir YSA'nın basit gösterimi **Şekil 3.7**'dedir. **Şekil 3.7**'de yer alan gösterimde yuvarlak şekiller proses elemanlarını temsil etmektedir. Bu proses elemanlarını birbirine bağlayan çizgiler ise YSA'da bağlantıları göstermektedir. Dolayısıyla katmanlarda yer alan proses elemanları ve bağlantıları basit bir YSA'yı oluşturmaktadır.



Kaynak:E.Öztemel, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınları, 2012, 53.

Şekil 3.7:Yapay Sinir Ağlarının Basit Gösterimi

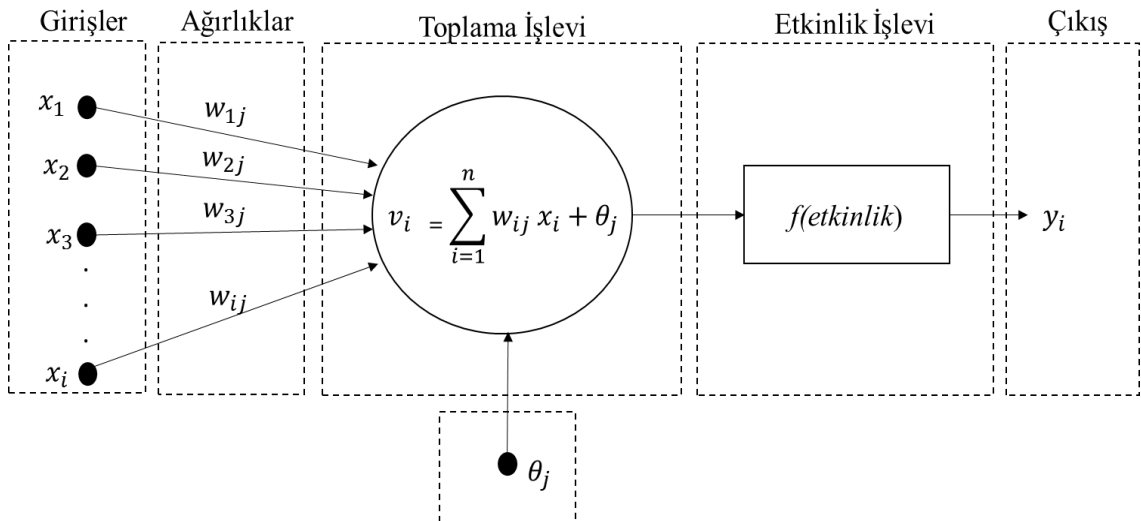
YSA'nın temel çalışma prensibi, kendisine girdi olarak gösterilen bir giriş setini çıktı setine çevirmek olarak açıklanabilir. Tabi ki doğru çıktıya ulaşabilmek için ağın kendisine gösterilen giriş örneklerini doğru çıktıya ulaşabilecek şekilde eğitilmiş olması gerekmektedir. İlk olarak ağı girdi olarak gösterilecek örnekler bir vektör haline getirilir. Daha sonra ağın girdi vektörüne karşılık çıktı vektörünün elde edilmesi

sağlanır. Bu çıktı vektörünün doğru çıktı vektörünün elde edilinceye kadar ağırlık parametre değerleri değiştirilir.

YSA, bir girdi vektörünü istenen özelliklerde bir çıktı vektörüne dönüştürülmesi konusunda eğitilebilir ve bu duruma parametre değerleri değiştirilebilir. Ancak bu işlemin nasıl yapıldığı ile ilgili ağ bilgi verememektedir. Ağın bu özelliğine literatürde kara kutu yaklaşımı olarak isimlendirilmektedir. Kara kutu yaklaşımında ağ, girdileri alıp çıktıları vermektedir. Ancak bu işlemi nasıl yapıldığı ile ilgili bilgi verememektedir.

YSA, süreç elemanları olarak adlandırılan yapay proses elemanlarından oluşmaktadır (Trippi ve Turban, 1996). Genel olarak YSA'nın yapısı ve temel bileşenleri girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş temel elemanı vardır (Tsaukalas ve Uhrig, 1997) ve **Şekil 3.8**'de yer almaktadır.

Giriş katmanı girişleri, giriş katmanı ve gizli katman arasındaki ağırlıklar ile çarpılarak gizli katmana iletilmektedir. Gizli katmana gelen bu değerler gizli katmanda toplanır. Daha sonra bu değerler giriş katmanında olduğu gibi gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirler de, gelen bu değerleri toplayarak uygun çıkışlar üretir.



Kaynak:Ç.Elmas, Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayınevi, 2011, 32.

Şekil 3.8:Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı ve Temel Bileşenleri

Şekil-3.8'de girişler x_i sembolü ile gösterilmiştir. Bu girişlerin her biri ağırlık w ile çarpılır. Basitçe bu ürünler eşik değeri θ_j ile toplanır. Sonucu oluşturmak için etkinlik işlevi ile işlem yapılır ve y_i çıkışı alınır.

3.2.5.1.Girişler

Çevreden veya kendinden önceki sinirlerden alınan bilgi, sinir ağına giriş katmanı ile getirilir. Giriş verileri ham veriler veya bu ham verilerden özellik çıkarma ile elde edilen veriler olabilir. Giriş verilerin ham veri yani çok sayıda olması sinir ağı mimarisinin büyük olmasını sağlar. Bu durum performansın düşmesine sebep olabilmektedir.

3.2.5.2.Ağırlıklar

Ağırlıklar iki proses arasındaki bağlantının gücünü ölçer ve bir prosesin çıktısını belirleyebilir ya da engelleyebilir (Burmaoğlu, 2009). Bir ağırlığın değerinin büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması ya da önemli olması, küçük olması, zayıf bağlanması ya da önemli olmaması anlamına gelmektedir (Elmas, 2011). Ağırlıkların değiştirilmesi ise sinir ağlarının öğrenmesi olarak tanımlanabilir.

3.2.5.3.Toplama işlevi

Toplama işlevi v_i , sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamalarını eşik değeri θ_j ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama işlevi minimum, maksimum, çoğunluk veya birkaç normalleşme algoritması gibi çok daha karmaşık olabilir (Elmas, 2011). Literatürde yapılan araştırmalarda toplama fonksiyonu olarak değişik fonksiyonların kullanıldığı görülmektedir. **Tablo 3.2'**de literatürde kullanılan çeşitli toplama fonksiyonları yer almaktadır (Öztemel, 2012). **Tablo 3.2'**de yer alan toplama fonksiyonlarına bakıldığında bazı toplama fonksiyonlarında sadece gelen girdilerin değeri önemli olurken bazılarında ise girdilerin sayısı önemli olmaktadır. Bir problem için hangi toplama fonksiyonu kullanılacağı ile ilgili şu ana kadar genel bir yöntem bulunmuş değildir. Genellikle deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Her proses elemanı aynı toplama fonksiyonunu kullanabileceği gibi farklı toplama fonksiyonuna da sahip olabilir. Bu durum tamamen YSA'yı tasarlayan araştırmacının vereceği bir karardır.

Tablo 3.2:Literatürde Kullanılan Çeşitli Toplama Fonksiyonları

Net giriş	Açıklama
Çarpım Net Girdi= $\prod G_i A_i, i=1, \dots, N$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır. Daha sonra bulunan değerler birbiri ile çarpılarak net girdi hesaplanır.
Maksimum Net Girdi= $\max(G_i A_i), i=1, \dots, N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en büyüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Minimum Net Girdi= $\min(G_i A_i), i=1, \dots, N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en küçüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Çoğunluk Net Girdi= $\sum \text{sgn}(G_i A_i), i=1, \dots, N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra pozitif veya negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Kümülatif Toplam Net Girdi= $\text{Net}(\text{eski}) + \sum(G_i A_i), i=1, \dots, N$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

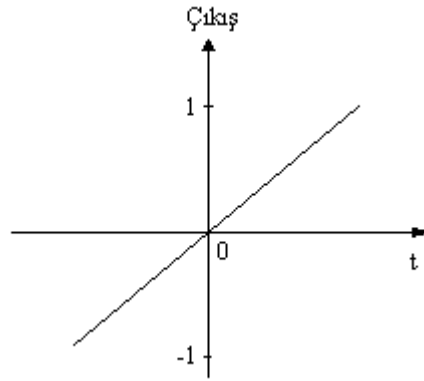
Kaynak:E.Öztemel, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınları, 2012, 50.

3.2.5.4.Etkinlik İşlevi veya Aktivasyon Fonksiyonu

Etkinlik işlevi, girdi verileri ve ağırlıklara karşılık prosesin çıktısını belirleyen matematiksel bir denklemdir. Etkinlik işlevine aktivasyon fonksiyonu da denmektedir. Bir etkinlik işlevinin kullanım amacı, zaman söz konusu olduğunda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin vermektir (Elmas, 2011). Toplama fonksiyonunda olduğu gibi bir sinir ağının bütün proseslerinde hep aynı aktivasyon fonksiyonunun kullanılması şart değildir. Bir problem için uygun aktivasyon fonksiyonunun bulunması deneme yanılma yolu ile bulunmaktadır. Tabi ki kurulan modelin çıktısının alacağı değerler uygun aktivasyon fonksiyonunun seçiminde önemlidir. Bazı modeller bu fonksiyonunun türevlenebilir olmasını şart koşmaktadır. Etkinlik işlevinde kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından bazıları aşağıda açıklanmıştır.

3.2.5.4.1.Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu

YSA'nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon **Şekil 3.9**'da yer almaktadır. İşlemci elemanın girişini doğrudan işlemci elemanın çıkışı olarak verir.



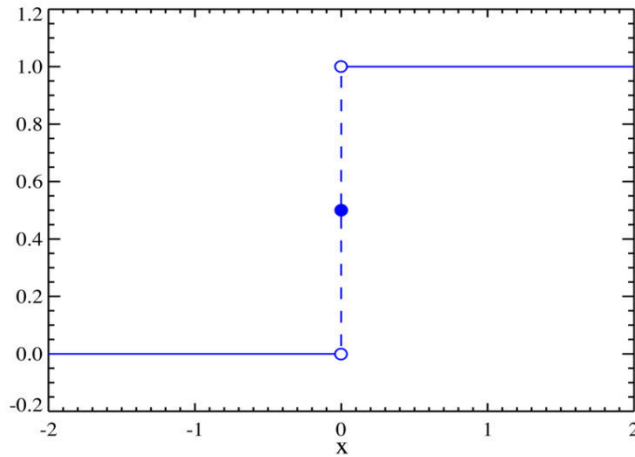
Şekil 3.9: Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.4.2. Basamak Dönüştürme Fonksiyonu

Basamak fonksiyonu tek veya çift kutuplu olabilir. Bu fonksiyonun matematiksel formülasyonu **denklem 3.1**'de ve grafik şekli ise **Şekil 3.10**'da gösterilmektedir. Persepton olarak bilinen işlemci elemanı, bu fonksiyon olarak işlem görür.

$$y = F(v) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$y = F(v) = \begin{cases} -1, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$$



Şekil 3.10: Basamak Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.4.3. Kutuplamalı Basamak Dönüştürme Fonksiyonu

Kutuplama değeri tek kutuplu ve çift kutuplu basamak fonksiyonunun her ikisine de eklenmiş olabilir. Aktivasyon fonksiyonu eşik seviyesi θ 'yı aştığı zaman nöron

aktiftir denir. Kutuplamalı Basamak Dönüştürme Fonksiyonu (tek kutuplu) **denklem 3.2**'de yer almaktadır.

$$y = F(v) = \begin{cases} 0, & w.x < 0 \\ 1, & w.x \geq 0 \end{cases} \quad (3,2)$$

3.2.5.4.4.Parçalı Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu

Bu fonksiyon küçük aktivasyon potansiyeli için α kazancı olan bir doğrusal toplayıcı olarak çalışır. Büyük aktivasyon potansiyeli için nöron doyuma ulaşır ve çıkış işareti 1 olur. Büyük kazançlar için $\alpha \rightarrow \infty$ iken parçalı doğrusal fonksiyon bir basamak fonksiyonuna dönüşür. Parçalı Doğrusal Dönüştürme Fonksiyonu'nun matematiksel formülasyonu **denklem 3.3** 'de yer almaktadır.

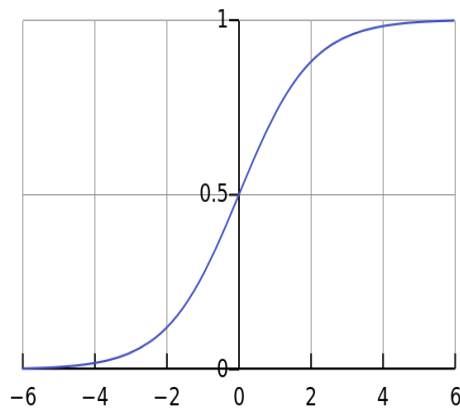
$$y = F(v) = \begin{cases} 0, & v < -1/2\alpha \\ 1, & v \geq 1/2\alpha \\ \alpha v + 1/2 & |v| \leq 1/2\alpha \end{cases} \quad (3,3)$$

3.2.5.4.5.Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu

Lojistik dönüştürme fonksiyonu bir nörondaki değerin $n_i \in [0,1]$ aralığında kalmasını sağlar. Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu, **denklem 3.4**'de yer almaktadır.

$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3,4)$$

Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu'nda verilmiş olan t parametresi bir çeşit hassaslık derecesi olarak kullanılır. Fonksiyonun farklı t değerleri için grafiği **Şekil 3.11**'de gösterilmektedir.

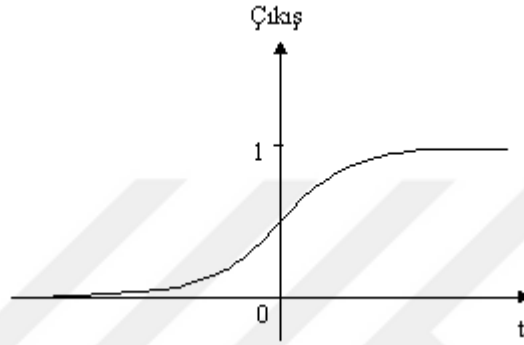


Şekil 3.11:Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.4.6.Sigmoid Tipi Dönüştürme Fonksiyonu

YSA'da en fazla kullanılan aktivasyon fonksiyonu, Sigmoid Tipi Dönüştürme Fonksiyonu'dur. Literatürde tek kutuplu aktivasyon fonksiyonu olarakta bilinir. Sigmoid Tipi Dönüştürme Fonksiyonu'nun matematiksel formülasyonu **denklem 3.5**'de ve grafiksel gösterimi ise **Şekil 3.12**'de gösterilmektedir.

$$y = \frac{1}{1+e^{-v}} = \frac{1}{2} (\tanh(v/2) + 1) \quad (3,5)$$



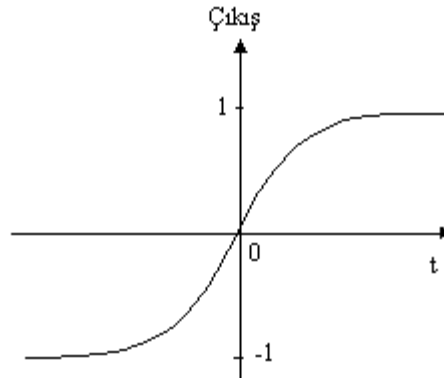
Şekil 3.12:Sigmoid Tipi Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.4.7.Hiperbolik Tanjant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu

Lojistik dönüştürme fonksiyonuna benzer biçimde bir nörondaki değerini $n_i \in [-1,1]$ aralığında kalmasını sağlar. Hiperbolik Tanjant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu, **denklem 3.6**'da yer almaktadır.

$$g(x) = \frac{\frac{x}{e^t} - \frac{x}{e^{-t}}}{\frac{x}{e^t} + \frac{x}{e^{-t}}} \quad (3,6)$$

Fonksiyonun farklı t değerleri için grafiği **Şekil 3.13**'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13:Hiperbolik Tanjant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.4.8.Hiperbolik Secant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu

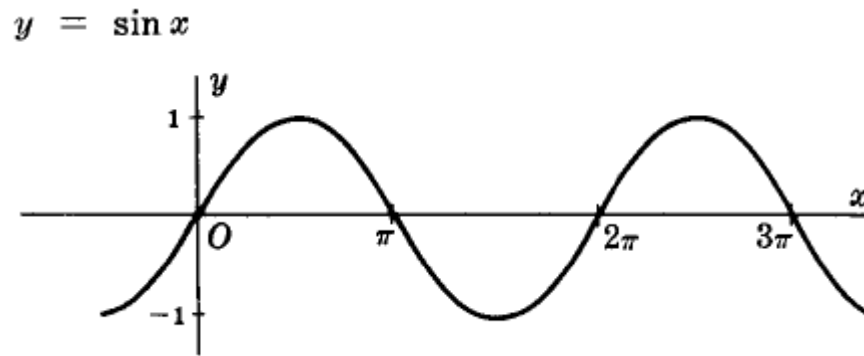
YSA'da, Hiperbolik Secant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu az kullanılan bir dönüştürme fonksiyonudur. Hiperbolik Secant Tipli Dönüştürme Fonksiyonu, **denklem 3.7'**de yer almaktadır.

$$g(x)=\begin{cases} 1 & \text{eğer } x = 0 \\ \frac{2}{e^x - e^{-x}} & \text{değilse} \end{cases} \quad (3,7)$$

3.2.5.4.9.Sinüs Tipli Dönüştürme Fonksiyonu

Sinüs Tipli Dönüştürme Fonksiyonu, **denklem 3.8'**de ve grafiksel gösterimi ise **Şekil 3.14'**de yer almaktadır.

$$g(x)=\sin(x) \quad (3,8)$$



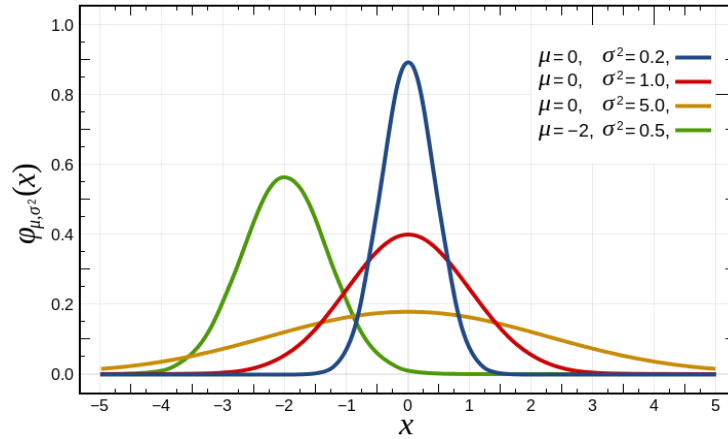
Şekil 3.14:Sinüs Tipli Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.4.10.Gauss Dönüştürme Fonksiyonu

Gauss Dönüştürme Fonksiyonu, Lojistik Dönüştürme Fonksiyonu gibi bir nörondaki değerin $n_i \in [0,1]$ aralığında kalmasını sağlar. **Denklem 3.9'**da gösterilen fonksiyon, Gauss Dönüştürme Fonksiyonu'dur.

$$g(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c}} \quad (3,9)$$

Fonksiyonun farklı t değerleri için grafiği **Şekil 3.15** 'de gösterilmektedir.



Şekil-3.15:Gauss Dönüştürme Fonksiyonu

3.2.5.5.Çıkış

Çıkış katmanında bulunan proses elemanları ara veya gizli katmandan gelen bilgileri işleyerek ağıın girdi katmanından sunulan girdi veri seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir. Yani **Şekil-3.8** incelendiğinde çıkış $y_i=f(s)$, etkinlik işlevi sonucunda dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerdir. Her bir sinirin birçok girişi olmasına rağmen tek bir çıkışı vardır. Bu çıkış diğer yüzlerce sinirin girişi olabilir. Bu durum biyolojik sinirlerde olduğu gibidir. Biyolojik sinirde de birçok giriş varken sadece bir çıkış etkinliği vardır.

Yukarıda bir YSA'nın sahip olması gereken ana kısımları anlatılmıştır. Bu anlatılan hususlar çerçevesinde biyolojik sinirler ile yapay sinir arasındaki benzerlikler **Tablo 3.3**'deki gibi gösterilebilir.

Tablo 3.3:Biyolojik Sinir Sistemi ile YSA'nın Benzeşimleri

Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağı
Sinir sistemi	Sinirsel hesaplama yöntemi
Sinir	Düğüm
Sinaps	Sinirler arası bağlantı ağırlıkları
Dendrit	Toplama işlevi
Hücre gövdesi	Etkinlik işlevi
Akson	Sinir çıkışı

Bir örnek, YSA'ya gösterildiğinde istenilen çıktı değerinin elde edilmesi istenir. İstenilen çıktı değerin veya en yakın değerin elde edilmesi için ağıın bağlantı değerleri değiştirilir. Ağda istenilen çıktı değerine en yakın değer elde edinceye kadar ağıın bağlantı değerleri değiştirilir ve istenilen değer elde edildiğinde sonlandırılır. İşte bu olaya ağıın öğrenmesi denmektedir. Başlangıçta bu bağlantı değerleri rastgele atanır.

Ağın ağırlıklarının değerleri belli kurallara göre değiştirilmektedir. Bu kurallara da ağın öğrenme kuralları denir. Literatürde çeşitli öğrenme kuralları bulunmaktadır. Ağın eğitimi bu öğrenme kurallarına göre tamamlandıktan sonra ağın öğrenip öğrenmediğinin test edilmesine ise ağın test edilmesi denmektedir. Ağın eğitimi ve testinde ağın görmediği farklı örneklemeler kullanılmaktadır. Eğitim esnasında kullanılan eğitim veri setine eğitim seti ve test aşamasında kullanılan eğitim setine ise test veri seti olarak adlandırılmaktadır. Eğitim esnasında ağın ağırlık değerleri değiştirilir ancak test aşamasında ise değiştirilemez.

Literatürde şu ana kadar birçok YSA modelleri geliştirilmiştir. Öztemel (2012)'e göre bir YSA modelini şu bilgiler karakterize etmektedir.

- Ağın topolojisi,
- Kullanılan toplama fonksiyonu,
- Kullanılan aktivasyon fonksiyonu,
- Öğrenme stratejisi,
- Öğrenme kuralı.

3.2.6.Yapay Sinir Ağlarının Tasarlanması

Literatürde yapılan araştırmalar ve edinilen tecrübelerle göre YSA'nın tasarlanmasında genel olarak izlenecek yol aşağıda yer verilmiştir.

3.2.6.1.Örneklerin Toplanması

YSA ile birçok doğrusal olmayan problemler çözülebilmektedir. Bunun başarılabilmesi için YSA uygulamalarında uygun yaklaşımın belirlenmesi önem taşır. Bu kapsamda yapılması gereken ilk adım örneklerin toplanmasıdır.

Seçilen örneklerin problem uzayını temsil etmesi gerekmektedir. Bazı araştırmacılar çalışmalarda problem uzayının bir kısmını veya uç değerlerini ağa göstermektedir ve ağın bütün problem uzayını öğrenmesini istemektedir. Tabi ki bu durumlarda ağın bunu yapması mümkün olmamaktadır. Çünkü örneklemin evreni temsil etmemesi durumunda yanlış sonuçlara ulaşılmaktadır. Çekildiği evreni tam olarak yansıtmayan ya da evren içindeki bazı alt gruplara örnekleme daha fazla yer veren örnekleme yanlış örneklem denir. Yanlış örneklemden elde edilecek bilgilerle evrene genelleme yapmak evrendeki gerçek durum hakkında yanıltıcı bilgiler verecektir. Bu

kapsamda ağ tasarımcılarının örneklemeleri tüm problem uzayın her bölgesinden ve problemi temsil edebilecek şekilde seçmesi gerekmektedir.

YSA'da evreni temsil eden örneklem elde edildikten sonra örneklem eğitim, test ve çapraz geçerlik veri seti olmak üzere üç gruba ayrılır. YSA'nın eğitiminde kullanılacak örnek setine eğitim veri seti, testinde kullanılacak örnek setine test veri seti ve modelin geçerliliğinin kontrolünde kullanılacak veri setine ise çapraz geçerlik veri seti olarak adlandırılır. Örneklemin hangi oranlarda eğitim, test ve çapraz geçerlik veri seti olarak ayrılacağı ile ilgili literatürde çeşitli yaklaşımlarda bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda bu oran % 80 eğitim verisi ve % 20 test verisi iken, bazı çalışmalarda ise % 60 eğitim verisi, % 20 test verisi ve % 20 çapraz geçerlilik verisi olarak seçilmekte olup problemin durumu ve araştırmacının tercihinine göre değişmektedir. Burada önemli olan husus, problemin literatürde uygulamalarının araştırılması ve uygulama örneklerinin bulunmasıdır. Eğer bulunamaması durumunda ise en basit şekilde deneme yanılma ile eğitim setinin, test veri setine göre sayıca fazla olacak şekilde seçilerek en uygun karar verilmelidir.

3.2.6.2.Örneklerin Ağa Sunulma Şekli

Örneklerin YSA'ya sunulma şekli ağın performansını etkilemesinden dolayı oldukça önemlidir. Literatür incelendiğinde en çok kullanılan iki yöntemin olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin YSA'ya sunulmasının iki şekli, sıralı sunulma ve rastgele sunulmadır.

Sıralı sunulma şeklinde, örnek setindeki örnekler sıra ile ağa sunulur. Bu işlem, öğrenme sağlanıncaya kadar devam eder. Sıralı sunulma şeklinde, örnek setindeki bütün örneklerin ağa gösterilme şansları eşittir.

Rastgele sunulma şeklinde, örnek setindeki örnekler ağa rastgele sunulur. Bu sunulma şeklinde iki durum oluşmaktadır. Birinci durumda seçilen bir örnek tekrar örnek setine atılır ve rastgele tekrar seçim yapılır. İkinci durumda ise seçilen bir örnek örnek setine bir daha atılmaz. Veri seti içinde kalanlar arasından rastgele tekrar örnek seçilerek ağa sunulur.

En çok tercih edilen örneklerin ağa sunulma şekli, rastgele sunulma şeklidir.

3.2.6.3.Yapay Sinir Ağı'nın Topolojisinin Seçilmesi

Örneklem seçilmesinden hemen sonra uygulanacak diğer adım probleme uygun olacak şekilde YSA'nın topolojisinin seçilmesi ve tasarlanmasıdır. Bir YSA'yı kurarken dikkat edilmesi gereken sekiz kritik faktör bulunmaktadır. Başarılı bir YSA'nın tasarımı en önemli faktörler;

- Bir uygulamaya göre uygun YSA modelini seçme,
- Eğitim ve test setleri ve bu setlerde kullanılacak olan normalizasyon seviyelerinin belirlenmesi,
- Seçilen yapıya uygun giriş, arakatman ve çıkış sayılarının belirlenmesi,
- Yeteri kadar ara katman düğüm sayılarının seçilmesi,
- Bu modele uygun parametrelerin ve öğrenme algoritmaların seçilmesi,
- Seçilen düğümlerde kullanılacak aktivasyon veya transfer fonksiyonunun belirlenmesi hususlarıdır. Ayrıca Saithanu (2006) tarafından bu hususlara birde bağlantı yöntemi eklenmektedir. Bu hususları belirlemek oldukça çok deneyim ve araştırma gereklidir.

3.2.6.3.1.Yapay Sinir Ağı Modelini Seçme

YSA'ların düğümleri ve bağlantıları çok değişik biçimde bir araya getirilerek oluşturulabilir. Ağlar bu düğüm ve bağlantı mimarilerine göre değişik isimler almaktadır. Literatürde farklı problemlerin çözümü için çok farklı YSA modelleri önerilmektedir.

Bir YSA modeli her zaman farklı problemleri çözememektedir. Bazı alanlarda danışmanlı öğrenme kullanılırken diğerinde danışmansız öğrenme kullanılabilir. Bazı modellerde çıktı için örneğin, 0-1 arası çıktı değeri üreten transfer fonksiyonuna ihtiyaç duyulurken bazı durumlarda -1-+1 arası çıktı değeri üreten transfer fonksiyonu gerekmektedir. Bazı modellerde geri yayımlı model kullanılırken bazı modellerde ileri yayımlı model kullanılabilir. Ancak problemin durumuna göre karmaşık uygulamalarda genellikle literatürde çok katmanlı YSA mimarisi ile başlamak önerilmektedir.

Bir YSA'nın karmaşıklığının azaltılmasında en etkin araç, ağın mimari yapısını değiştirmektir. Gereğinden fazla sayıda işlemci eleman içeren ağ yapılarında, daha düşük genelleme kabiliyetleriyle karşılaşılacağı unutulmamalıdır. Bunun yanında belirli sayıların üzerinde nöron kullanmak da YSA performansını çoğu zaman yükseltmemektedir.

3.2.6.3.2. Giriş, Ara Katman ve Çıkış Sayılarının Belirlenmesi

YSA'da giriş katmandaki proses eleman sayısı giriş değişken sayısı ile doğrudan bağlantılıdır. Giriş katmanındaki proses sayısı, özellik çıkarma yöntemi, kodlama stratejisi ve giriş verisi büyüklüğü tarafından belirlenmektedir. Genellikle yapılan çalışmalar incelendiğinde proses sayısı genellikle 5 ile 60 arasında değişmektedir. (Zorriassatine ve Tannock, 1998)

YSA'da herhangi bir problem için kaç tane gizli katman ve bu gizli katmanlarda kaç tane proses elemanı kullanılması gerektiğini belirten kesin bir yöntem şu ana kadar bulunmuş değildir (Guo ve Dooley, 1992). Ancak uygun olan ara katman sayılarını ve arakatman nöron sayılarını belirleyebilmek için literatürde bazı yaklaşımlar sunulmuştur.

Hwang ve Hubele (1993), gizli katmandaki nöron sayısının 3^2 faktöriyelli deney tasarımı yöntemini önermiştir. Hwang ve Hubele (1993) tarafından yapılan çalışma da, ayrıca geri yayımlı mimarili bir YSA-İPK'de gizli katman proses sayısının Tip-1 ve Tip-2 hatasıyla herhangi bir ilişkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Daha sonra bu durum Cheng (1997) tarafından yapılan çalışma ile doğrulanmıştır.

Baily ve Thomson (1990), üç katmanlı bir YSA için, gizli proses sayısının, girdi katmanındaki proses sayısının % 75'i olması gerektiğini ileri sürmüştür.

Katz (1992), en uygun gizli proses sayısının, giriş katmanındaki proses sayısının 1.5 katı ile 3 katı arasında olduğunu ileri sürmektedir.

Doig (1998), gizli katmanda olması gereken proses sayısının gizli katman sayısına göre çok daha fazla alternatife sahip olduğundan uygun sayıyı belirlemek üzere aşağıdaki formülden yararlanılabileceğini söylemiştir.

$$N_h = \frac{1/2 * (N_i + N_o) + \sqrt{N_g}}{N_k} \quad (3,10)$$

N_h :Gizli katmandaki proses sayısını

N_i :Girdi katmanındaki proses sayısını

N_o :Çıktı katmanındaki proses sayısını

N_g :Gözlem sayısını

N_k :Katman sayısını göstermektedir.

Bu yaklaşımlar bazı özel problemlerde uygun sonuçlar vermeyebilir. Bunun belki en ilkel fakat en kısa yolu ise birkaç deneme yaparak en uygun yapının ve proses sayılarının ne olması gerektiğini belirlemek uygun bir başlangıç olacaktır. Literatürde her türlü problemin maksimum iki ara katman kullanılması gerektiği yer almaktadır. Örneğin sınıflandırma problemi için Guo ve Dooley (1992) tarafından bir veya iki katman olabileceği ifade edilmektedir. Ancak özel problemler için bu yaklaşım her zaman doğru olmayabilir. Bunun yanında, bazı özel problemlerin çözümünde bazı işlemci elemanlar arasında kompleks bağlantılara ihtiyaç duyulabilir. Bu durumlarda sadece en uygun sayıdaki işlemci eleman sayısını aramak veya elde etmek yeterli olmayabilir.

Gizli katman sayısı ve düğüm sayısı ağın performansını yakından ilgilendirmektedir. Gizli sinirlerin sayısı ağın en iyi çalışabileceği bir sayıda seçilmelidir. Eğer gizli düğüm elemanı sayısı çok artırılırsa, istenen sonuç değerinin üzerine çıkılmış olur. Bu durumda ağda genelleşme sorunu ortaya çıkacaktır. Diğer katmanlardaki düğüm sayısı, gizli katmanda bulunması gereken düğüm sayısı ile ilgili hususlarla aynıdır.

Araştırmacıların sinir ağını kurarken dikkat edecekleri önemli hususlardan diğerleri de bağlantı yöntemi ve uygun değerli ağırlıkların seçilmesidir. Sinir ağlarında istenen sonucun elde edilmesi için ağın uyarlanabilmesi gerekir. Bunu sağlamak için uygun değerlikli ağırlıklar ve doğru bağlantılar seçilmelidir. Ağ bu şartları karşılayabilmek için sistemin davranışlarını öğrenmeli veya kendi kendini örgütleyebilmelidir. Genellikle en yaygın kullanımı olan bağlantılar, tam bağlantılı ve kısmi bağlantılı olan ağlardır (Psarakis, 2011).

3.2.6.3.3.Öğrenme Algoritmaları ve Parametrelerin Seçilmesi

Bir YSA'nın uygun parametrelerle tasarlanması durumunda YSA sürekli olarak kararlı veya istikrarlı sonuçlar üretir. Bu sayede robust bir sistem tasarımı gerçekleştirilir. Ayrıca sistemin tepki süresinin yeterince kısa olabilmesi içinde ağ büyüklüğünün yeterince küçük olması gerekir. Bu sayede ihtiyaç duyulan toplam hesaplamada sağlanmış olur. Bunun için uygun olan yaklaşımı belirlemek YSA uygulama başarısını artırır.

Sağıroğlu, Beşdok ve Erler (2003)'e göre uygun parametrelerin seçiminde karşılaşılan birçok güçlükler vardır. Bu güçlükler;

- Probleme uygun olan YSA yapısı veya mimarisi seçimi,
- Problemin kabul edilebilir çözümü için YSA giriş ve çıkış sayılarının en uygun veya en az sayıda seçimi,
- Ara katman nöron sayılarının en uygun sayıda belirlenmesi,
- Ara katman sayısının seçimi,
- Kullanılacak öğrenme algoritmasının YSA yapısına uygun olması,
- En uygun öğrenme algoritması parametrelerinin seçimi,
- Seçilen veri kodlama yapısı,
- Veri normalizasyon yaklaşımı,
- Seçilen transfer fonksiyonunun yapısı,
- Toplama fonksiyonu tipi,
- Uygun performans fonksiyonu seçimi,
- Uygun iterasyon veya epok sayısı seçimi,
- Ön işleme ve son işleme işlemlerine uygun veri tipinin ve sayısının belirlenmesi,
- Ağ yapılandırması,
- Aynı ağ yapısı içerisinde farklı aktivasyon fonksiyonu seçimi olarak sıralanmaktadır.

YSA'nın tasarlanması esnasında sistemi etkileyen parametreler yukarıdaki bölümde belirtilmiştir. Bu parametrelerin her problem için belirlenmesi oldukça zor bir iştir. Literatürde bu problemin çözümü için önerilen kesin bir yol bulunmamaktadır ancak önerilen çeşitli yaklaşımlar veya pratik bazı yollar bulunmaktadır. Bu kapsamda bu problemin çözümü için;

- Literatürdeki benzer çalışmaların gözden geçirilmesi ve bu çalışmalarda belirlenmiş parametrelerle YSA'nın tasarlanmaya ve eğitime başlanması,

- YSA yeni bir probleme uygulanıyorsa, piyasada bulunan mevcut yazılımlardaki parametre değerlerinin kullanılması önerilmektedir.

Öğrenme katsayısının, momentum katsayısının ve hata farkı teriminin YSA'nın performansı üzerinde oldukça önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Öğrenme katsayısı büyük bir değerin seçilmesi durumunda;

- Ağın eğitime zamanı düşer.
- Ağın öğrenmesi için gerekli olan adım sayısı düşer.
- Ağın toplam hatası üzerinde bir iyileşme meydana gelir.
- Çok büyük değerlerin verilmesi durumunda pek bir yakınsama olayı meydana gelmemektedir.

Momentum terimi ile ilgili olarak;

- Momentum teriminin hesaplamaya dâhil edilmesi durumunda; adım sayısında ve toplam ağ hatasında bir azalma meydana gelmektedir.
- Momentum terimi yüksek alındığında; ağdaki toplam hatanın sifıra doğru daha fazla bir eğilimle yaklaşmaktadır.

Hata farkı terimi ile ilgili olarak;

- Hata farkı teriminin küçük bir değer olarak alınması ağdaki toplam çıkış hatasını daha fazla sifıra doğru yaklaştırarak bağlantı ağırlıklarındaki hassasiyeti artırmaktadır.
- Hata farkı teriminin küçülmesi aynı zamanda eğitim süresini ve adım sayısını artırmaktadır.

3.2.6.3.4.Öğrenme Algoritması Seçimi

Bir YSA yapısının seçiminden sonra uygulama başarısını belirleyen en önemli faktör ise öğrenme algoritmasıdır. Seçilen YSA yapısı için en uygun öğrenme algoritmasının seçimi ağ yapısının seçiminden sonra çözülmesi gereken en önemli problemdir. Genellikle ağ yapısı, öğrenme algoritmasının seçiminde belirleyicidir. Bu nedenle seçilen ağ yapısı üzerinde kullanılabilecek öğrenme algoritmasının seçimi çoğunlukla ağ mimarisine bağlıdır.

3.2.6.3.5.YSA'ların Performansının Değerlendirilmesi

YSA'larda öğrenme performansını birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerden biri de, performans fonksiyonudur. YSA'larda performansın ölçülmesinde genellikle, kullanılan performans fonksiyonları karesel ortalama hata (*mean square error (MSE)*), toplam karesel hata, karesel ortalama hata karekökü, belirlilik katsayısı ve ortalama mutlak yüzde hata (*mean absolute percentage error (MAPE)*) performans fonksiyonlarıdır.

İleri beslemeli YSA'da genellikle karesel ortalama hata performans fonksiyonu kullanılır. Karesel ortalama hata, seride gözlenen ve tahmin edilen veri değerlerinin farkının toplanıp, toplam veri sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir. İstenen değer ile YSA modelinin üretmiş olduğu çıktı arasındaki hatayı karesel olarak gösteren parametredir. Bu değerın sıfıra yakın olması, tahmin edilen değerin kuvvetli biçimde doğruya yakınsadığını göstermektedir. Karesel ortalama hata performans fonksiyonu;

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3,11)$$

formülü ile hesaplanır.

İleri beslemeli YSA'da diğer performans fonksiyonu, toplam karesel hata performans fonksiyonudur. Toplam karesel hata performans fonksiyonu;

$$\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3,12)$$

formülü ile hesaplanır.

Bir YSA modelinin performansı yukarıda sayılan performans ölçülerinin yanında belirlilik katsayısı ile de belirlenebilir. R^2 , regresyon denkleminin verilere olan uyumunun sağlanıp sağlanmadığının göstergesi olup, açıklanabilen değişimin toplam

değişime olan orandır. Bu oran belirlilik katsayısı olarak adlandırılır ve bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken tarafından açıklanabildiğini gösterir. 0 ve 1 arasında değer alabilen R^2 değerinin 1'e yakın olması bağımlı değişkendeki varyansın büyük bir kısmının modeldeki bağımsız değişkeni açıkladığı sonucunu verir (Ünver, 1996).

Bir YSA'nın genelleştirme yeteneğini iyileştirmek için çeşitli yollar bulunmaktadır. Bu yollardan birisi, performans fonksiyonuna, ağırlıklılıkların ve ağırlıkların kareleri toplamının ortalama değerini ifade eden bir sabit terim eklemektir. Diğer yol, öğrenmeyi erken sonlandırma yöntemidir.

Eğitim süresince, eğitim ve test verilerinde hata normal olarak düşer. Ancak YSA eğitim verisi üzerinde bir aşırı öğrenme eğilimine girerse hata değeri yükselmeye başlar. Test veri kümesinden hesaplanan hata değeri belirlenmiş bir değeri aşarsa eğitim durdurulur, ağırlık ve yanlılık test veri kümesinden elde edilen hataların minimum olduğu andaki değerlerine geri döndürülürler.

3.3.YSA'nın Kalite Kontrol Grafiklerinde Kullanımı

3.3.1.Genel

Günümüzde geliştirilmiş en güncel ve en mükemmel örüntü tanımlayıcı ve sınıflandırıcılardan biri YSA'dır. YSA giriş verilerinin yetersiz olduğu, mevcut verilerden hareketle bilinmeyen ilişkilerin ortaya çıkarılması ve algoritması veya kuralları tam olarak bilinmeyen durumlar için geliştirilmiş bir bilgi işleme sistemidir (Elmas, 2011).

Süreçte zaman içinde oluşabilecek değişimlerin tespit edilmesi, sürecin kontrol altında tutulması ve önlemlerin alınması amacıyla süreçteki anormal değişimlerin örüntülerini tanımlamaya yönelik son zamanlarda YSA tanıma sistemleri oldukça fazla kullanılmaktadır (Psarakis, 2011). YSA'yı bu kadar güncel yapan eksik bilgiler ile çalışabilme ve normal olmayan verileri işleyebilme yetenekleridir (Hachicha ve Ghorbelb, 2012; Psarakis, 2011). Desen tanıma, tahmin, sınıflandırma gibi pek çok kalite kontrol problemi için YSA kullanılmaktadır (Zorriassatine, Guh, Parkin ve Coy, 2004). YSA yaklaşımı ile birlikte kalite kontrol faaliyetleri daha kolay olmakta, maliyetler ve muayene süreleri minimize edilebilmektedir (Cheng, 1997).

Pek çok kalite kontrol probleminin çözümünde YSA'dan yararlanılmaktadır. Özellikle kontrol grafiklerinde meydana gelen örüntülerin tanınmasında, üründeki yabancı maddelerin belirlenmesi ve buna benzer problemlerde YSA'ların kullanıldığı görülmektedir (Psarakis, 2011). YSA'ların kontrol grafiklerinde kullanımı ile ilgili yapılan literatür araştırması aşağıda sunulmuştur.

YSA'ların kontrol grafiklerinde kullanımı ile ilgili olarak yerli ve yabancı literatürde belli zaman aralıklarında hazırlanan çalışmaları inceleyen araştırmalar bulunmaktadır. Bu araştırmalar aşağıda sıralanmıştır.

- 1980'li yılların sonları ile 1990'lı yılların sonları arasında yapılan çalışmaları inceleyen bir araştırma, Zorriassatine ve Tannock (1998) tarafından,
- YSA'nın istatistik kontrol grafiklerindeki gelişim aşamalarını inceleyen iki araştırma, Perry ve Pignatiello (1999) ve Masood ve Hassan (2010) tarafından,
- 1990 ile 2010 yılları arasında yapılan çalışmaları inceleyen iki araştırma, Hachicha ve Ghorbelb (2012) ve Psakaris (2011) tarafından,
- 2010 ile 2015 yılları arasında yapılan çalışmaları inceleyen bir araştırma, Orçanlı, Oktay ve Birgören (2015) tarafından,
- Türkçe literatürde ise yukarıda yer alan çalışmalara benzer bir araştırma, Kaya, Oktay ve Engin (2005) tarafından yapılmıştır.

Bu kapsamda ilk olarak YSA'nın çok değişkenli kontrol grafiklerinde kullanılmasıyla ilgili yapılan literatür çalışmasından önce kontrol grafikleri konusunda yapılmış genel araştırmalara yer verilecektir.

YSA'nın kontrol grafiklerinde kullanımı ile ilgili ilk araştırma ve değerlendirme yukarıda da belirtildiği üzere Zorriassatine ve Tannock (1998) tarafından yapılmıştır. Zorriassatine ve Tannock (1998) tarafından yapılan araştırma da, 1980'li yılların sonları ile 1990'lı yılların sonları arasındaki yıllarda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan araştırmanın 1980'li yılların sonlarında başlamış olmasının nedeni YSA'nın kontrol grafiklerinde ilk kullanımının bu zamanda başlamış olmasından kaynaklanmaktadır. Zorriassatine ve Tannock (1998)'a göre ilk olarak kontrol kartlarında örüntü tanıma ile ilgili yaklaşım 1987 yılında J.A. Swift tarafından geliştirilmiştir. Swift (1987) tarafından ortaya konan yaklaşımın temeli, varyans ve ortalamada meydana gelen kaymaları tespit

için yapılan istatistik testlere ve sezgisel kurallara dayanmaktaydı. 1987 yılından günümüze kadar örüntü tanımakla ilgili birçok çalışma yapılmış ve yöntemler ortaya konmuştur. Zorriassatine ve Tannock (1998), YSA'nın kontrol grafiklerinde kullanımını üç alanda incelemiştir. Bu alanlar, süreçte meydana gelen yapısal değişimin tanımlanmasında, süreçteki kontrol dışı sinyallerin tespit edilmesinde ve süreç ortalamasının tahminidir.

Perry ve Pignatiello (1999), kontrol grafiklerinde örüntü tanıma uygulamaları ile ilgili üç alanda genel bir değerlendirme yapmıştır. Değerlendirmelerin yapıldığı alanlar yapısal değişimin tanımlanması, rastgele olmayan özel örüntülerin tanımlanması ve otokorelasyonlu proseslerde oluşan örüntülerin tanımlanması ile ilgilidir. Araştırmaya göre yapısal değişimin tanımlanması alanında proses ortalamasında meydana gelen yukarı ve aşağı doğru kayma örüntü tipinin tespiti; rastgele olmayan özel örüntülerin tanımlanması alanında ani kaymalar, eğilim, döngüler, sistematik, karışık örüntü tiplerinin tespiti, otokorelasyonlu proseslerde oluşan örüntüler ile ilgili alanda ise otokorelasyonlu verilerin proses ortalamasında ve varyansında meydana gelen yukarı ve aşağı doğru kayma örüntü tipinin tespiti (Örneğin, Cook ve Chiu, 1998; Cook, Zobel ve Nottingham, 2001) üzerine yapılmıştır. Ayrıca, ileriki yıllarda kontrol grafiklerinde oluşan örüntüler ile ilgili Hwang (1992), Guo ve Dooley (1992), Hwang ve Hubele (1993a,b), Pham ve Öztemel (1994), Cheng (1995), Cheng (1997), Perry, Spoorre ve Velasco (2001) tarafından da çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Masood ve Hassan (2010) tarafından yapılan çalışmada, YSA'nın kontrol grafiklerinde kullanımı ile ilgili gelişim süreci incelenmiştir. Yapılan çalışmada, giriş verileri, örüntü çeşitleri, YSA mimarilerinin dizaynı ve testi, çok değişkenli kontrol grafiklerinin izlenmesi ve teşhisi üzerine gelişimin nasıl olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada belirtilen günümüzdeki yükselen trendin, çok değişkenli kontrol grafiklerinin izlenmesi ile teşhisinde, özellik tabanlı ve wavelet-denoise giriş verilerinin gösterim tekniklerinde ve modüler/entegre YSA mimarilerinde olduğu belirtilmektedir.

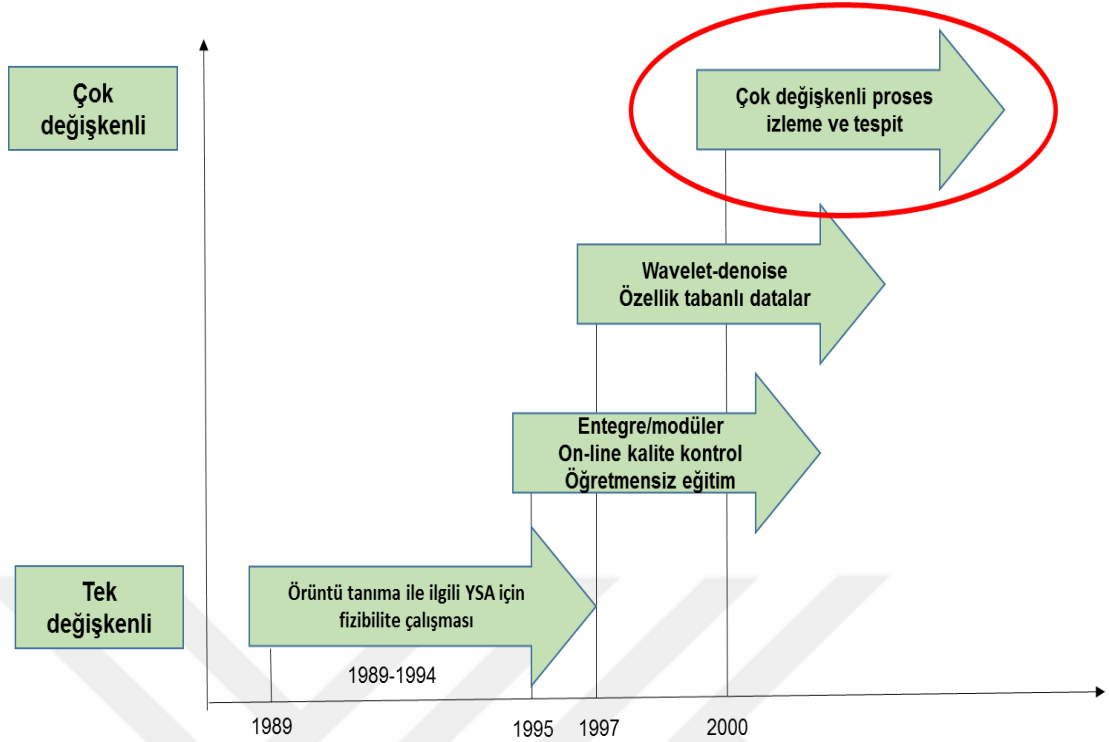
Hachicha ve Ghorbelb (2012) tarafından 1990 ile 2010 yılları arasında YSA'nın kontrol grafiklerinde örüntü tanıma ile ilgili yapılmış çalışmalar içerik analizine göre incelemesi yapılmıştır. Yapılan bu çalışma, kontrol grafiklerinde YSA ile örüntü tanıma konusunda 1980 yılları sonları ile 1990 yılları sonları arasında yazılmış dokümanlar ile

ilgili olarak Zorriassatine ve Tannock (1998) tarafından yapılan çalışmanın bir devamıdır. Çalışma, 1998 ile 2010 yılları arasında kontrol grafiklerinde örüntü tanıma konusuyla ilgili hazırlanmış toplam 122 adet makale içerik analizi ile oluşturulmuş bir rehber aracılığı ile araştırılmıştır. Araştırmanın sonucunda, (1) çalışmaların çok değişkenli proseslerde yoğunluk kazandığı, (2) çok değişkenli kontrol grafiklerinde en çok süreç ortalaması ile varyansta meydana gelen kaymalar ile yapılan çalışmalarda yoğunlaştığı, (3) örüntü tipleri olarak tek tip örüntü yerine ardışık örüntülerde ilginin arttığı, (4) örüntü tanıma yaklaşımı olarak YSA'nın popülerliğinin arttığı, (5) gelişen yaklaşımların daha çok hibrit olarak kullanıldığı, (5) giriş vektörünün temsil şekillerinin özellik tabanlı gösterim şekillerinde daha yararlı olduğu ve bu kapsamda wavelet denoise gibi çeşitli tekniklerin kullanılmaya başlandığı gibi sonuçlara ulaşılmıştır.

Kaya, Oktay ve Engin (2005) tarafından yapılan çalışmada, YSA'nın ne tür kalite kontrol problemlerinde kullanıldığı ve nasıl uygulandığı incelenmiştir. Araştırmacıların konuyla ilgili yaptıkları çalışmalar incelendiğinde kalite kontrolün altı temel alanında YSA uygulamasının olduğu belirlenmiş ve altı temel alanın sırasıyla **kontrol grafikleri, proses kontrol, deney tasarımı, on-line kalite kontrol, kabul örnekleme, hata modu ve etkileri analizi (HMEA)** olduğu ortaya konmuştur. **Kontrol grafikleri ile ilgili alanların** süreci izleme, desen tanıma, kontrol diyagramı oluşturma, kontrol dışı sinyal yorumlama, tahmin, sınıflandırma ve veri sıkıştırma, **proses kontrolü ile ilgili alanların** parametre tasarımı, proses modelleme, parametre tahmini, veri sınıflandırma, parametre belirleme, kalite tahmini, model formüle etme, proses değerlendirme, hesaplama problemi, otomatik kontrol, veri modelleme, durum tahmini, hata bulma, veri analizi, desen tanıma olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde sonuç olarak YSA, günümüzde geliştirilmiş en güncel ve en mükemmel örüntü tanıyıcı ve sınıflandırıcılardan sayılabilirler. YSA'yı bu kadar güncel yapan da, eksik bilgiler ile çalışabilme, normal verileri işleyebilme yetenekleri (Öztemel, 2012:35) ve herhangi bir ön varsayım gerektirmemesidir.

YSA yaklaşımı ile kalite kontrol grafiklerinde örüntü tanıma konusundaki gelişmeler (Masood ve Hassan, 2010:338) özet olarak bir diyagram halinde **Şekil 3.16'**da sunulmuştur.



Kaynak: Masooud, I. ve Hassan, A., (2010). "Issues in Development of Artificial Neural Networkbased Control Chart Pattern Recognition Schemes.", European Journal of Scientific Research, 39(3), 336–355.

Şekil 3.16: YSA'nın Kalite Kontrol Grafiklerinde Kullanımındaki Gelişmeler

Diyagramda kalite kontrol grafiklerinde YSA yaklaşımının ilk olarak kullanımı, 1980'li yılların sonu ile 1990'lı yılların ilk zamanlarında olduğu görülmektedir. 1990'lı yıllardan sonra YSA'nın fizibilite çalışmaları başlamıştır. Fizibilite çalışmaları esnasında Hwarng ve Hubele (1993), Pham ve Öztemel (1995) ve Cheng (1997) YSA'nın kontrol grafiklerinde uygulanmasını hem teorik hem de pratikte tartışmış, çeşitli alanlarda YSA'ları geliştirmiş ve başarılı bir şekilde uygulamışlardır. Bu dönemde yapılan başka çalışmalarda bulunmaktadır. 1995'li yıllardan sonra bazı araştırmacılar (Hwarng ve Hubele (1991); Pham ve Oztemel (1993, 1994); Hwarng (1995a, 1995b, 1997); Al-Ghanim (1997); Tontini (1996, 1998); Guh, Tannock ve O'Brien (1999); Guh, Zoriassatine, Tannock ve O'Brien (1999); Guh ve Hsieh (1999); Guh ve Tannock (1999) ve Pham ve Chan (1998, 1999, 2001)) öğretmensiz öğrenme ve on-line kalite kontrol ile ilgili de çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu iki dönemin çalışmaları daha çok YSA'nın performanslarını geliştirmek üzerine yoğunlaşmıştır. 1997 yıllarında YSA'da ki gelişme giriş veri tekniklerinde yaşanmıştır. Daha önce giriş verileri olarak ham veriler kullanılmaktayken bu yıllarda verilerin azaltılması ve ağır performansının artırılması için özellik çıkartılma veya filtreleme metotlarının

kullanılarak verileri azaltmaya yarayan tekniklerin üzerinde çalışmaların başladığı görülmektedir. Wavelet-YSA ile ilgili çalışmalar Al-Assaf (2004), Assaleh ve Al-Assaf (2005), Cheng et al., (2007), Wang et al., (2007) tarafından; şekilsel özellikler-YSA ile ilgili çalışmalar Gauri ve Chakraborty (2006), Pham ve Wani (1997) ve istatistiksel özellikler-YSA ile ilgili çalışmalar ise Hassan et al. (2003) tarafından yapılmıştır. Son zamanlarda yani 2000’li yıllardan sonra ise, çok değişkenli kontrol grafiklerinde entegre/modüler tipi YSA modelleri kullanımı ile hata tespiti ve teşhisi üzerine çalışmaların başladığı görülmektedir. (Zorriassatine,, Tannock ve O’Brien (2003); Cheng ve Wang (2004)); Niaki ve Abbasi (2005); Guh (2007); Cheng ve Cheng (2008); Yu ve Xi, (2009)).

3.3.2.Literatür Araştırması

Li ve Çavuşgil (1995)’e göre bir alanda veya bir konuda var olan bilgileri toplamak ve toplanan bu bilgileri düzenleyerek bir sonuç çıkarmak için kullanılan üç temel yaklaşım bulunmaktadır. Bu üç temel yaklaşımdan birincisi bir sorunun çözümünde uzman görüşlerinin alındığı ve uzmanların yüz yüze gelmeden bir grup içerisinde etkileşimde bulunmalarına imkân veren bir grup iletişim süreci olarak tanımlanan **Delphi Metodu**’dur (Koçdar ve Aydın,2013:40). Yani bir görüş birliği sağlama aracı olarak ifade edilen Delphi Metodu bir problem durumuna farklı açılardan bakan bireylerin ya da grupların yüz yüze gelmeden uzlaşmalarını amaçlayan bir yöntemdir. Dalkey ve Helmer’e (1963) göre Delphi Metodunun amacı, bir grup uzmanın belli bir konu hakkında sahip olduğu görüşlerle ilgili en güvenilir şekilde uzlaşma sağlanmasıdır. İkinci yaklaşım, belirli bir konuda yapılan araştırmaları bir araya toplayarak çalışmaların sonucunu sentezlemek için istatistiksel araçlar kullanarak ortak sonuçlara ulaşmayı amaçlayan ve böylece bireysel çalışmaların sınırlılıklarını azaltmaya çalışan bir sistem olarak tanımlanan **Meta Analizi**’dir (Büyüköztürk ve diğerleri, 2010:24). Üçüncü ve son yaklaşım ise, belirli kurallara dayalı kodlamalarla bir metnin bazı sözcüklerinin daha küçük içerik kategorileri ile özetlendiği sistematik, yinelenebilir bir teknik olarak tanımlanan **İçerik Analizi**’dir (Büyüköztürk ve diğerleri, 2010:269). Cohen, Manion ve Morrison (2007)’a göre içerik analizi, eldeki yazılı yayınların içerdikleri bilgilerin temel içeriklerinin ve içerdikleri mesajların özetlenmesi ve derinlemesine analiz edilme işlemi olarak da tanımlanmaktadır.

Bu araştırmada diğer tezlerde yapılan literatür çalışmalarından farklı bir yöntem uygulanmıştır. Yapılan literatür çalışmasın da, çok değişkenli kontrol grafiklerinde YSA'nın kullanılması konusunda yapılan çalışmaları incelemek amacıyla **içerik analizi** yöntemi kullanılmıştır.

Kontrol grafiklerinde YSA'yı kullanarak yapılan ve içerik analizine tabi olarak incelenen çalışmalar çoğunlukla (1) giriş verilerinin gösterimi tekniği, (2) kontrol grafiklerinde YSA'nın kullanım maksadı (örüntü tanımak, proses ortalamasında ve varyansında kaymanın tespiti ile kontrol dışı sinyalin tespiti ve teşhisi), (3) sinir ağının performansının değerlendirme yöntemi, (4) sinir ağı yapısı, (5) kullanılan verilerin elde edilme yöntemi ve (6) örüntü sayısına uygun olarak değerlendirilmektedir. (Zorriassatine ve Tannock (1998); Psakaris (2011); Hachicha ve Ghorbelb (2012) ve Masood ve Hassan (2010))

Giriş verileri gösterim tekniği, kontrol grafikleri örüntü tanıma yaklaşımında proses giriş verilerinin nasıl temsil edildiği ile ilgili bir kavramdır. (Hachicha ve Ghorbelb, 2012)) Giriş verilerinin gösterimleri teknikleri kendi içinde ham veri tabanlı gösterim tekniği ve özellik tabanlı giriş veri gösterim tekniği olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Masood ve Hassan, 2010). Ham veri tabanlı gösterim tekniği, gözlemlerin genel ön veri işleme teknikleri olan standartlaştırma veya normalleştirme yardımıyla değiştirilen verilerdir. Özellik tabanlı gösterim tekniği ise iki adımlı bir prosedüre sahiptir. Birinci adımda, veri yığınlarından onları temsil edecek özellikler çıkartılır. İkinci adımda, çıkartılan bu özellikler kullanılarak örüntünün tanımlanması yapılmaktadır. Özellik tabanlı gösterim tekniği, özet istatistik özellikleri, frekans sayısı özellikleri, şekil özellikleri ve istatistik özellikleri çeşitlerini kapsamaktadır (Masood ve Hassan, 2010).

Yapılan çalışmaların çoğunda giriş verilerinde çok sayıdan oluşan gözlem verilerini ham veri (*raw based input data*) olarak kullanıldığını görmekteyiz Ancak YSA'da girdi vektörünün boyutunun büyük olması sınıflandırma performansını düşürmektedir. Girdi vektörünün boyutunun küçük olması, sınıflandırma ve çalışma performansını artırmaktadır. Bunun için girdi vektörünün boyutu azaltmak amacıyla daha çok özellik tabanlı giriş veri tekniği (*feature based input data*) kullanılmaktadır (Hachicha ve Ghorbelb, 2012). Yapılan çalışmalarda, bu özellik tabanlı giriş veri

gösterim tekniklerinden en çok wavelet-denoise-YSA, şekil özellikli-YSA ve istatistiksel özellikli-YSA modelleri kullanılmıştır.

İstatistiksel özellikli YSA modelleri ile ilgili ilk olarak Pham ve Wani (1997) dokuz adet şekil özelliğini araştırmıştır. Gauri ve Chakraborty (2006,2008) ise Pham ve Wani (1997) tarafından önerilen şekil özelliklerinden bazılarını geliştirmiştir. Hassan, Nabi, Shaharoun ve Jamaludin (2003) ortalama, standart sapma, çarpıklık, ortalama kare değeri, otokorelasyon ve *CUSUM*'un en son değerinden oluşan altı adet istatistik özellikli örüntü önermiştir. Daha sonra son zamanlarda, Guh (2010) ise ortalama, standart sapma, çarpıklık, basıklık, eğim ve Pearson korelasyon katsayısından oluşan başka bir istatistik özellikli örüntüler grubunu önermiştir. Bunların yanında ham verili özellikler de, örneğin, ham verili T^2 istatistiği (Guh (2007)) veya ham verili istatistik özellikler (Yu, Xi ve Zhou (2009), Yu ve Xi (2009)) kullanılmaktadır. Giriş vektörü ile ilgili diğer bir yaklaşım ise ağ büyüklüğünü ve eğitim zamanını değiştirmeksizin ham verileri filtre ederek daha az boyuta indirmek için multi-resolution wavelet analysis (*MRWA*) yöntemini kullanmaktır. Bu yöntem tek değişkenli kontrol kartlarında örüntü tanıma (Al-Assaf, 2004; Assaleh ve Al-Assaf, 2005) ve ardışık örüntü tanımadada (Chen, Lu ve Lam, 2007) kullanılmıştır. Ayrıca bu husus, sinyal izleme de ani değişimi tespit etmek ve görüntü izleme (Wang, Kuo ve Qi, 2007) için birçok alanda kullanılmıştır.

Şu ana kadar yapılan çalışmalar YSA yaklaşımı ile kalite kontrol grafiklerinde örüntü tanıma çalışmaların tek değişkenli kontrol grafiklerinde olduğu görülmektedir. Ancak, birçok endüstride süreç kalitesini tanımlamak için çok sayıda değişken söz konusudur. Bu değişkenlerin analizinde kullanılan bir yol her bir değişken için ayrı ayrı çizelge oluşturmak ve bu çizelgeleri eşzamanlı gözlemektir. Ancak değişkenleri tek tek izlemek hem maliyetli, hem çok zaman alıcı ve hem de değişkenlerin arasındaki etkileşimden dolayı yanlış kararların verilmektedir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için çok değişkenli kontrol grafikleri kullanılmaktadır. Bu durumun yanında kontrol grafiklerinde bir de otokorelasyon problemi bulunmaktadır. Otokorelasyon problemi, daha çok zaman serisi verilerinde karşı karşıya kalınmaktadır.

Kalite kontrol grafiklerinde örüntü sayılarına göre iki çeşit **örüntü tipi** oluşmaktadır. Bunlar tek örüntü ve ardışık örüntüdür. Bir proseste Western Elektrik Şirketi (1958) tarafından tanımlanan örüntülerin sadece bir tanesi oluştuğunda buna tek

örüntü (*single pattern*) denir. Ancak farklı olmak kaydıyla bir örüntüyü başka bir örüntü takip ederse buna da ardışık örüntü (*concurrent pattern*) adı verilir (Hachicha ve Ghorbelb, 2012:2008). Yapılan çalışmaları, sınıflandırma da örüntü sayısı önemli bir faktördür. Ardışık örüntü ile çalışma yapanlar, Guh ve Tannock (1999), Guh ve Hsieh (1999) ve Chen, Lu ve Lam (2007)'dir.

Kontrol grafiklerinde örüntüleri tanımak için eğitim ve test aşamaları için çok sayıda örnek örüntü gerekmektedir. İdeal olarak, örüntüler için gözlem verileri gerçek bir üretim prosesinden alınması gereklidir. Ancak, maliyet ve zaman boyutları düşünüldüğünde bu husus pratikte ekonomik olmamaktadır. Bundan dolayı araştırmacılar simülasyon özellikle Monte Carlo simülasyon yöntemi yardımıyla örüntüler oluşturmaktadırlar.

Herhangi bir süreçte oluşan özel sebepler kontrol grafiklerinde gözlem verileri vasıtasıyla tipik örüntüler oluşturmaktadır. Kontrol grafiklerinde oluşan özel nedenlerle ilgili herhangi bir yorum yapılacaksa bu tipik örüntülere bakılarak yorum yapılır. Her bir tipik örüntü, özel sebeplerin belli neden veya nedenlerini açıklamaktadır. Bu kapsamda her bir tipik örüntü bir sınıfı oluşturmaktadır. Oluşan yeni örüntülerin tipik örüntülerin oluşturduğu sınıflardan hangisine ait olduğunu öğrenmek için çeşitli sınıflandırıcılar kullanılmaktadır. Kontrol grafiklerinde oluşan örüntülerin sınıflandırılması için en fazla YSA yaklaşımı kullanılmaktadır. Diğer sınıflandırıcılar destek vektör makinesi, karar ağaçları gibi yöntemlerdir.

Makaleleri sınıflandırma için oluşturulmaya çalışılan yöntemde yer alan ve önceki paragraflarda açıklanan kriterler ile oluşturulan ölçek özet olarak Tablo 3.4'de sunulmuştur.

Tablo 3.4: YSA Literatür Tarama Ölçeği

1. Veri modelinin varsayımlarına göre;
 - 1.1. Çok değişkenli proses verileri
 - 1.2. Otokorelasyonlu ve çok değişkenli proses verileri
2. Örüntü yapısı çeşidine göre;
 - 2.1. Özel örüntü yapısı
 - 2.1.1. Ortalamada kayma
 - 2.1.2. Varyansta kayma

- 2.1.3. Daire örüntü
- 2.1.4. Eğilim Örüntü
- 2.1.5. Diğer özel örüntüler
- 2.2. Tipik örüntü yapısı (*Yedi adet tipik yapı*)
- 3. Örüntü sayısına göre;
 - 3.1. Tek örüntü (*single pattern*)
 - 3.2. Ardışık örüntü (*concurrent pattern*)
- 4. Giriş vektörüne göre;
 - 4.1. Ham veriler (*Raw Based Input Data Representation*)
 - 4.2. Özellik tabanlı veriler (*Feature Based Input Data Representation*)
- 5. Örüntü tespiti için kullanılan yaklaşımlara göre;
 - 5.1. YSA tabanlı yaklaşım
 - 5.1.1. Öğretmenli öğrenme
 - 5.1.2. Öğretmensiz öğrenme
 - 5.2. Hibrit, entegre edilmiş veya birleştirilmiş yaklaşım
- 6. Üretilen verilere göre;
 - 6.1. Monte Carlo simülasyonu proses verileri
 - 6.2. Gerçek proses verileri
- 7. Performans kriterlerine göre;
 - 7.1. Performans kriterlerinin yokluğu
 - 7.2. ARL tabanlı olmayan performans kriteri (*Recognition Accuracy*)
 - 7.3. Geleneksel ARL performans kriteri (ARL_0 , ARL_1)
 - 7.4. İleri düzey ARL performans kriterleri (*Pattern Distinction Capability*)

Yapılan çalışmada kullanılan makaleler Gazi Üniversitesi elektronik kütüphanesinden 1990 ile 2015 yılları arasında olacak şekilde;

“*Pattern recognition*”

“*Multivariate control chart pattern*”

“*Artificial neural network*”

“*Shift detection*”

“*Statistical process behavior*”

“Control chart monitoring” anahtar kelimeleri kullanılarak toplam olarak 218 adet makale tespit edilmiş ve bu makaleler arasından YSA'nın çok değişkenli kontrol grafiklerinde kullanılan ve **Tablo 3.5**'de gösterilen 42 adet makale bulunmuştur.

Tablo 3.5. YSA'nın Literatür Taraması Ölçeğine Göre Makalelerin Sınıflandırılması

S. No.	Yazarların İsimleri	Yılı	1		2					3		4		5			6		7				
			1	2	1					2	1	2	1	2	1		2	1	2	1	2	3	4
					1	2	3	4	5						1	2							
1	West, Mangiameli ve Chen	1999		x	x					x		x		x			x					x	
2	Wang ve Chen	2002	x		x					x		x		x								x	
3	Low, Hsu ve Yu	2003	x			x				x		x		x							x	x	
4	Zorriassatine, Tannock ve Brien	2003	x		x					x		x		x			x				x		
5	Chen ve Wang	2004	x		x					x		x		x			x				x		
6	Zorriassatine, Guh, Parkin ve Coy	2004	x							x	x		x				x	x			x		
7	Niaki ve Abbasi	2005	x		x	x				x		x		x							x		
8	Zorriassatine, Al-Habaibeh, Parkin, Jackson ve Coy	2005	x							x	x		x		x			x			x		
9	Saithanu	2006	x							x		x		x			x				x		
10	Aparisi, Avendano ve Sanz	2006	x		x					x		x		x			x				x		
11	Aparisi, Sanz ve Avendaño	2007	x		x					x		x		x			x				x		
12	Arkat, Niaki ve Abbasi	2007	x		x					x		x		x			x					x	
13	Guh	2007	x		x					x		x		x			x				x	x	
14	Cheng ve Cheng	2008	x							x		x		x			x	x			x		
15	Niaki ve Abbasi	2008	x							x		x					x				x		
16	Hwarng	2008	x							x		x					x				x		
17	Yu, Xi ve Zhou	2009	x		x	x				x			x	x			x				x		
18	Yu ve Xi	2009	x		x					x		x		x			x				x	x	
19	Niaki ve Davoodi	2009	x																		x		
20	Cheng ve Ma	2010	x		x	x				x		x			x		x				x		
21	El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed	2010	x		x	x	x	x		x		x		x				X	x				
22	Hwarng ve Wang	2010		x	x	x				x		x		x			x				x	x	
23	Du, Lv ve Xi	2010	x			x				x		x						x					
24	Cheng ve Cheng	2010	x		x					x		x					x				x		
25	Wu ve Yu	2010	x			x				x		x									x		
26	Aparisi ve Sanz	2010	x			x				x		x					x				x		
27	Ebrahimzadeh, Addeh ve Rahmani	2011	x			x				x		x					x						
28	Salehi, Bahreininejad ve Nakhai	2011	x		x		x	x			x		x	x		x	x					x	
29	Atashgar ve Noorossana	2011	x		x					x		x		x			x				x	x	

kaymaları tespit için eğitilmiştir. Sınıflandırma modülünde ise tespit edilen kayma durumları hakkında karar vermek için bulanık ve kural tabanlı bir sınıflandırma algoritması kullanılarak YSA modelinin çıktıları sınıflandırılmıştır. Kontrol dışı sinyalin tespiti için önerilen yöntem ile Hotelling T^2 kontrol kartı ARL ve doğru sınıflandırma yüzdeliği kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin ARL kriteri bakımından Hotelling T^2 kontrol kartından üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle önerilen yöntemin ortalamada meydana küçük kaymalarda üstün olduğu, orta ve büyük kaymalarda ise aynı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. YSA'nın giriş katmanında, ham veri ve özellikli veri giriş gösterim teknikleri kullanılmıştır.

Low, Hsu ve Yu (2003) tarafından yapılan çalışmada, iki değişkenli bir prosesin kalite değişkenlerinin ortalaması kontrol altında iken varyanstaki değişimin tespiti için geri yayılım prosedürü önerilmiştir. Çalışmada ARL kriterine göre yapılan performans karşılaştırmasında, önerilen YSA tabanlı yöntemin performansının, klasik çok değişkenli kontrol grafiğinin performansından daha iyi olduğu ve YSA'nın performansının kovaryans matrisi ile kovaryans matrisinde meydana gelen kaymaların oluşturduğu örüntülere bağlı olduğu ortaya konulmuştur.

Zorriassatine, Tannock ve Brien (2003), iki değişkenli bir proseste örüntü tanıma konusunda oldukça yararlı ve etkili olan “**novelty detector**” adıyla bilinen bir YSA tabanlı bir yöntemi ortaya koymuştur. Çalışmada, ortalamada çeşitli düzeylerde meydana gelen aşağı ve yukarı doğru ani kayma örüntü çeşitleri araştırılmıştır. Ayrıca, kovaryans matrisinin bütün elemanlarında oransal olarak meydana gelen değişim ve iki değişken için sınıflama doğruluğu (*classification accuracy*) ölçülmüştür. Önerilen modelde kullanılan çok katmanlı YSA'nın ara katmanında Gaussian karışım modelleri kullanılmıştır ve çıkış katmanında tek bir proses elemanı ile çıkış değerleri elde edilerek yorumlar yapılmıştır.

Chen ve Wang (2004) tarafından yapılan çalışmada, Hotelling T^2 kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyale sebep olan değişken veya değişken gruplarının çok katmanlı YSA ile nasıl tespit edilebileceği ortaya konmuştur. Chen ve Wang (2004), çalışmasında kurulan çok katmanlı YSA modelinde p değişken sayısı olmak üzere $6p+değişkenlerin\ ortalama\ değeri\ X\ 6p\ X\ 6$ 'lık bir sinir ağı modeli kullanmıştır. Ağın gizli ve çıkış katmanında transfer fonksiyonu olarak log-sigmoid ve tangent-sigmoid

transfer fonksiyonları, öğrenme algoritması olarak Levenberg–Merquardt Quasi-Network öğrenme algoritması kullanılmıştır. Çıktı olarak her bir değişken bir adet sınıfı temsil etmektedir.

Zorriassatine, Guh, Parkin ve Coy (2004) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyallerin hata kaynaklarının tespitine yönelik Zorriassatine, Tannock ve Brien (2003) tarafından önerilen "**novelty dedector**" isimli YSA modelinin çok değişkenli kontrol grafiklerinde örüntü tanıma konusunda kullanmış ve oluşturulan sınıflar değişkenlerde meydana gelen kayma ile bağlantılı olarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Araştırılan örüntü tipleri yukarı ani kayma (*wide spread high shift*, *wide spread low shift*, *low spread high shift*) örüntü tipleridir. Her bir örüntü tipleri için birer adet ayrı YSA modelleri eğitilmiştir. Ağın gizli ve çıkış katmanlarının her ikisinde de hyperbolic tangent sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak ise conjugate gradient öğrenme algoritması tercih edilmiştir.

Niaki ve Abbasi (2005), Hotelling T^2 kontrol grafiğinin kullanıldığı iki değişkenli proseslerde, kontrol dışı sinyalin tespiti ve kontrol dışı sinyale sebep olan değişkenin bulunması için iki aşamalı bir model önermiştir. Modelin birinci aşamasında klasik çok değişkenli kontrol grafikleri ile kontrol dışı sinyallerin tespiti ve ikinci aşamasında ise çok katmanlı YSA modeli ile kaymanın meydana gelen değişkenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, iki Monte Carlo metodu ile üretilmiş yapay veriler ve bir adet gerçek proses verileri kullanılmıştır. Üç örnek için farklı sayıda düğüm noktaları olan değişik YSA modelleri kullanılmıştır. Önerilen modeller, doğru sınıflandırma yüzdesi kriteri kullanılarak klasik Hotelling T^2 kontrol grafiği ile çok değişkenli Shewhart kontrol grafiği ile karşılaştırmışlardır. İlk örnekte iki, ikinci örnekte 4 değişken kullanılmıştır.

Zorriassatine, Al-Habaibeh, Parkin, Jackson ve Coy (2005) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenen değişkenlerin sayısı on ve daha fazla olduğunda kontrol grafiklerinin etkinliğinin düştüğü ve bu durumda sınıflandırma problemlerinde YSA modellerinin oldukça başarılı bir şekilde kullanıldığı belirtilmektedir. Ancak böyle durumlarda Zorriassatine, Tannock ve Brien (2003) tarafından önerilen "**novelty detector**" isimli YSA mimarisinin performansının ise

uygulanmakta olan YSA sınıflandırıcı modellerin performansından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya atmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda “**novelty detector**” isimli YSA mimarisinin daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Niaki ve Abbasi (2005) tarafından yapılan çalışmaya benzer bir çalışma Aparisi, Avendano ve Sanz (2006) tarafından yapılmıştır. Aparisi, Avendano ve Sanz (2006) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyale neden olan değişkeni tespit etmek için literatürde önerilen Mason, Young ve Tracy (2005) tarafından önerilen ayırıştırma yöntemi ile çok katmanlı YSA modelinin performans değerlendirmesinin karşılaştırmasını yapmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda, YSA yaklaşımının geleneksel boyut indirme yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya konmuştur.

Saithanu (2006) tarafından hazırlanan doktora tezinde iki değişkenli bir proseste çok katmanlı YSA modelinin *MEWMA* ve Hotelling T^2 kontrol grafiklerinde kullanılmasını incelenmiş ve performanslarını karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılması yapılan çok katmanlı YSA mimarileri, 6x5x1, 6x3x1, 2x5x1, 2x3x1 tip mimarilerdir. Bu mimarilerin karşılaştırılması ARL değerleri baz alınarak yapılmıştır. Kurulan mimarilerde altı girişli olan mimarilerin daha iyi sonuç verdiği, iki girişli olan mimarilerde Hotelling T^2 kontrol grafiğinden daha iyi ve *MEWMA* kontrol grafiğinde ise daha kötü sonuçların elde edildiği görülmüştür. Belirtilen sonuçların yanında, değişkenler arasındaki korelasyon dikkate alınarak da bazı yorumlar yapılmıştır.

Aparisi, Sanz ve Avendaño (2007) tarafından yapılan çalışmada, *MEWMA* kontrol grafiğinde meydana gelen kontrol dışı sinyalleri yorumlamak için çok katmanlı YSA modeli kullanılmış ve çeşitli durumlar için karşılaştırma yapılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Arkat, Niaki ve Abbasi (2007) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli otokorelasyonlu verilere sahip iki değişkenli bir proseste kontrol dışı sinyallerin tespit edilmesinde artık *MCUSUM* kontrol grafiği ve YSA yaklaşımı ile hibrit bir yöntem önerilmiştir. Önerilen modelde çok katmanlı YSA modeli, durdurma kriteri olarak hata kareleri toplamı (*sum of squared errors (SSE)*), giriş verileri olarak değişken parametreleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, önerilen modelin geleneksel *MCUSUM* kontrol grafiğinden daha etkili sonuçların verdiği tespit edilmiştir.

Guh (2007), iki değişkenli bir proseste meydana gelen ortalamada kaymayı ve kaymanın büyüklüğünü tespit etmek için bir YSA modeli önermiştir. Guh (2007) tarafından önerilen YSA modeli literatürde “**Modular-YSA**” olarak bilinmektedir. YSA modeli ardışık iki modülden oluşmaktadır. Birinci modüle yer alan YSA, iki değişkenli bir proseste on-line olarak ortalamada meydana gelen kaymayı tespit etmekte ve ikinci modüle ise kaymanın olduğu değişkeni tespit etmek için birden fazla çok katmanlı YSA modeli kullanılarak sınıflandırma yapmaktadır. Guh (2007) çalışmasında, önerilen modeli klasik *MCUSUM* ve *MEWMA* kontrol grafikleri ile de karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucu, küçük kaymalarda önerilen modelin daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Cheng ve Cheng (2008) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli bir proseste varyansta meydana gelen kaymanın büyüklüğünün tespiti için Destek Vektör Makinesi ile YSA yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Ortaya konan yaklaşımda Genelleştirilmiş $|S|$ Grafiği tarafından varyansta meydana gelen kayma tespit edildikten sonra bu kaymaya sebep olan değişkenin tespiti için sınıflandırıcılar kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, Destek Vektör Makinesi'nin performansı YSA'nın performansı ile benzer çıkmıştır.

Niaki ve Abbasi (2008), çoklu niteliksel verili bir proseste basit algılayıcı düzeyinde (perceptron) bir YSA modeli önermiştir. Önerilen modeldeki veriler, uygun olmayan ürün kusurlu oranına (p) veya üründeki kusur sayısına (c) dayanmaktadır. Önerilen metot, ortalamada meydana gelen kaymaların tespitinde varolan yöntemlere göre daha iyi olduğu ve daha iyi performans gösterdiğini ortaya konmuştur.

Niaki ve Nasaji (2008), çoklu nitel otoregresif verilere sahip bir proseste ortalamada meydana gelen kaymanın tespiti için elman ağı YSA modelinin önermiştir. Önerdikleri metodun 2008 yılına kadar yapılan çalışmalarda önerilen metodların hepsinden daha iyi performans ortaya koyduğunu göstermişlerdir.

Hwarng (2008), önerdikleri YSA modelini proses verilerinin korelasyonlu olduğu çok değişkenli bir proseste ortalamada meydana gelen kaymanın tespiti için kullanmışlardır. Çalışmada ortalamanın, kontrol dışına çıkmasına sebep olan değişkenin tespitinin nasıl yapılacağı gösterilmiştir.

Yu ve Xi (2009) ve Yu, Xi ve Zhou (2009) iki değişkenli bir proseste kontrol dışı sinyalin tespiti ve teşhisi için YSA yaklaşımını kullanarak yeni bir öğrenme modeli ortaya koymuştur. Çalışmalarında, önerilen modelin İngilizce ismi “a selective NN ensemble approach DPSOEN (*Discrete Particle Swarm Optimization*)”dır. Önerilen modelde iki modül bulunmaktadır. Birinci modülde Hotelling T^2 kontrol grafiği ile kontrol dışı sinyaller tespit edilmekte ve ikinci modülde ise değişkenlerin kontrol dışı durumlarına göre çıktı olarak alt gruplar oluşturularak sınıflama yapılmıştır. Yani eğer X_1 değişkenin kontrol dışı ise oluşan alt sınıf ve ağıın çıktısı (1,0), X_1 ve X_2 değişkenlerin kontrol dışı ise oluşan alt sınıf ve ağıın çıktısı (1,1) olacak şekilde kodlanmıştır. Dolayısıyla ağıın kontrol dışı durumlara ve normal durumuna göre toplamda sekiz adet farklı sınıfı yani çıktısı bulunmaktadır.

Niaki ve Davoodi (2009), çok değişkenli ve çok aşamalı bir proseste kontrol dışı sinyalin teşhisi ve kontrol dışı sinyalin hangi değişkenden kaynaklandığını ortaya koymak için bir YSA modelini ortaya koymuştur.

Cheng ve Ma (2010) tarafından yapılan çalışmada, iki değişkenli bir proseste kontrol dışı sinyalin yorumlanması için YSA, destek vektör makinesi ve S kontrol grafiğine dayanan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen modelde kontrol dışı sinyal S kontrol grafiği ile tespit edilmekte ve YSA ile destek vektör makinesi sınıflayıcıları ile oluşturulmuş hibrit bir bir sınıflayıcı ile kontrol dışı sinyalin hata kaynağının bulunması amaçlanmıştır. Çıktı olarak (0,1), (1,0), (1,1) şeklinde değişkenlerden alt gruplar oluşturularak sınıflar oluşturulmuştur.

El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed (2010), tarafından yapılan çalışmada, YSA yaklaşımı ile ilgili dört modülden oluşan bir model önerilmiştir. Önerilen model Multi-Module-Structure YSA olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışma da önerilen modelin ilk modülünde doğal olmayan örüntüler Hotelling T^2 kontrol grafiği ile ortaya konmakta, modelin ikinci modülünde meydana gelen doğal olmayan örüntüler YSA ile alt grup olarak (*örneğin yukarı eğilim (1,0,0), yukarı kayma (0,1,0) olarak*) tanımlamakta, modelin üçüncü modülünde doğal olmayan örüntülerin varlığına neden olan değişkenler her bir değişken için bir adet YSA eğitilerek belirlenmekte ve modelin dördüncü modülünde ise doğal olmayan örüntülerin parametreleri YSA ile

sınıflanmaktadır. Önerilen modelin örnek uygulaması üç değişkenli bir proseste gösterilmiştir.

Hwarng ve Wang (2010) tarafından yapılan çalışmada çok değişkenli ve otokorelasyonlu verilerde proses ortalamasında meydana gelen kaymanın tespiti için öğrenme algoritması Rumelhart ve McClelland (1986) tarafından önerilen geri yayımlı bir YSA modeli kullanılmıştır. Önerilen yöntemin performansı, klasik çok değişkenli kontrol grafikleri olan Hotelling T^2 ve MEWMA kontrol grafikleri ile tek değişkenli Z kontrol grafiği ile karşılaştırılmış ve oldukça detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Önerilen yöntemin proses ortalamasında meydana gelen küçük ve orta kaymaları tespit etmede diğer kontrol grafiklerine göre en iyi olduğu ve en iyi kararlı olma özelliğine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yüksek otokorelasyonlu verilerle kontrol dışı sinyalin kaynağının tespitinde ise Z kontrol kartından daha kararlı olduğu görülmüştür. Kullanılan YSA modeli başlangıçta offline olarak eğitilmiş, daha sonra online olarak kontrol grafiklerinde kullanılmıştır. Performansın değerlendirilmesi için klasik kontrol grafiklerinin performansının değerlendirilmesinde kullanılan ARL değerleri kullanılmıştır.

Du, Lv ve Xi (2010), proses değişkenliğini tanımlamak ve on-line olarak izlenmesi için çok değişkenli kontrol grafiği ile birleşik YSA modelinin entegre edilmiş bir yöntemi ortaya koymuştur.

Cheng ve Cheng (2010) tarafından yapılan çalışmada, iki değişkenli bir proseste varyansta meydana gelen kaymanın tespitinde çeşitli eğitim algoritmaları ve giriş verisi büyüklüğüne göre çok katmanlı YSA'ları karşılaştırmışlardır.

Wu ve Yu (2010) tarafından yapılan çalışmada, birbiriyle ilişkili değişkenlerin olduğu bir proseste meydana gelen ortalama ile varyanstaki kaymanın tanımlanması için çeşitli YSA'ların birlikte oluşturduğu toplamalı (*ensemble*) sinir ağı mimarisi önermiştir. Önerilen modelin tek bir sinir ağına göre daha iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur.

Aparisi ve Sanz (2010) tarafından yapılan çalışma da, iki ve üç değişken için dizayn edilen iki MEWMA kontrol grafiklerinde kaymaları tespit için geri yayımlı iki adet YSA ağı oluşturmuştur ve performanslarını karşılaştırmıştır. YSA'ların giriş verisi olarak verilerden elde edilen ortalama değerler, arasındaki korelasyon katsayıları,

MEWMA kontrol grafiğinin kurulması esnasında kullanılan düzleştirme katsayılarının değerleri ve örneklem büyüklüğü sayısı kullanılmıştır.

Bahreinejad, Naseri, Salehi ve Salmasnia (2010) tarafından yapılan çalışmada, iki modülden oluşan bir model önerilmiştir. Modelin birinci modülünde çok katmanlı YSA ile Hotelling T^2 kontrol grafiğinde oluşan iki adet örüntünün (*eğilim ve kayma*) tespiti yapılmıştır. Modelin ikinci modülünde ise her bir doğal olmayan örüntü için birer adet çok katmanlı YSA kullanılarak her bir kalite değişkeni için çeşitli düzeylerde eğim miktarı ve ortalamada kayma miktarı tanımlanarak doğal olmayan örüntüler üzerinde etkiler araştırılmıştır.

Ebrahimzadeh, Addeh ve Rahmani (2011), YSA ve kontrol grafiklerinden oluşan iki aşamalı bir model önerilmiştir. Birinci aşamada kontrol dışı sinyal kontrol grafikleri ile tespit edilmektedir. İkinci aşamada ise çok katmanlı YSA modeli ile kaymanın büyüklüğüne göre sınıflandırma yapılmaktadır.

Salehi, Bahreinejad ve Nakhai (2011) tarafından yapılan çalışmada kontrol dışı sinyalin tespiti ve bu sinyale neden olan değişken veya değişken grubunun ortaya koymak için iki aşamalı hibrit bir yöntem önermiştir. Birinci aşamada kontrol dışı sinyalin tespiti için destek vektör makineleri yöntemini kullanmış, ikinci aşamada ise sinir ağı yaklaşımını sınıflandırmak için kullanmıştır. Sınıf olarak ortalamadan kayma, eğilim ve dairevi olarak üç adet örüntü tipi ve bu örüntüler için üç farklı sinir ağı modeli kullanılmıştır.

Atashgar ve Noorossana (2011) proses ortalamasında meydana gelen kayma ve bunun sonucu olarak kontrol dışı sinyalin tespiti ile kontrol dışı sinyale neden olan nedeni bulmak için kimya sanayinde sinir ağı tabanlı bir metod önermiştir. Önerilen yöntemde bilinen ortalama ve kovaryansa sahip birbirinden bağımsız değişkenler kullanılmıştır. YSA modeli olarak geriye yayımlı (*back propagation*) çok katmanlı (*multi-layer perceptron*) bir model kullanılmıştır. Önerilen modelin performansı ise ARL ve doğru sınıflandırma yüzdeliği ile ölçülmüştür.

Noorossana, Atashgar ve Saghaei (2011) tarafından yapılan çalışmada, kontrol dışı sinyalin tespiti, prosesteki değişim noktasının tespiti, kontrol dışı sinyale neden olan değişkenlerin belirlenmesi ve kayma olan değişkenin yönünün saptanması konularının hepsini içine alan ve her bir konunun tespiti için ayrı geri yayımlı çok katmanlı YSA

modellerinin kullanıldığı bir model önerilmiştir. Önerilen modelde ham giriş verilerinin standartlaştırılması Min–Max metodu, kurulan ağ modeli olarak öğretmenli öğrenme metodu ve ağın çeşitli senaryolara göre performansının değerlendirilmesinde ise hata oran yüzdesi performans kriteri kullanılmıştır.

Niaki ve Nasaji (2011) tarafından yapılan çalışmada, otokorelasyonlu çok nitelikli bir üretim sürecinde ortalamada meydana gelen kaymanın tespiti için modifiye edilmiş Elman sinir ağı mimarisi kullanılmış ve ortalamadaki bozulmanın sebepleri araştırılmıştır. Çalışma iki farklı senaryo da oluşturulmuş YSA mimarilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. YSA'lar, birinci senaryo da, iki nitelikli bir üretim sürecinde ikinci senaryo da ise çok nitelikli bir üretim sürecine yönelik olarak dizayn edilmiştir. Çalışmanın sonucunda oluşturulmuş YSA'lar mimarilerinin performanslarının MNP tabanlı oluşturulmuş kontrol grafiklerinin ve perceptron tabanlı oluşturulmuş kontrol grafiklerinin performanslarından daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Uygulamalarda bir ürünün veya prosesin kalitesi bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında kurulan ilişki ile açıklanmaktadır. Bu şekilde yapılan kalite kontrol uygulaması literatürde profile monitoring olarak açıklanmaktadır. Bu yöntemde regresyon yöntemleri kullanılarak kalite karakteristikleri yerine geçen regresyon katsayıları kontrol grafikleri ile takip edilmektedir. Bu kapsamda, Hosseini-fard, Abdollahian ve Zeephongsekul (2011) tarafından yapılan çalışmada, çok katmanlı YSA modelleri ile bu katsayılarda meydana gelen kaymaların tespiti için çeşitli ağ modelleri önerilmiştir.

Kim, Jitpitaklert, Park ve Hwang (2012) tarafından istatistik metotların kontrol kartlarında kontrol dışı sinyallerin tespitinde karışık olmayan ve az sayıda olan veriler için uygun olduğunu, ancak günümüzün endüstrilerinde olan proseslerin oldukça büyük ölçüde ve kompleks veri yığınları ile ürettiğini belirtmektedir. Bu nedenle böyle kompleks proseslerde istatistik metodların kullanılması yerine veri madenciliği yöntemlerinin kullanılmasını önermektedir. Bu kapsamda dört adet, YSA'lar, destek vektör makineleri, *MARS* yöntemlerini *MCUSUM* Kontrol grafiğinde proses ortalamasında meydana gelen kaymanın tespiti konusunda *ARL* bakımından klasik istatistik yöntemleri, çok değişkenli regresyon, zaman serisi regresyonu ve klasik *ARL*

ile karşılaştırılmıştır. Küçük ölçülerdeki kaymalarda YSA ile destek vektör makinelerinin performansının klasik yöntemlerden daha iyi ve özellikle otokorelasyonlu çok daha iyi olduğu ortaya konmuştur.

Salehi, Kazemzadeh ve Salmasnia (2012) tarafından yapılan çalışmada, proses ortalamasında ve varyansında meydana gelen kaymanın ve kontrol dışı sinyalin tespiti için iki modüllü bir sinir ağı modeli ortaya koymuştur. Birinci modülde proses ortalaması ile varyanstaki kaymayı tanımlamak için destek vektör makineleri kullanılmış, ikinci modülde ise kaymanın büyüklüğünün ne kadar olduğunu ortaya koymak için YSA yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada eş zamanlı olarak her değişken için ortalama ve varyansta doğal olmayan davranışlar ve kayma büyüklüğü incelenmiştir. Giriş verisi olarak ham verilerden çıkarılan 6 adet istatistik özellik (ortalama, standart sapma, çarpıklık, ortalama kare değeri, otokorelasyon ve *CUSUM* kullanılmıştır. Ayrıca ortaya konulan yöntem ile klasik yöntemler ARL yönünden karşılaştırılmıştır. *(Önerilen YSA mimarisi, üç katmanlı, tam bağlı, ileri beslemeli, geri beslemeli eğitim algoritmali bir mimaridir Birinci YSA'nın gizli ve çıkış katmanında hiper tanjant transfer fonksiyonu, diğer YSA'nın gizli ve çıkış katmanında ise sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Her iki mimaride gizli katmanda tek gizli katman, gizli katmanlarda 10 adet nöron bulunmaktadır. Eğitim algoritması olarak Levenberg–Merquardt quasi-network eğitim algoritması kullanılmıştır. Ağların performansı, mean square error (MSE)'e göre değerlendirilmiştir.)*

Adeoti ve Afolabi (2012) iki değişkenli bir proseste, proses ortalamasında meydana gelen kayma için bir yöntem önermiştir. Sınıflandırmada her bir anormal örüntü için ayrı birer adet sinir ağını eğitmiştir. Levenberg Marquardt ve Quasi-Newton Algoritmaları ile eğitilen ve gizli katmandaki değişen sayıdaki düğümleri olan küçük YSA tanımlayıcılarından oluşan birleştirilmiş sinir ağının performansı ölçülmüştür. Tek sinir ağı tanımlayıcını kullanan model ile karşılaştırıldığında gizli katmandaki düğüm sayısının küçük olduğunda önerilen modelin daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Performans ölçü kriteri olarak tanıma doğruluğu (*recognition accuracy*) ve bireysel ve birleştirilmiş doğruluk ortalama hata kareleri kriterleri kullanılmıştır.

Masood ve Hassan (2012) tarafından yapılan çalışmada, YSA yaklaşımı iki değişkenli ve ilişkili değişkenlere proses ortalamasında meydana gelen kaymanın tespiti

için uygulanmıştır. Giriş vektörü olarak özellik tabanlı giriş vektörü kullanılmış ve klasik ham giriş verilerin kullanıldığı YSA modeli ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma da iki değişkenli ve ilişkili verilerin izlendiği kontrol grafiğinde özellik tabanlı giriş vektörünün kullanıldığı sinir ağı modelinin ham giriş vektörünün kullanıldığı sinir ağı modeline göre daha iyi performans gösterdiği ortaya konulmuştur.

Ahmadzade, Lundberg ve Strömberg (2013) tarafından yapılan çalışmada, kontrol grafiklerinde meydana gelen değişim noktasını (*change point*) tahmin etmek ve sonucunda kontrol dışı sinyallerin tespiti için *MEWMA* kontrol grafiği ve YSA'dan oluşan bir model önerilmiştir. Çalışma da, YSA mimarisi olarak geri yayımlı öğrenme algoritmali çok katmanlı YSA modeli kullanılmıştır.

Yang (2013) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli üretim proseslerinde ortalama meydana gelen kaymaların izlenmesi ve teşhis edilmesi için **two-level discrete particle swarm optimization-based selective ensemble of learning vector quantization networks (DPSOSENLVQ)** önerilmiştir. Modelde iki adet DPSOSENLVQ modeli kullanılmıştır. Birinci DPSOSENLVQ modeli kontrol dışı sinyalleri tespit için kullanılırken ikinci DPSOSENLVQ modeli ise kontrol dışı tespit edilen sinyallerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Önerilen yöntem iki değişkenli bir proseste uygulaması yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda iki değişkenli bir proseste önerilen yöntemin prosesin takibinde başarılı bir şekilde uygulandığı ve diğer benzer şekilde önerilen yöntemlerden ve geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Hou ve Li (2013) tarafından yapılan çalışmada, proses ortalamasında meydana gelen kaymanın tespiti ile bu kaymaya neden olan sebebin tespitine yönelik YSA tabanlı bir yaklaşım ortaya konmaya çalışılmış ve bu önerilen yöntemin çeşitli durumlarda karşılaştırılması yapılmıştır. Önerilen yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamasında kontrol dışı sinyalin Hotelling T^2 kontrol grafiği ile tespit edilmesi ve kontrol dışı sinyalin teşhisinin ise çok katmanlı perceptron YSA mimarisi ile yapılması önerilmiştir. Kontrol dışı sinyalin teşhisinde üç farklı çok katmanlı algılayıcı YSA mimarisinin performansı ölçülmüştür. Birinci YSA mimarisinde iki adet giriş, gizli katmanda 10 adet nöron ve üç adet çıkış, ikinci YSA mimarisinde üç adet giriş, gizli katmanda 15 adet nöron ve üç adet çıkış ve üçüncü YSA mimarisinde dört adet giriş,

gizli katmanda 35 adet nöron ve dört adet çıkış bulunmaktadır. Üç metoddan en iyi performansın birinci YSA mimarisinin olduğu ortaya konmuştur. Bu durum küçük ölçülü YSA mimarilerin büyük ölçülü YSA mimarilerine göre daha iyi performans gösterdiğini teyit etmektedir.

Shou ve Hou (2013) tarafından yapılan çalışmada, çok değişkenli bir süreçte sayıca fazla olan kalite karakteristikleri izlemek ve kontrol dışı sinyale neden olan değişken veya değişkenleri tespit için iki metodun karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırması yapılan iki hibrit metottan birincisi lojistik regresyon ve YSA yaklaşımının hibrit kullanımı ikincisi ise çok değişkenli adaptif regresyon spline regresyonu ve YSA yaklaşımının hibrit kullanımıdır. Önerilen modüllerde ilk olarak regresyon yöntemleri ile değişken sayısı indirgenmekte ve daha sonra YSA yaklaşımı ile sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Çalışma da, birbiri ile ilişkili 20 adet değişken kullanılmıştır. Birinci modülde değişken sayısı indirgendikten sonra tek yapay tek YSA, LR-YSA ve MARS-YSA yöntemlerinin sınıflandırma başarısı karşılaştırılmış ve en iyi yöntemin MARS-YSA yöntemi olduğu ortaya konmuştur. Önerilen yöntemler özellikle süreçte ortalama da meydana gelen küçük kaymaların tespitinde yararlı olduğu görülmüştür.

Masood ve Hassan (2013) tarafından yapılan çalışmada, iki değişkenli bir süreçte ortalamada meydana gelen kaymanın tespitinde istatistiksel özellikli giriş verileri ve ham özellikli giriş verileri kullanan YSA mimarilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışma da, üç katmandan oluşan çok katmanlı perceptron YSA mimarisi kullanılmıştır. Karşılaştırmada ham giriş verilerine sahip YSA mimarisinde $48 \times 26 \times 7$ 'li bir YSA mimarisi özellik yabanlı giriş verilerine sahip YSA mimarisinde ise farklı sayıda nöronlardan oluşan 13 adet farklı YSA mimarisi kullanılmıştır. Özellik tabanlı giriş verilerine sahip YSA mimarisi iki aşamalı bir yöntemdir. Birinci aşamada iki değişken scatter diyagramında gösterilmiş ve iki değişkenden istatistiksel özellikler çıkartılmıştır. 13 adet YSA mimarisi arasından en iyi mimarinin $14 \times 22 \times 7$ 'li YSA mimarisi olduğu ortaya konmuştur. Çalışma da, sınıflandırma problemleri için küçük boyutlu YSA mimarilerin büyük boyutlu YSA mimarilere göre ve özellik tabanlı giriş verilerine sahip YSA mimarilerin ham giriş verilerine sahip YSA mimarilere göre daha iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur.

Masood ve Hassan (2014) tarafından iki değişkenli bir üretim sürecinde yapılan çalışmada, değişkenlerde meydana gelen ufak kaymaların tespitine yönelik olarak kontrol grafiği ile YSA modelinden oluşan bir model önerilmiştir.

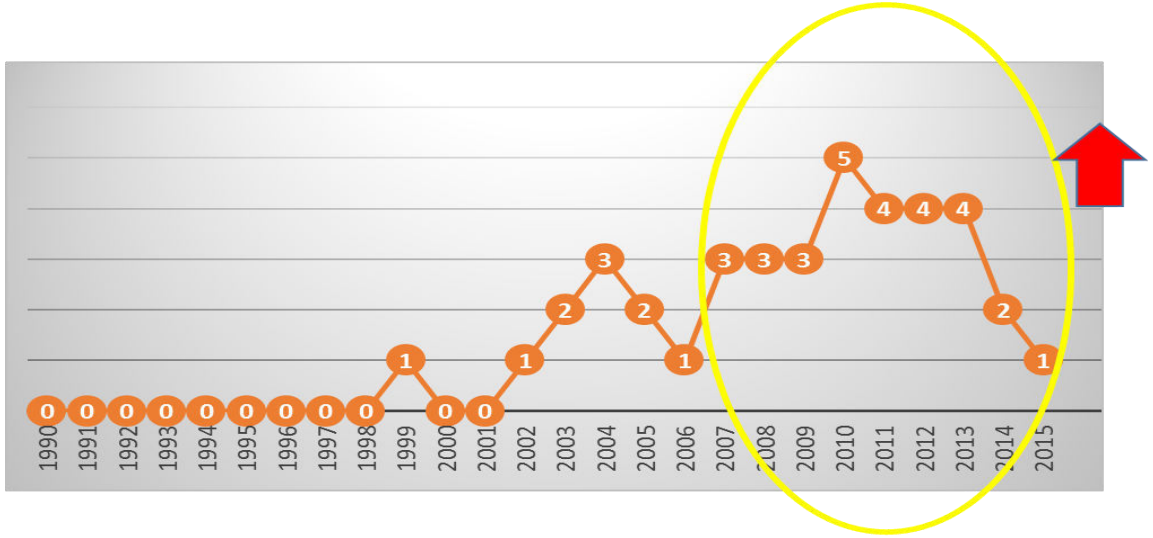
Huda, Koubaa, Cloutier, Hernández ve Fortin (2014), birleşik YSA modeli ile kontrol grafiklerinde bir uygulama yapmıştır.

Alfaro, Alfaro ve Garcia (2015) tarafından yapılan çalışmada, Hotelling T^2 sinyallerinin yorumlanması kapsamında çeşitli korelasyon ve kayma düzeylerinde dört adet sınıflandırıcının (Linear Discriminant Analysis, Classification Trees, Neural Networks ve Boosting Trees) performansı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılma sonucunda YSA yaklaşımı, orta korelasyon ile 1σ 'lık kayma düzeyinde ve yüksek korelasyon ile 3σ 'lık kayma düzeyinde en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

YSA sınıflandırma performansı, YSA yapısı, örüntü davranışı, eğitim veri sayısı ve eğitim algoritmasından etkilenmektedir. (Masood ve Hassan, 2010; Hachica ve Ghorbel, 2012). Bu düşünceden yola çıkan Massood ve Hassan (2014), örüntü tanıma için kullanılan veri büyüklüğü, eğitim için veri büyüklüğü, eğitim için veri kalitesi ve gizli katman düğüm sayısının etkisini ortaya koymak için tam faktörlü deney tasarımı yöntemi ile incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı örüntülere farklı YSA modellerinin eğitilmesi gerektiği ve uygulanan yöntemin deneysel dizaynlara göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

3.3.3.Literatür Taraması Bulguları

1990 ile 2015 yılları arasında çok değişkenli kontrol grafiklerinde sinir ağı yaklaşımı ile örüntü tanıma, proses ortalamasında ve varyansta meydana gelen kaymanın tespiti ve kontrol dışı sinyalin tespiti ve teşhisi ile ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı **Şekil 3.17**'de sunulmuştur. Bu kapsamda tablo incelendiğinde 2007-2013 yılları arasında yapılan çalışmaların sayısının önceki dönemlere göre arttığı görülmektedir.



Şekil 3.17:Çok Değişkenli Kontrol Kartlarında YSA ile Yapılan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

YSA'nın çok değişkenli kontrol grafiklerinde kullanımı ile yapılan çalışmalarda, çalışmaların % 83'ünde (35:42) normal veriler ve % 17'sinde (7:42) ise otokorelasyonlu veriler kullanılmıştır. İncelenen literatürde otokorelasyonlu veriler ile yapılan çalışmaların azlığı bu konuda literatürde geliştirmeye değer hususlar olduğunu gösterebilir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde en çok süreç ortalamasında meydana gelen kayma ile ilgili yapılan çalışmalara rastlanmıştır. Ancak, süreç ortalamasında meydana gelen kaymanın tespiti ile birlikte eş zamanlı olarak bazı araştırmacılar süreç varyansında meydana gelen kaymanın tespiti ile de çalışmışlardır. Bunların haricinde eğilim, dairevi ve sistematik örüntü diye adlandırılan daha özel örüntü çeşitlerinin ortaya konması ile ilgili çalışan araştırmacılar da bulunmaktadır (El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed, 2010).

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde değişkenlik, süreç değişken sayısını p ile gösterirsek, pxp boyutlu bir kovaryans matrisi ile özetlenir. Bu matrisin herhangi bir elemanında meydana gelen değişim sürecin değişkenliğinin artmasına veya azalmasına neden olur. Burada karşılaşılan asıl problem kontrol dışı bir sinyal tespit edildiğinde bu duruma sebep olan değişken veya değişken grubunun tespit edilme güçlüğüdür. Bu durumla ilgili çalışmalar Şekil 3.16'da da gözüktüğü gibi 2000'li yılların başında başlamıştır. Kontrol dışı sinyalin tespit edilmesi ve kaynağının ortaya konması için günümüze kadar kesin bir yöntem bulunmamıştır.

Kontrol grafiklerinde oluşan örüntü tipleri açısından incelendiğinde; örüntü tiplerinin tek örüntü veya tek örüntülerin birbirini takip ettiği ardışık örüntü şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan örüntülerin varlığını inceleyen makaleler incelendiğinde ise tek örüntü tipinin incelendiği makalelerin yoğunluk kazandığı görülmektedir. Ardışık örüntünün varlığını incelemek için Cheng ve Cheng (2008) ve Salehi, Bahreininejad ve Nakhai (2011) tarafından yapılmış iki adet çalışmaya rastlanmıştır. Yirmi birinci yüzyılda üretim süreçlerinde bilgisayar destekli yöntemlerin arttığı göz önünde bulundurulduğunda, süreçlerde oluşabilecek örüntülerin daha çok ardışık örüntü olacaktır. Bu nedenle araştırmaların ardışık örüntülerin üzerinde olacağı beklenmektedir.

Tablo 3.5'de yer alan çalışmalar incelendiğinde ham verilerle çalışmak hala en gözde giriş veri çeşidinin olduğu görülmektedir. 42 adet çalışmadan 31 adet makalede giriş verisi olarak ham veri kullanılmıştır. On bir adet çalışma da (Cheng ve Cheng, 2008; Yu ve Xi, 2009; Salehi, Bahreininejad ve Nakhai, 2011,2012; Masood ve Hassan, 2012, 2013) ise özellik tabanlı giriş verileri kullanılmıştır.

YSA'nın önemli bir özelliği de en iyi çözümü garanti etmemeleridir. Bu aslında önemli bir özelliktir. YSA, bağlantı ağırlıklarının başlangıç değerleri, eğitimde kullanılan örneklerin ağı sunuluş şekli, kullanılan öğrenme parametrelerinin belirlenen değerleri, öğrenmenin gerçekleştirildiği iterasyon sayısı gibi bazı faktörler elde edilen sonuçların performansını yakından ilgilendirmektedir. Aynı ağ bu faktörlerin farklı değerlerine göre farklı sonuçlar üretebilmektedir. Ayrıca ağların performansları aynı olsa bile birinin doğru sonuç ürettiği bir örnek için diğerinin farklı bir sonuç ürettiği görülebilmektedir. Bir problem için üretilen sonuçların deneme yanılma sonucu elde edilmesi en iyi topolojinin bulunmasını zorlaştırmaktadır. Her türlü topolojiyi denemek mümkün değildir. Bu nedenlerden dolayı problemlere daha iyi sonuçlar üretebilmek için birden fazla ağı eğitilerek birlikte kullanılması ve bunların bir sinerjisini oluşturarak problemlere çözüm üretmek için birden fazla ağı birlikte kullanıldığı sistemler geliştirilmektedir. Birden fazla ağı aynı probleme çözüm üretmek üzere geliştirildiği bu sistemlere birleşik ağlar denilmektedir (Öztemel, 2012). 2005 yılına kadar geliştirilen ağların hepsinin tek başlarına problemleri çözmek üzere geliştirildiklerini görmekteyiz. Ancak bu tarihten itibaren tek sinir ağları yerine bileşik ağlar kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin; YSA-çok değişkenli kontrol grafiği (Chen ve Wang, 2004; Niaki ve Abbasi

2005; Cheng ve Cheng, 2008; Yu, Xi ve Zhou, 2009), novelty detector (Zorriassatine, Tannock ve O'Brien, 2003), modular-YSA (Guh, 2007), ensemble-YSA (Yu ve Xi (2009)), multi-module-structure YSA (El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed, 2010) ve synergistic-YSA (Hassaan ve Massood, 2012).

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde YSA'nın kullanımı ile ilgili olarak en son gelişmelerin, 2006-2011 yılları arasında **YSA-Çok değişkenli kontrol grafiği, Novelty Detector, Modular-YSA, Ensemble-YSA, Multi-Module-Structure-YSA ve Synergistic-YSA** modellerinin gelişmesi olduğu görülmüştür. 2011 ile 2015 yılları arasında ise, YSA yerine sınıflandırıcı olarak destek vektör makinelerinin kullanımı ön plana çıktığı, hibrit yöntemlerin kullanıldığı ve YSA'nın ise destek vektör makineleri ile oldukça fazla beraber kullanıldığı görülmüştür.

Birleşik YSA-çok değişkenli kontrol grafikleri literatüründe, genellikle T^2 ve T^2 -varyans kontrol grafikleri gibi çok değişkenli kontrol grafiklerinin süreci izlemek için kullanıldığı hâlbuki genelleştirilmiş YSA (*generalized-ANN*) modellerinin çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyalin teşhis edilmesi için kullanıldığı tespit edilmiştir (Chen ve Wang, 2004; Niaki ve Abbasi, 2005; Cheng ve Cheng, 2007).

YSA modellerinin kontrol grafiklerinde giriş veri gösterim tekniği olarak iki tip giriş veri gösterim tekniği (*ham veri ve özellik tabanlı veri*) kullanılmaktadır. Ham veri gösterim tekniğinde gözlem değerleri ilk olarak belli değerler arasında ($0, +1$ veya $-1, +1$) standart hale getirilir ve kullanılır. Özellik tabanlı veri gösterim tekniğinde ise gözlem değerlerini temsil eden belli sayısal değerler elde edilir, ham veri gösterim tekniğinde olduğu gibi standart değerler haline getirilir ve kullanılır. YSA'lar özellik tabanlı veri gösterimi tekniğinin kullanılması tercih edilmektedir. Çünkü, özellik tabanlı veri gösterimi tekniği daha az sayıda giriş verisine sahip olduğundan YSA'nın performansını ve doğru sınıflandırma oranını olumlu yönde arttırmaktadır (Pacella, Semeraro ve Anglani, 2004). Literatürde çeşitli özellik çıkarma teknikleri ve bunlarla ilgili yapılan çalışmalarda bulunmaktadır (*Örneğin, şekillerden özellik çıkarma (shape features)* (Wani ve Rashid, 2005; Gauri ve Chakraborty, 2009; Pham ve Wani, 1997), multi-resolution wavelet analiz (Ebrahimzadeh ve Ranaee, 2010; Ranaee ve Ebrahimzadeh, 2010) ve istatistiksel özellik çıkarma (Hassan, Shariffnabibakhsh, Shahraroun, ve Jamaluddin, 2003)). Bu nedenle çok değişkenli kontrol grafiklerinde

özellik tabanlı giriş veri tekniğinin kullanılması YSA'nın performansı için uygun olduğu değerlendirilmektedir. Entegre YSA-istatistiksel süreç kontrolü yaklaşımında bazı araştırmacılar ise giriş veri gösterim tekniği olarak ham verileri ve özellik tabanlı verileri kapsayan hibrit yöntemler kullanmışlardır. Örneğin, Cheng ve Wang (2004) giriş verisi olarak bireysel gözlem verilerini ve bu verilerin ortalama değerini ($X_{11}, \dots, X_{1n}, \mu_1, X_{21}, \dots, X_{2n}, \mu_2$), Niaki ve Abbasi (2005) giriş verisi olarak bireysel gözlem verilerinin ortalama değerlerini (μ_1, μ_2), Cheng ve Cheng (2007) ise giriş verisi olarak bireysel gözlem verileri ve bu verilerin varyans değerlerini ($X_{11}, \dots, X_{1n}, \sigma^2_1, X_{21}, \dots, X_{2n}, \sigma^2_2$) hibrit olarak giriş verisi olarak kullanmıştır.

Tek değişkenli kontrol grafiklerinde kullanılan tipik örüntü tiplerinin çok değişkenli kontrol grafiklerinde kullanımının değişkenler arasındaki korelasyondan dolayı yararlı olmadığı görülmüştür. Ancak T^2 istatistiğinin tipik örüntü tipleri ile takip edilebileceği ve kaymaların varyansı hakkında anlamlı bazı bilgilerin elde edilebileceği görülmüştür. Diğer *MCUSUM* ve *MEWMA* istatistikleri için aynı şey söylenememektedir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde araştırılması yapılan örüntü tipleri ani aşağı ve yukarı kayma, aşağı ve yukarı eğilim ve normal örüntü tipleridir. Ancak eğilim, dairevi ve sistematik örüntü tipleri ile ilgili iki çalışma da yapılmıştır (El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed, 2010; Saithanu, 2006). Özellikle ardışık örüntü tiplerinin çok değişkenli kontrol grafiklerinde tipik örüntü tiplerine göre daha çok oluşma meyili içinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

- Çalışmalarda kullanılan veriler daha çok monte-carlo simülasyonu ile üretilmiş yapay verilerdir. Maliyetli olmaları ve toplanması uzun zaman almasından dolayı gerçek olaylardan toplanan veriler daha az kullanılmıştır. Çalışmalarda esas, gerçek olaylardan toplanan verilerin kullanılmasıdır.

Sosyal bilimlerde nitel veriler oldukça fazla kullanılmaktadır. Nitel verilerle çalışmak ayrı özel yöntemler gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi sinirsel bulanık mantık yaklaşımının kullanılmasıdır. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı, YSA'nın öğrenme yeteneği, en uygunu bulma ve bağlantılı yapılar gibi bulanık mantığın insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerin birleştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Bu yolla bulanık denetim sistemlerine, sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilirken, sinir ağlarına da bulanık denetimin insan gibi karar verme

ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmaktadır. Bu kapsamda sinirsel bulanık mantık yaklaşımı kalite kontrol grafiklerinde de kullanılmaktadır. Ancak incelenen makalelerde sinirsel bulanık mantık yaklaşımını kullanan bir veya iki adet çalışmaya rastlanmıştır. Bulanık YSA yaklaşımlarla ilgili uygulamalara gelecek zamanlarda daha fazla ağırlık verilmesi gerektiği düşünölmektedir.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. GENEL

Döküm sanayisinde kalite iyileştirme ve geliştirme çalışmaları kapsamında yapılan bu kalite kontrolü uygulaması, Kırıkkale il merkezinde konuşlu ve faaliyetlerini Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumuna (MKEK) bağlı olarak yürüten Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde **iki bölüm halinde** icra edilmiştir.

Uygulamanın **birinci bölümünde**; Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün tarihsel olarak kuruluşu, vazifesi ve görevleri, fonksiyon alanları, üretim süreci ve **halen uygulanmakta olan kalite kontrolü yöntemi** ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Uygulamanın **ikinci bölümde ise**; Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim süreci için *I*, *MR* ve Hotelling *T*² kontrol grafikleri dizayn edilmiş, uygulamadan elde edilen sonuçlar tartışılmış ve süreçte uygulanan yöntemlerle ilgili olarak tespit edilen kalite probleminin çözümüne yönelik olarak STTG yöntemine dayalı **dört modülden** oluşan bir model önerilmiştir.

4.2. PİRİNÇ ÜRETİM SÜRECİ

4.2.1. Uygulama Yeri ve Uygulama Yerinin Tanıtımı

4.2.1.1. Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK)

MKEK'nin temeli, on beşinci yüzyılda Osmanlı padişahı Fatih Sultan Mehmet'in top döküm tesisleri ile beraber atılmıştır. O zamanki adı **“Top Asithanesi”** olan tophane, faaliyetini Osmanlı İmparatorluğu'nun son yıllarına kadar sürdürmüştür. Söz konusu kurum, 1832–1908 yılları arasında **“Tophane-i Amire Müşirliği (1832) ve İmalat-ı Harbiye Müdüriyeti Umumiyesi (1909)”** gibi çeşitli isimler altında olarak faaliyetlerine devam etmiştir. 1919-1923 döneminin ardından ise **“Askeri Fabrikalar Umum Müdürlüğü (1921)”** adını almış, değişen dünya şartları, üretim ve pazarlama anlayışındaki değişimler ve gelişmeler ile NATO'ya girişimiz sonucu mevcut kapasiteyi daha etkin ve verimli kullanabilmek maksadıyla; 1950 yılında 5591 sayılı kanunla tüzel kişiliğe sahip **“MKEK Genel Müdürlüğü”** adı ile yeniden teşkilatlanmıştır (Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu, 2016). Kurum, halen Merkez

Teşkilatı, iki İşletme Müdürlüğü ve 10 Fabrika Müdürlüğü ile faaliyetini sürdürmektedir.

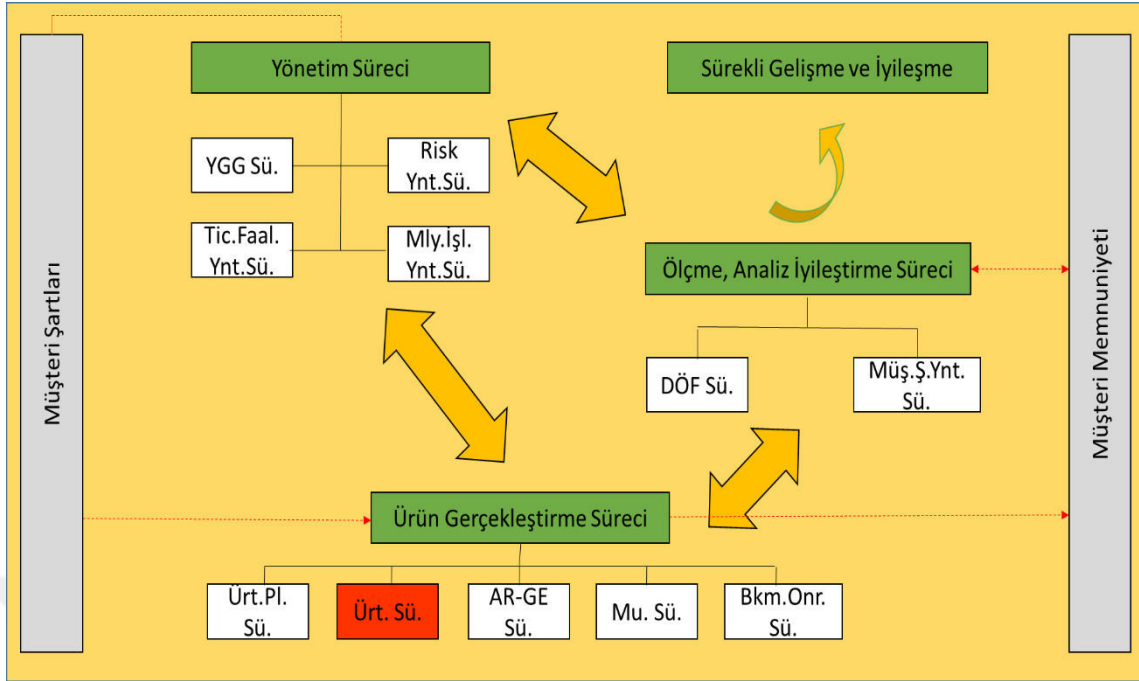
4.2.1.2. MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü

MKEK'a bağlı olarak faaliyetlerini yürüten ve 10 Fabrika Müdürlüğünden biri olan Pirinç Fabrikası Müdürlüğü, 1928 yılında **“Pirinç Döküm ve Haddehanesi”** adıyla askeri fabrika statüsünde kurulmuştur. Pirinç Fabrikası Müdürlüğü, 1950 yılında 5591 sayılı kanun ile MKEK bünyesine alınarak **“MKEK Pirinç Fabrikası”** adını almıştır. Söz konusu fabrika, 1984 yılında yayınlanan 233 sayılı kanun ve MKEK ana statüsü hükümlerince, 1993 yılında **“PİRİNÇSAN A.Ş.”** adını alarak bağlı ortaklık statüsüne kavuşmuş, ancak Serbest Piyasa Kurulunun 06.02.2003 tarih ve 2003/T-1 sayılı kararı ile yeniden yapılanma çerçevesinde tekrar eski **“MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü”** statüsüne dönüştürülmüştür (MKEK, 2016).

Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün görevi, MKEK Ana Statüsü ve Türk Ticaret Kanunu Hükümlerine göre çalışmasını sürdürmekle görevli olup askeri ihtiyaçlara yönelik kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberleri üretimi ile her nevi pirinç, kurşun, alüminyum mamul ve alaşımlarını üretmek ve ihtiyacı karşılamak, piyasadan gelecek talepler yönünde çeşitli mamullerin üretimini yapmaktır (MKEK, 2016).

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü kendisine tevdi edilen vazifeyi ve bu kapsamdaki görevleri, üç adet ana süreçte yerine getirmektedir. Bu ana süreçler; **yönetim süreci** (*yönetisel*), **ürün gerçekleştirme süreci** (*operasyonel*) ve **ölçme, analiz ve iyileştirme süreci** (*yönetisel ve operasyonel*)’dir. Ana süreçleri ve ana süreçlerin arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram **Şekil 4.1**'dedir.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Şekil 4.1'de belirtilen ana süreçlerin haricinde bu ana süreçleri yardım eden bazı alt süreçler de bulunmaktadır. Bu alt süreçler; yönetimin gözden geçirilmesi alt süreci, risk yönetimi alt süreci, ticari faaliyetlerin yönetimi alt süreci, mali işlerin yönetimi alt süreci, üretim planlama alt süreci, **üretim alt süreci**, Ar-Ge alt süreci, muayene alt süreci, bakım-onarım alt süreci, müşteri şikâyetleri yönetimi alt süreci, düzeltici ve önleyici faaliyetler alt sürecidir.



Şekil 4.1:Piriñ Fabrikası Müdürlüğündeki Ana Süreçler

Piriñ Fabrikası Müdürlüğünde üretilen kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberleri ile bu ürünlerin hammaddesi olan **piriñ alaşımının** üretiminin yapıldığı fabrikanın üretim alt sürecinin bölümleri ise;

- Vezin hazırlama bölümü,
- Hammadde ergitme ve döküm bölümü,
- Ekstrüzyon ve yüksük basma bölümüdür.

Ekstrüzyon ve yüksük basma bölümü sonunda üretilen nihai ürünler, kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberleridir. Bu nihai ürünlerin ham maddesi olan **piriñ alaşımının** üretimi ise **üretim alt sürecinin ikinci bölümü olan hammadde ergitme ve döküm bölümünün nihai ürünüdür.**

4.2.2. MKEK Piriñ Fabrikası Müdürlüğü Üretim Alt Süreci

MKEK Piriñ Fabrikası Müdürlüğü üretim alt sürecinde, askeri ihtiyaçlara yönelik kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberleri ile her nevi piriñ, kurşun, alüminyum mamul ve alaşımları üretilmektedir. Ancak bu ürünler içinde **en önemlisi piriñ alaşımıdır.**

Günümüzde birçok üretim sürecinde pirinç alaşımı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Pirinç, doğada tabii olarak bulunmayıp bakır (Cu), çinko (Zn) ve gerekli hallerde kurşundan (Pb) oluşan ve döküm (*metal üretme fırınlarından elde edilen eriyik haldeki metalin kullanım amacına göre gerekli şekil verilerek katılaştırılması olayıdır.*) yoluyla üretilen bir alaşımdır. Diğer bir deyişle pirinç, bakır ve çinkonun birlikte yaptığı alaşıma verilen isimdir.

Pirinç alaşımının üretimde yaygın olarak kullanılması, diğer metallere göre sahip olduğu bazı üstün özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu özelliklerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Üstün işlenme özelliği,
- Değişik şekil ve ebatlarda temin kolaylığı özelliği,
- Kırılcım çıkarmama özelliği,
- Çekici renk özelliği,
- Kolay dövülebilirlik özelliği,
- Özelliklerinde azalma olmadan tekrar kullanılma özelliği,
- İyi elektrik ve ısı iletkenliği özelliği,
- Uygun maliyet özelliği,
- İyi korozyon dayanımı özelliği,
- 200 °C'nin altında özelliklerinde azalma olmaması özelliği,
- Güneş ışığı ile renk değiştirmemesi özelliği,
- Kolay kaynak olma özelliği,
- İyi mukavemet özellikleri,
- Aşınma dayanımı özelliği.

Pirinç alaşımı, önceki paragraflarda belirtildiği üzere bakır ve çinko elementlerinin değişik oranlarda birleşmesi sonucunda oluşmaktadır. Herhangi bir alaşımın elde edilmesinde, bu şekilde elementlerin değişik oranlarda birleşme olayına **faz** denmektedir. Literatürde faz kavramı **alfa**, **beta** ve **gama** olmak üzere üçe

ayrılmaktadır. Bakır ve çinko elementleri birleşerek pirinç alaşımını oluştururken de pek çok faz meydana getirir (Brady, 1991).

%37'den az çinko içeren pirinç alaşımına **alfa tipi faza sahip pirinç çeşidi** denmektedir. Bu fazdaki pirinç, merkezli kübik yapıda bir yüzeye sahiptir, kolayca soğuk işleme tabi tutulabilir ve kübik yapıya sahip olması dolayısıyla talaşsız olarak imal edilebilir. Alaşımda çinko içeriğinin artması ile mukavemette artış sağlanır. Alfa fazı, iyi mukavemet ve süneklik özelliklerini bir arada bulundurur (Akgün, 2000; Brady, 1991; Mindivan, 2001).

%32 ile %37 arasında çinko içeren pirinç alaşımına ise **beta tipi faza sahip pirinç çeşidi** denmektedir. Beta fazındaki pirinç, hacim merkezli kübik kristal yapıdadır ve sıcak işlem kabiliyeti en yüksek olan pirinç türüdür. Ayrıca %37 ile %45 çinko içeren pirinç alaşımlarında, alfa ve beta fazları bir arada bulunabilir (Akgün, 2000; Brady, 1991; Mindivan, 2001).

Pirinç alaşımında görülen diğer bir faz çeşidi de **gama fazı**dır. Bu faz yapısına sahip pirinç alaşımının içinde **%45'ten fazla çinko** bulunmaktadır. Gama fazının endüstriyel kullanım alanı yoktur. Çünkü, bünyesinde sert Cu_2Zn_3 kristallerini barındırdığından ne sıcak ne de soğuk olarak işlenebilir (Akgün, 2000; Brady, 1991).

Saf maddeler olan bakır ve çinko elementlerinin yanında pirinç üretiminde, maliyetinin düşük olması nedeniyle hurda malzemelerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla pirinç üretim sürecinde kullanılan girdiler, saf ve hurda malzemelerdir. Hurda malzemelerin içinde saf elementlerin yanında kalay (*Sn*), antimuan (*Sb*), nikel (*Ni*), demir (*Fe*), alüminyum (*Al*) gibi çeşitli elementler de bulunmaktadır. Bu hurdaların içinden gelen bu elementlere empürite (*safsızlık*) adı verilmektedir (Özel, 2005).

Pirinç alaşımları, içerdikleri element yüzdelere göre farklılık gösterir ve isimlendirilir. Dünya standardı olarak belirlenmiş ve *DIN 17660* olarak adlandırılmış on dokuz çeşit pirinç alaşım çeşidi mevcuttur. *DIN 17660* olarak adlandırılmış pirinç alaşımı çeşitleri, Ek 2'de sunulmuştur. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde askeri ihtiyaçlara yönelik kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberleri üretimi için ihtiyaç duyulan pirinç alaşımının üretiminde *DIN 17660* standartları uygulanmaktadır.

MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde, *MS 90*, *MS 70* ve *MS 58* olarak adlandırılan pirinç alaşımı çeşitleri üretilmektedir. Ancak, fabrikada en çok üretilen

pirinç alaşımı **MS 58 cinsidir**. MS 58 cinsi pirinç alaşımının detaylı içeriği, **Tablo 4.1**'de verilmiştir. Oranlar, ağırlık cinsinden yüzde değerleridir.

Tablo 4.1:MS 58 Pirinç Alaşımının İçeriği

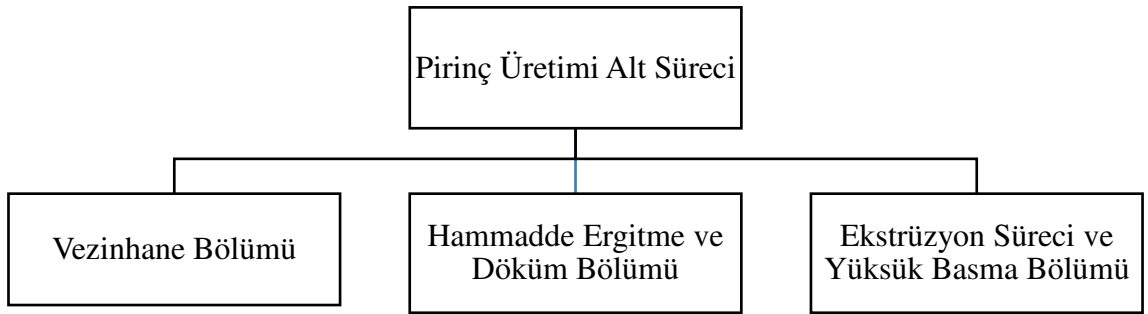
MS 58		
	Alt Spesifikasyon Değeri (%)	Üst Spesifikasyon Değeri
<i>Cu</i>	57	59
<i>Pb</i>	2.5	3.5
<i>Fe</i>	0	0,5
<i>Sn</i>	0	0,4
<i>Al</i>	0	0,1
<i>Ni</i>	0	0,5
<i>Sb</i>	0	0,02
<i>Diğer</i>	0	0,3
<i>Zn</i>	Geri kalan	

Tablo 4.1'de yer alan tablonun ilk sütununda MS 58 cinsi pirinç alaşımının içinde bulunan elementler ve bu elementlerin hizalarında ise element değerleri için alt ve üst ağırlık değerleri yer almaktadır. Bu ağırlık değerleri yüzde cinsindendir.

Tablo 4.1'nin birinci ve dokuzuncu satırlarında, MS 58 cinsi pirinç alaşımını oluşturan ana elementler olan bakır ve çinko elementleri yer almaktadır. MS 58 cinsi pirinç alaşımı, içinde ortalama olarak %58 (*alt ve üst spesifikasyon değerlerinin ortalaması*) oranında Cu bulunmasından dolayı MS 58 olarak adlandırılmıştır. Tablo 4.1'nin ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci satırlarında, MS 58 cinsi pirinç alaşımına çeşitli özellikler kazandırmak amacıyla eklenmesi gereken bazı elementler yer almaktadır. Ufak oranlarda katılan bu elementler, üretilen malzemeye işlenebilirlik özelliği kazandırabilmesi açısından önemlidir. Tablo 4.1'nin sekizinci satırında bulunan diğer satırı, oranları çok küçük olan ve alaşım için bir önem arz etmeyen empüritelerin toplamını ifade eder.

MS 58 cinsi pirinç alaşımı içinde bulunan elementlerin miktarı, alt spesifikasyon değeri (%) ve üst spesifikasyon değeri (%) arasında olması istenmektedir. En küçük ve en büyük oranlarının dışına çıkan bir element, alaşımın yapısını bozduğu için pirinç hatalı kabul edilir.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde MS 58 cinsi pirinç alaşımının üretildiği üretim alt süreci önceki bölümlerde de belirtildiği üzere üç bölümden oluşmaktadır. Üretim alt sürecinin bölümlerinin grafiksel gösterimi **Şekil 4.2**'dedir.



Şekil 4.2:Pirinç Üretimi Alt Sürecinin Bölümleri

4.2.2.1. Vezinhane Bölümü (Hurdalık)

Vezin'in kelime anlamı “ölçü, ölçülendirmek” demektir. Dolayısıyla vezinhane “ölçümün yapıldığı yer” anlamına gelmektedir.

Vezinhane bölümü, pirinç üretimi alt sürecinin ilk aşamasıdır ve üretim sürecinde girdi olarak kullanılacak olan bütün malzemeler bu bölümde depolanır. Bu bölümde depolanan malzemeler ilk olarak ölçülendirme işlemi ile malzemenin içerisindeki elementler ve oranları tespit edilerek tasnif edilir. Daha sonra üretilecek ürüne göre gerekli karışım (*gerekli malzemelerden gerekli miktarlar*) hazırlanır ve şarjlara konularak dökümhaneye gönderilir.

Resim 4.1'de Pirinç Fabrikası Müdürlüğü'nün vezinhane bölümünün genel görünümü yer almaktadır.



Resim 4.1:Vezinhane Bölümünün Genel Görünümü

Vezinhane bölümü, açık ve kapalı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

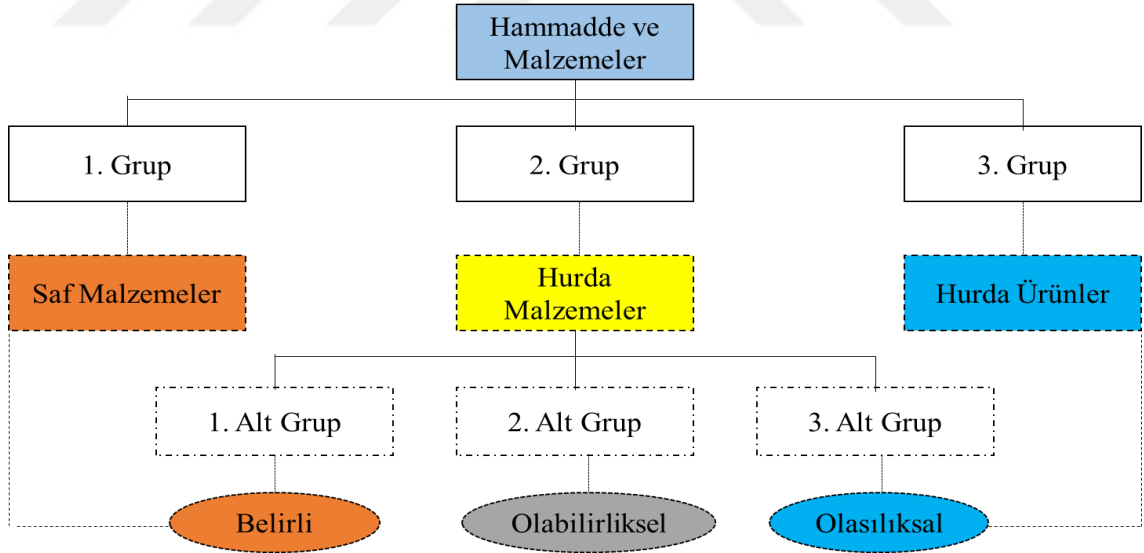
4.2.2.1.1. Vezinhane Açık Alanı

Vezinhane bölümünün açık sahası, fabrikanın iş akışının başlangıç noktası ve fabrikaya satın alınan veya üretim sürecinden gelen tüm hurda malzemelerin istiflendiği kısımdır. Vezinhane açık sahasının çeşitli görüntüleri **Resim 4.2'**de yer almaktadır.



Resim 4.2: Vezinhane Açık Sahasının Çeşitli Görüntüleri

Vezinhane bölümünün açık sahasında depolanan hammadde ve malzemeler, içerdikleri elementlere ait oranların belirli ve belirsiz olmasına göre Şekil 4.3'de görüldüğü gibi üç grup altında toplanmaktadır (Sakallı, 2010)



Şekil 4.3: Hammadde ve Malzemelerin İçerdikleri Elementlere Göre Gruplanması

Birinci grup saf malzemeleri, ikinci grup tedarikçilerden temin edilen hurda parçaları ve üçüncü grup ise fabrika bünyesindeki diğer atölyelerden vezinhane bölümüne dönen atıl kalmış ya da üretim sırasında fireye çıkmış mamul ve yarı mamulleri kapsamaktadır.

Üçüncü grup hurda malzemeye ara iş malzeme denmektedir. Ara iş malzemeler üretimin çeşitli aşamalarında oluşmaktadır. Örneğin; dökümhane bölümünden elde edilen ara işlere örnek olarak testere talaşları, takoz (*ingot*) başları, bozuk veya tamamen çatlak ingotlar; pres bölümünden elde edilen ara işlere örnek olarak takozlardan alınan kabuklar, takoz basıldıktan sonra kalan kısımlar, testere talaşları ve haddehane bölümünden elde edilen ara işlere örnek olarak lamaların baş kısımları, dönen bozuk işler verilebilir.

Çalışmamızda 01 Ocak-31 Mart 2015 dönemine ait veriler kullanılmıştır. Bu dönemde Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde kullanılan 18 adet saf ve hurda malzemelerin listesi, **Tablo 4.2'**de görülmektedir. Bu saf ve hurda malzemelerin fotoğrafları ve içerik olarak özellikleri ise süreç tabanlı temel elemanların (STTE) hesaplanmasında gösterilmiştir.

Tablo 4.2:Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde 01 Ocak-31 Mart 2015 Döneminde Kullanılan Saf ve Hurda Malzemelerin Listesi

Hurda Numarası	Hurda İsmi
1.Hurda	MS 58 (Ara iş)
2.Hurda	Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
3.Hurda	MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
4.Hurda	Soyma Cu
5.Hurda	Kablo Bakır (Granül Bakır)
6.Hurda	Hurda Radyatör
7.Hurda	Hurda Elektrolit Çinko (<i>E-Zn</i>)
8.Hurda	Reganya Toprak
9.Hurda	Reganya Takoz
10.Hurda	Elektrolit Külçe Kurşun (<i>E-Pb</i>)
11.Hurda	Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
12.Hurda	Boş kovan 70 (Fesih-Fesih Hurda Kovan)
13.Hurda	Hurda Kapçık 70 (Fesih-Fesih Hurda Kapçık)
14.Hurda	Elektrolit Külçe Çinko (<i>E-Zn</i>)
15.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
16.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
17.Hurda	Harici Hurda Bakır
18.Hurda	Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu

4.2.2.1.2. Vezinhane Kapalı Alanı

Dökümhaneye gönderilecek olan şarjlar vezinhane kapalı alanında hazırlanır. Şarjlar, hurdaların içindeki element oranları dikkate alınarak üretilmek istenen pirinç cinsine uygun olarak saf ve hurda malzemelerin harmanlanmasıdır.

Vezinhane bölümünde şarjlar çeşitli normlar doğrultusunda hazırlanır. Normlar DIN (*Deutshes Institut Für Normung*), ES (*European Standards*), ASTM (*American Society For Testing And Metarials*) gibi normlardır. En çok kullanılan normlar, DIN ve ES normlarıdır. Şarj hesapları, bakır ve çinko elementleri dengesine göre ağırlıkça % olarak yapılır ve şarj hesabı yapılırken stokiometrik tablolardan faydalanılmaktadır. Stokiometrik tablolardan bir örnek **Ek 3'**de yer almaktadır.

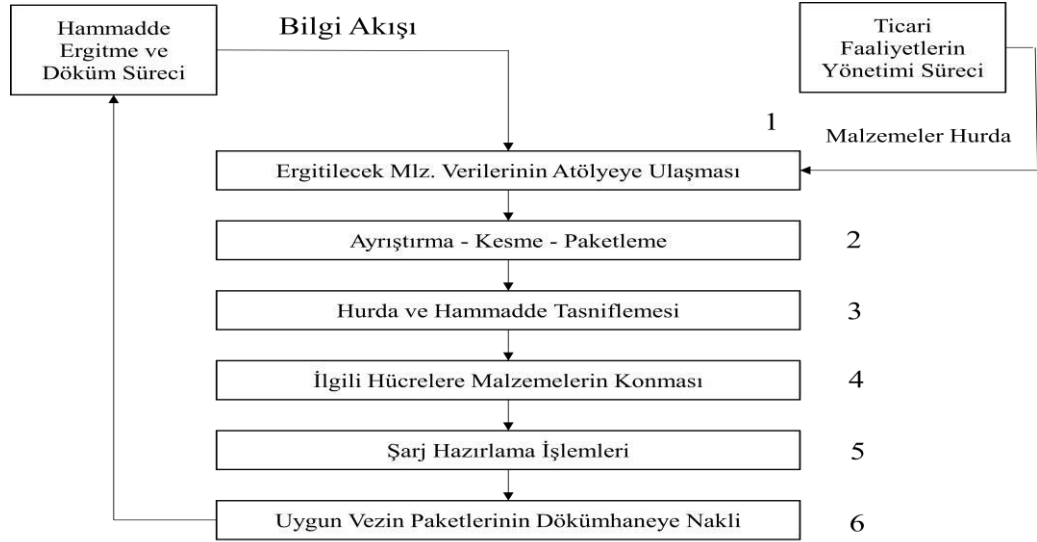
Vezinhane kapalı alanında ana problem, istenilen özelliklerde pirinç elde etmek için hangi hammadde ve hurda malzemelerin hangi miktarlarda karıştırılacağıdır. Bu durum saf ve hurdaların ölçümleme işlemi ile çözüme ulaşılır. Ölçümleme işlemi, hurda malzemelerin içinde bulunan bileşimlerin yüzde cinsinden ölçülmesi işlemidir. Ölçümleme işlemi ile malzemenin içerisindeki elementler ve oranlar tespit edilerek tasnif edilir. Üretilcek ürüne göre gerekli karışım vezinhane bölümünde hazırlanır ve şarjlar oluşturularak dökümhaneye gönderilir. Karışım hazırlanılırken ürünün içereceği elementlerin oranları dikkate alınır ve sınırlar arasında kalan bir harman (*ürüne değer katan girdilerin karıştırılması*) oluşturulur. İhtiyaç halinde dökümhaneye ocaklara konulması için saf malzemeler de gönderilir.

Vezinhane bölümünde hazırlanan şarjlar **Resim 4.3'**de görülen raylı bir sistem üzerinde hareket eden iş arabaları vasıtası ile dökümhaneye taşınır.



Resim 4.3: Vezinhane Bölümünde Kullanılan Raylı İş Arabaları

Vezinhane bölümündeki yapılan faaliyetlerle ilgili hazırlanan vezinhane bölümündeki iş akış şeması **Şekil 4.4'**de yer almaktadır.



Şekil 4.4: Vezinhane Bölümünde İş Akış Şeması

4.2.2.2. Dökümhane Bölümü

Dökümhane bölümünün görevi, vezinhane bölümünde hazırlanan şarjları ocaklarda ergitip döküm yoluyla katılaştırılarak ingot haline getirmektir. Dökümhane bölümünün bir görüntüsü **Resim 4.4**'de yer almaktadır.



Resim 4.4: Dökümhane Bölümünün Genel Görüntüsü

Resim 4.4'de görüldüğü üzere fabrikanın dökümhane bölümünde iki ayrı platformda kurulu bulunan 10 adet indüksiyon ocağı mevcuttur. Dökümhanede bulunan tüm ocaklar indüksiyon ocaklarıdır. İndüksiyon ocaklarının kullanılmasının avantajları şöyle sıralanabilir: ekonomiktir, metal kaybı azdır, ergimiş metalin bileşimi daha

homojendir, dökülen metal daha temiz kalır ve bu özellik metalde gaz probleminin ortaya çıkmasını engeller, aşırı ısınmayı engelleyerek metalin atmosferden gaz kapmasını engeller ve her döküm istenilen sıcaklıkta alınabilir. Vezinhane bölümünde hazırlanan şarjlar burada indüksiyon ocaklarına dökülerek eritilir. Erime işlemi tamamlandıktan sonra dinlendirme ocağına alınan şarj, çeşitli şekillerde dökme işlemine tabi tutulur. Ergitme ocaklarından her şarjda belli sürelerle kontrol amaçlı numune alınarak karışımın içerisindeki element yüzdeleri ölçülür.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü dökümhane bölümünde **kokil (metal) kalıp** ve **sürekli** olmak üzere iki çeşit döküm yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler neticesinde farklı uzunluklarda ve çaplarda pirinç takozlar üretilmektedir.

Kokil (metal) kalıba döküm yöntemi, kara kalıp olarak adlandırılan kalıplarda uygulanır. Adına "bakır zarf" denilen saf bakırdan imal edilmiş bir borunun içine akıtılan sıvı metalin, boru ile kalıp muhafazası arasından su geçirilerek soğutulmasının sağlandığı bir döküm yöntemidir. Bu yöntemde 2–2,5 metre boyundaki bir kalıba döküm yapılarak ingot elde edilir.

Sürekli döküm yöntemi, pirinç fabrikasında en çok kullanılan döküm yöntemidir. Bu sistemde ergitme amaçlı çalışan iki adet indüksiyon ocağı ve döküm amaçlı bir adet de bekleme fırını vardır. Bu sistemde platformun üzerinde bulunan ocaklarda sırasıyla ergitme işlemi yapıldığı için döküm sürekli olarak devam eder. Örneğin: 10 numaralı ocakta ergitilen pirinç dinlendirme ocağına aktarılır. Bu sırada 11 numaralı ocakta ergitme işlemi **Resim 4.5**'de görüldüğü gibi devam eder (10 ve 11 fabrikada verilmiş ocak numaralarıdır.).



Resim 4.5:Sürekli Döküm Sisteminde Ergitme Ocağından Dinlendirme (Döküm) Ocağına Döküm Anı

Dinlendirme ocağındaki sıvı metalin katılaştırılarak ingot haline getirilmesi için ocağın üzerinde monte edilmiş ve **Resim 4.6**'da yer alan bir tür döküm kalıbı vardır. Kalıp içerisine sıvı halde akan alaşım, katılaştırılarak ingot oluşumu sağlanır. Dakikada 8–9 cm. hızla katılaşılan metal, **Resim 4.7**'de gösterilen ve adına “çekme ünitesi” denen bir tür yardımcı mekanik sistem vasıtasıyla kalıptan yavaş yavaş dışarı çekilir. Sürekli döküm sisteminin en son kısmında yer alan testerede ise üretilen bu ingottan istenilen boyda **Resim 4.8**'de gösterilen parçalar kesilir. Genellikle 33–35 cm. boyda kesilen ve **Resim 4.9**'de gösterilen bu ingot parçaları "takoz" diye adlandırılırlar.



Resim 4.6:Döküm Kalıbı



Resim 4.7:Çekme Ünitesi



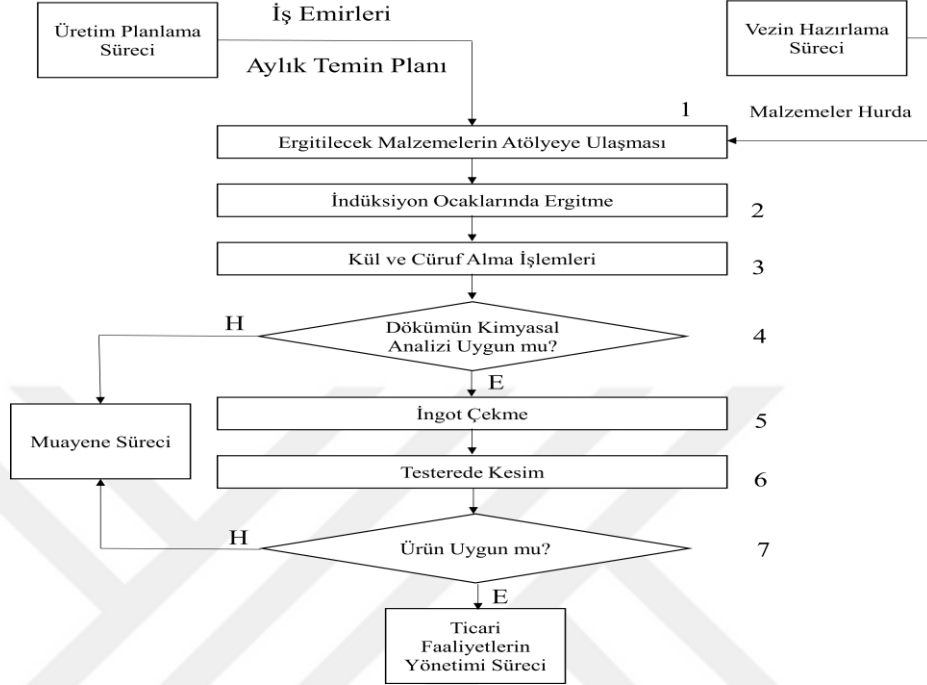
Resim 4.8:Kesilen Takozlar



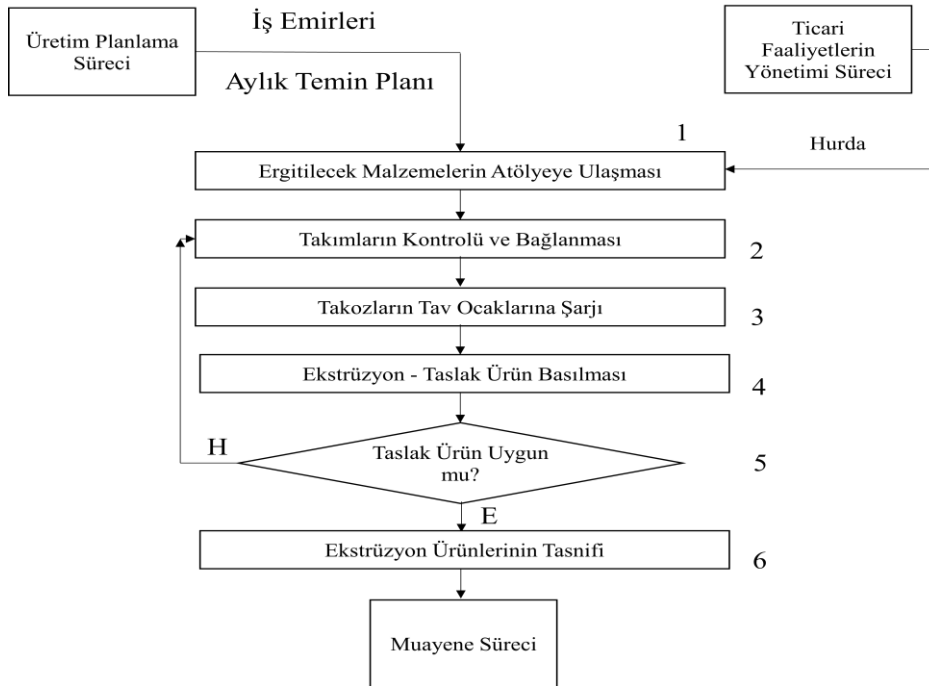
Resim 4.9:Kesilerek İş Kazanına Düşürülen Takozlar

Takozların çapları isteğe göre malzemenin çıkmasına izin verilen kalıbın çapının küçültülmesi ya da büyütülmesi ile değiştirilebilir. Dökümhanede üretilen bütün ingotlar daha sonra ekstrüze edilmek üzere pres atölyesine gönderilir. Pres atölyesinin görevi, dökümhanede üretilen takozları sıcak şekil değiştirmeye uğratarak dört temel ürüne dönüştürmektir. Bunlar, askeri ve sivil maksatlı çubuklar ve profiller, lamalar, borular ve sevk çemberleri olarak sınıflandırılan ürünlerdir.

Dökümhane bölümündeki hammadde ergitme ve döküm sürecini gösteren iş akış şeması **Şekil 4.5**'de ve ekstrüzyon sürecini gösteren iş akış şeması **Şekil 4.6**'de gösterilmektedir.



Şekil 4.5:Hammadde Ergitme ve Döküm Süreci İş Akış Şeması



Şekil 4.6:Ekstrüzyon Süreci İş Akış Şeması

4.2.2.3. Haddehane Bölümü

4.2.2.3.1. Genel

Hadde atölyesinin görevi pres atölyesinden gelen lamaların operasyon planlarında belirlenen ürün haline gelene kadar haddeme ve ısıt işlemlerini gerçekleştirmektir. Gerek fabrikada üretilecek olan yüksükler için kullanılacak şeritlerin hazırlanmasında, gerekse kuruma bağlı diğer fabrikaların siparişlerinin sağlanmasında hadde atölyesinin üstlendiği görev önemlidir.

4.2.2.3.2. Haddeme İşlemleri

Haddeme, özetle malzemeyi soğuk olarak ezme işlemi olarak tanımlanabilir. Birbirine ters yönde dönen iki silindir arasından malzemeyi geçirerek kalınlığının düşürülmesi işlemidir. Haddehanede bulunan tüm haddeler "soğuk hadde" tabir edilen haddelerdir.

Adından da anlaşılacağı üzere malzemeler soğuk haddelerde oda sıcaklığında işlem görürler. Haddehaneye gelen kovan yüksük lamaları ve şeritler genellikle *MS 58* ve üzeri malzemeden üretilir. Üretimi fazla olmamakla birlikte *MS 70* malzemeden imal edilen şeritler de olabilmektedir. Preste atölyesinde üretilen 'kovanlık ve fişeklik' malzemeler ile diğer askeri maksatlı tüm lamalar ve şeritler, ilk olarak 3'lü hadde grubundan geçerler. Her ürüne ait bir de üretim operasyon planı bulunmaktadır ve operasyon planlarında belirlenen işlem adımlarına titizlikle uyulmaktadır.

Haddeme işlemleri bittiğinde malzemelerin kalınlığında belli oranda azalma gerçekleşmekte ancak malzeme genişlikleri değişmediğinden boylarında ciddi uzama meydana gelmektedir.

Pirinç üretim sürecinde önceki bölümlerde anlatıldığı gibi çok çeşitli hammadde ve malzeme kullanma imkânı vardır. Üretimde kullanılabilecek hammadde ve malzeme çeşidinin fazla olması maliyeti düşürmek için iyi bir fırsat olsa da beraberinde bir takım problemleri de getirmektedir.

4.2.2.4. Üretim Süreci ve Nihai Ürünlerden Yüksüğün Üretimi

Pirinç Fabrikasının nihai ürünlerden biri yüksük adı verilen malzemedir. Bu ürün, türüne çift etkili pres denilen makinelerde soğuk derin çekme yöntemiyle üretilir. Pirinç Fabrikasında yaklaşık 40 ayrı yüksük çeşidinin üretimi gerçekleştirilmektedir.

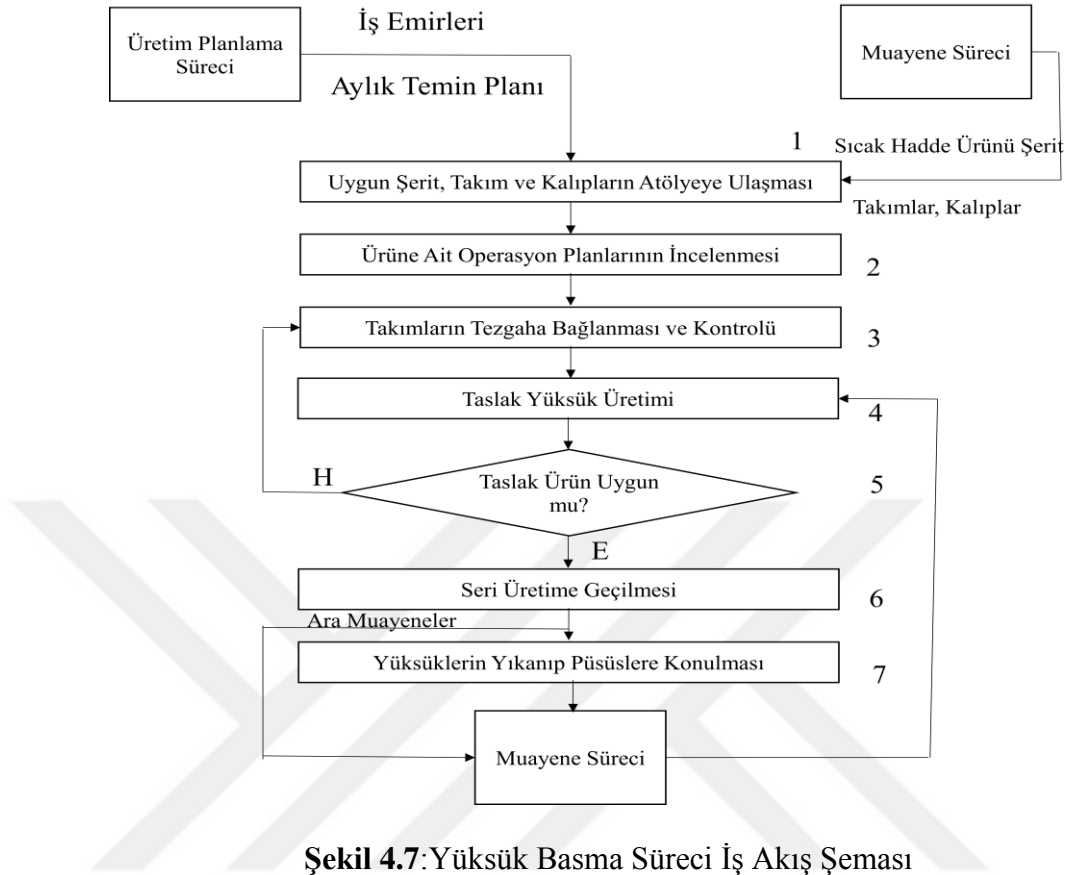
Yüksükler, kovan yüksükleri ve gömlek yüksükleri olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Her iki sınıf yüksük de hadde tezgâhlarında işlem görmüş lama ya da şeritlerden üretilirler. Yani yüksük tezgâhlarında hammadde olarak genellikle sıcak haddeleme yoluyla üretilmiş şeritler tercih edilmektedir. Ancak fabrikada sıcak hadde bulunmadığından genellikle yüksük üretimi için bu ürünlerin piyasada sıcak haddeleme tekniğiyle üretim yapabilen özel şirketlerden satın alınmak suretiyle temini yoluna gidilmektedir.

Pirinç Fabrikasında kovanlık pul presi de dâhil olmak üzere 5 ayrı tezgâh kullanılarak yılda yaklaşık olarak 1.600 ton kovan ve gömlek yüksüğü üretilmektedir. Pirinç fabrikasında üretilen kovan pulları haricindeki tüm yüksükler MKEK'a bağlı diğer bir fabrika olan Ankara konuşlu Gazi Fişek Fabrikası Müdürlüğüne gönderilir. Çünkü üretilen yüksüklerin fişek haline gelebilmesi için gereken derin çekme operasyonu sayısı çok daha fazladır. Bu anlamda Pirinç Fabrikasının nihai ürünü olan yüksük, Gazi Fişek Fabrikası için hammadde konumundadır.

Yüksük üretiminde kullanılacak olan malzemeler, kimyasal açıdan piyasaya yönelik olarak üretilen malzemelerden daha farklı kompozisyona sahiptir. Piyasa ürünlerinde talaş kaldırma kabiliyetini olumlu yönde etkilediği için bulunması istenen kurşun, askeri üretimlerde derin çekme kabiliyetini olumsuz yönde etkilediği için istenmeyen element konumundadır. Bu anlamda satın alınan şeritler üretimde kullanılmadan önce kapsamlı bir kontrolden geçer. Bu kontroller sırasında malzemenin her türlü mekanik özelliği ve kimyasal kompozisyonu tespit edilir. Satın alma şartnamesinde belirtilen özelliklere uygun bulunmayan hiçbir şerit kfilesinin tezgâhlarda işlem görmesine izin verilmez.

Yüksük tezgâhlarında üretimi tamamlanan yüksükler, uygunluk kontrolleri tamamlandıktan sonra yıkama tezgâhına alınırlar. Bu tezgâh; hadde atölyesinde üretilen lama ve şeritlerin temizlendiği tezgâhlar ile aynı mantıkla çalışan, ancak yıkama esnasında içine konulan yüksüklerin bir uçtan diğer uca ulaşabilmesi için kendi ekseninde dönen silindirik bir tambura sahip bir tezgâhtır. Üretimi biten hiçbir yüksük kfilesi, yıkama işlemleri sona ermeden müşteriye gönderilmez.

Yüksük basma süreci iş akış şeması **Şekil 4.7**'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7:Yüksük Basma Süreci İş Akış Şeması

MKEK Pirinç Fabrikasının asıl görevi, başlangıç kısmında da detayı açıklandığı üzere TSK'nın askeri ihtiyaçlara yönelik kovan pullarının, kovan ve gömlek yüksüklerinin, sevk çemberlerinin üretimini yapmaktır. Kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberleri üretimi, yukarıda anlatılan üretim süreci sonunda üretilen pirinç çubuklara dayanmaktadır. Bir çubuk üretim sürecindeki işlemler özet olarak aşağıya çıkartılmıştır.

1. İşlem: Piyasa ile üretim süreci esnasında normlara uygun olarak üretilmeyen ara işlerden gelen hurdalar ve malzemeler, ilk olarak uygun oranlarda şarj hazırlamak için vezinhanenin açık alanında gruplandırılır. Daha sonra hurdalar ve malzemeler vezinhanenin kapalı alanında, *DIN* normunda ifade edilen pirinçlerin element yüzdelere uygun olarak birleştirilerek şarj hazırlanır.

2. İşlem: Vezinhanede oluşturulan şarjlar, standart bir yük aracı ile birlikte dökümhaneye sevk edilir. Dökümhaneye gelen şarjlar, ergitme ocağına boşaltılarak tamamen eriyik olana kadar bekletilir. Oluşan eriyikten içindeki element oranlarının

istenilen oranda yani *DIN* standartlarında olup olmadığının kontrolünü yapmak maksadıyla numune alınır ve numune spektral analize tabi tutulur.

3. İşlem: Kalite kontrolü bölümünden gelen spektral analiz sonuçları değerlendirilir ve eriği *DIN* standartlarına uygun hale getirmek için saf bakır ve çinko elementleri ilave edilir. Eğer diğer elementlerden de standartlara uymayan varsa bu elementlerle ilgili de müdahalede bulunulur. Daha sonra eriği dinlendirme ocağına boşaltılır.

4. İşlem: Eriyik, dinlendirme ocağında belli süre kalır ve farklı ocaklardan gelen eriyiklerin karışımı sağlanır. Eriyik, dinlendirme ocağında iken dinlendirme ocağından tekrar bir numune alınır ve yine spektral analize tabi tutulur.

5. İşlem: Dinlendirme ocağından alınan eriyikten ingotlar elde edilir. Elde edilen pirinç ingotlar istenilen uzunlukta kesilir ve takoz haline getirilir.

6. İşlem: Takozlar, 800°C ye kadar ısıtılarak tavllanır ve ekstrüzyon işlemi yapılır. Daha sonra elde edilen lamalar ve çubuklar su ile soğutulur.

7. İşlem: Ekstrüzyon sonucu lamaların ve çubukların uç kısımlarında oluşan hatalı kısımlar kesilir, çubukların geri kalan kısmı ikiye bölünür ve haddeleme ile doğrultulur. En sonunda elde edilen nihai ürün ile ilgili kalite kontrolü yapılır.

4.2.3. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Uygulanan Kalite Kontrol Yöntemi

Bu bölümde, Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde halen uygulanmakta olan üç aşamalı kalite kontrol uygulaması anlatılacaktır.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim süreci, vezinhanenin açık alanına getirilen saf ve hurda malzemelerin içindeki birbirine benzer elementlere göre sınıflandırılması ile başlar. Daha sonra saf ve hurda malzemeler belli oranlarda karıştırılarak şarjlar oluşturulur. Şarjlar indüksiyon ocaklarında yüksek ısı işlemler sonunda eritilerek eriyik halde pirinç alaşımı elde edilir. Eriyik haldeki pirinç alaşımlarından her defasında belli periyotlarla kontrol amaçlı numune alınır ve bu numuneler spektral analize tabi tutulur. Spektral analizin yapıldığı ölçüm aleti ile ilgili görüntü **Resim 4.10**'da yer almaktadır. Spektral analizin yapıldığı ölçüm aleti aslında spektrometre olarak da adlandırılmaktadır.



Resim 4.10:Spektral Analizin Yapıldığı Ölçüm Aleti

Spektrometreler ışığı spektral olarak dalga boylarına ayıran elektriksel sinyallere dönüştürerek belli bir referansa göre materyal analizi yapabilen cihazlardır. Spektral analiz cihazları ile pik ve sfero döküm, düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, mangan çelikleri, otomat çelikleri, etial alaşımları, alüminyum alaşımları, saf alüminyum, bakır, pirinç, bronz, saf çinko analizleri gerçekleştirilebilir (Moment Expo, 2008). Kısa zamanda ve oldukça hassas yapılan ölçümleri ekranda gösterir.

Spektral analiz sonunda, karışımın içerisindeki elementlerin ağırlıkça yüzdeleri ölçülür ve elde edilen sonuçlar *DIN* standartlarına uygunluğu kontrol edilir. Elde edilen herhangi bir elementin oranı alt referans değerinin altında çıkmışsa standardı sağlamak için o maddeden gerekli miktar ocağa eklenir. Eğer element oranı üst referans sınırının üzerinde çıkmışsa bu durumda öncelikle saf çinko ve bu çinkonun eklenmesiyle oranı alt referans sınırının altına inecek olan elementten gerekli miktar ocağa ilave edilerek oranlar sağlanmaya çalışılır. Ocakta farklı bir ürünün dökümüne geçilecekse, bir önceki ürünün dökümünden belli bir miktar ocakta kaldığı için ocağa saf bakır veya çinko ilave edilir. Yeni ürünün bakır oranı bir öncekinden yüksek ise saf çinko, düşük ise saf bakır ilave edilerek ocaktaki karışımın empürite oranları yeni ürünün seviyesine çekilir. Bu kapsamda istenen element seviyesinin ayarlanması için uygulanan formül şöyledir. Bu formül STTG yönteminde temel elemanların hesaplanmasında kullanıldığından dolayı en basit hali ile verilmiştir.

$$\% \text{ İstenen Element} = \frac{X_1 * M_1 + X_2 * M_2}{M_1 + M_2} \quad (4-1)$$

Burada:

X_1 :Ocak içerisinde o anda ergimiş halde bulunan istenen element % si,

X_2 :Ocağa ilave edilecek hammaddenin içeriğinde bulunan istenen element % si,

M_1 :Ocak içerisinde o anda bulunan sıvı metal miktarı,

M_2 :Ocağa ilave edilecek hammadde miktarı.

Yukarıda yer alan hesaplama yönteminin pratik uygulamasını göstermek amacıyla bir örnek verilmiştir.

Örnek: İçinde 2000 kg sıvı metal bulunduran bir ergitme ocağı ağırlıkça %59 *Cu* içermektedir. *Cu* miktarının %57 seviyesine düşmesi için bu ocağa ne kadar saf *Zn* ilave edilmelidir?

Cevap: Soruda verilen değerler formülde yerine konulduğunda:

$$\% \text{ İstenen Element} = \frac{X_1 \times M_1 + X_2 \times M_2}{M_1 + M_2}$$

$$0,57 = \frac{2000 \times 0,59 + 0 \times M_2}{2000 + M_2}$$

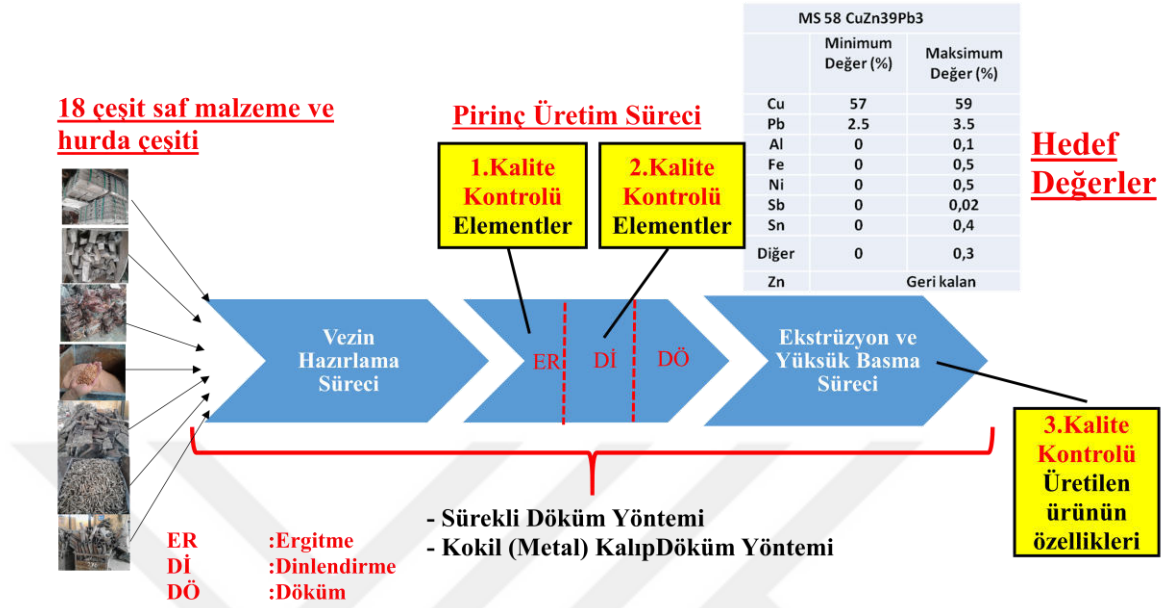
$$M_2 = 70 \text{ kg bulunur.}$$

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde pirinç alaşımının elde edildiği birden fazla indüksiyon ocağı bulunmaktadır. Bu nedenle bahsi geçen element oranı ayarlama işlemi, bütün indüksiyon ocaklarındaki eriyik haldeki pirinç alaşımları için ayrı ayrı yapılmaktadır.

Ölçüm sonunda indüksiyon ocaklarındaki eriyik haldeki pirinç alaşımının içinde bulunan element oranları ile ilgili gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra eriyik pirinç, dinlendirme ocaklarına alınarak karıştırılmaktadır. İkinci aşamada kalite kontrolü uygulaması, birinci aşamadaki işlemler gibi yapılmaktadır.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecindeki kalite kontrolü uygulamasının üçüncü ve son aşaması ise üretim süreci sonunda elde edilen nihai ürüne yapılan işlemdir. Üretim süreci sonunda üretilen metal çubuklardan rastgele zamanlarda numuneler alınır ve sertlik, çap, boy gibi özellikleri kontrol edilir. Standartlarda olmayan ürünler ayıklanarak ara iş hurdası olarak işlem görür ve vezinhaneye tekrar geri gönderilir.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün kalite kontrol uygulama adımları **Şekil 4.8**'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün Kalite Kontrol Uygulama Adımları

Buraya kadar Pirinç Fabrikası Müdürlüğü ile ilgili genel bilgiler verilmiş, üretim sürecindeki yapılan işlemler ile bu süreçte halen uygulanan kalite kontrolü yöntemi anlatılmıştır. Bu bölümden sonra Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde yapılan bir istatistiksel kalite kontrolü uygulaması ele alınacaktır. Bu uygulamada ilk olarak kalite karakteristiği olarak element oranları için istatistiksel kalite kontrolü uygulaması yapılacak ve müteakiben STTG yöntemine dayalı olarak 4 modül halinde oluşturulan modelin uygulaması yapılacaktır.

4.3. STTG'YE DAYALI MODELİN UYGULAMASI

Uygulamanın birinci bölümünde; Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün vazifesi, tarihçesi, üretim süreci ve üretim sürecinde halen uygulanmakta olan kalite kontrolünün nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Bu kapsamda, Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde kalite kontrolü uygulamasının üç aşamada yapıldığı ve nihai kalite kontrolünün ise ağırlıklı olarak üretim sürecinin sonunda elde edilen pirinç ürünlerinin çap, boy, kalınlık gibi özelliklerine ait değerlere (*döküm hatalarına (casting defects)*) bakılarak yapıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, **Şekil 4.8**'de de görüldüğü gibi birinci ve ikinci aşamalarda yapılan kalite kontrol uygulamaları, üçüncü aşamada yapılan kalite kontrol uygulamasının ara aşamaları veya destekleyici unsurları olarak kabul edilmektedir.

Ancak, Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde üretim süreci ile ilgili olarak üç aşama halinde yapılan kalite kontrolü sürecindeki nihai ürünün çap, boy, kalınlık gibi özelliklerine ait değerlere (*döküm hatalarına*) bakılarak yapılan değerlendirmeler her zaman yeterli değildir. Ayrıca her bir kalite karakteristiği (*döküm hataları*) aynı anda birden fazla özel neden tarafından etkilenmektedir. Bu değerlendirmelerin yanında malzemenin kalitesi, malzemenin elde edildiği alaşımın içindeki elementlerin oranlarına (*chemical compound*) da bağlıdır (Beeley, 1972, Campbell, 2003; Ghosh ve Mallik, 2001; Vijayaram, Sulaiman ve Hamouda, 2006). Çünkü saf elementler belirli özelliklere sahiptir. Bu nedenle ancak sınırlı kullanma alanları vardır. Saf elementlerin özelliklerini belirli hâllerde soğuk biçimlendirme ve ısı işlemler ile değiştirmek mümkündür. Bu sayede, ürünün özellikleri (*mukavemet, uzama, şekil alma, yüzey parlaklığı, elektrik, ısı iletkenliği ve görünüm*) gelişir.

Ayrıca, günümüzde dünya ekonomisini etkisine alan küreselleşme süreci ile işletmeler dünya pazarında yoğun bir rekabet içerisinde faaliyet göstermektedirler. Bu rekabet ortamında işletmeler maliyetlerini düşürmek, kar elde etmek, hataları minimize ederek kaliteyi artırmak istemektedirler.

Yukarıda belirtilen durumlar ışığında, Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecindeki kalite geliştirme çabalarını daha iyi seviyeye çıkarmak maksadıyla literatürde ve endüstride yaygın bir şekilde kullanılan çeşitli kalite kontrol yöntemleri farklı şekillerde uygulanabilir. Bu yöntemlerden literatürde en yaygın ve etkin kullanımı

olan yöntem ise detayları çalışmanın birinci bölümde anlatıldığı üzere istatistiksel süreç kontrolüdür.

Yukarıda belirtilen durumlar çerçevesinde çalışmanın ikinci bölümde ilk olarak Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde halen uygulanmakta olan kalite kontrolü yönteminin ara aşamalarındaki kalite karakteristikleri olan pirinç alaşımı içindeki element oranları, istatistiksel süreç kontrol yöntemlerinden tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiş, elde edilen sonuçlar ışığında sürecin değişkenliği ile ilgili yorumlar yapılarak giderici önlemler tartışılmış ve sonunda STTG yöntemine dayalı bir model önerilmiştir.

4.3.1. Uygulamada Kullanılan Veriler:

MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim süreci, yedi çeşit pirinç alaşımı üretme kabiliyetine sahipken, bu süreçte genellikle *MS 58*, *MS 70* ve *MS 90* pirinç alaşımı çeşitleri üretilmektedir. Ancak, TSK'nın askeri ihtiyaçlarına yönelik olarak üretilen kovan pulları, kovan ve gömlek yüksükleri, sevk çemberlerinin çoğunluğunun hammaddesi *MS 58* pirinç alaşımı olmasından dolayı pirinç üretim sürecinde en çok *MS 58* pirinç alaşımı üretilmektedir. Dolayısıyla araştırmada kullanılacak pirinç alaşımı çeşidi olarak *MS 58* pirinci seçilmiştir. Bu kapsamda çalışmada kullanılacak olan veriler, **Şekil 4.8**'de yer alan sürecin kalite kontrolü faaliyetinin birinci aşamasında yapılan spektral analiz sonunda elde edilen pirinç alaşımı içinde bulunan element oranları olacaktır.

Çalışma da kullanılan veriler, **Ek-5**'dedir. Bunlar, MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinin kalite kontrolü faaliyetinin birinci aşamasında, 01 Ocak-31 Mart 2015 tarihler arasında yapılan spektral analiz sonunda elde edilen pirinç alaşımının içindeki element oranlarının değerlerinden oluşmaktadır.

Ek 4'teki fotoğraflarda spektral analiz verilerinin fabrika kalite ve kontrol birimi tarafından kayıt altına alındığı defterlerin bir sayfası yer almaktadır. Bu defter sayfasında, günlük olarak uygulanan üç vardiyadan alınan eriyik numunelerinin spektral analizi sonuçları (*elementlerin oranları*) yer almaktadır. Örneğin, 05 Ocak 2015 günü birinci vardiyada 11 numaralı ocakta *MS 58* cinsi pirinç üretilmiş ve aynı hizada bu eriyikten alınan numune ile ilgili yapılan spektral analiz sonucunda elde edilen elementlerin oranları yazılmıştır. Element değerlerinin sırasıyla 60.92, 0.83, 0.04, 0.13,

0.00, 0.02, 0.004 olduğu görülmektedir. Bu şekilde çalışmada kullanılmak üzere 11 numaralı ocaktan alınan numunelerin ölçüldüğü 01 Ocak-31 Mart 2015 dönemine ait olan 384 adet veri alınarak **Ek 5**'de yer alan tablo oluşturulmuştur. Dolayısıyla veri seti (*kalite vektörleri/matrisi*) yedi elemanlı 384 adet vektörden meydana gelmektedir.

Ek 5'de yer alan tablonun ilk sütununda üretim günü, iki ile sekizinci sütunlarında spektral analiz sonucunda elde edilen element değerleri, dokuz ile yirmi altıncı sütunlarında ise eriyin üretiminde kullanılan şarjdaki hurda malzeme cinsleri yer almaktadır. Çalışmanın yapıldığı zaman diliminde 18 adet hurda cinsi kullanılmıştır. Ancak hurdaların harmanlanmasından oluşan şarjların her birinde aynı anda on sekiz hurda kullanılmamıştır. Gri renkli hücreler o andaki şarj için kullanılan hurda cinslerini ve beyaz hücreler ise kullanılmayan hurda cinslerini göstermektedir. Hurdaların içinde bulunan element oranları STTE'lerin matematiksel formülasyonunun gösterilmesi aşamasında verilmiştir.

4.3.2. Araştırma Yöntemi:

Bu bölümde, Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde yapılan kalite kontrol uygulaması, iki kısım halinde ele alınmıştır.

İlk kısımda pirinç alaşımının içindeki elementler, kalite karakteristikleri olarak ele alınmış ve bu kalite karakteristikleri tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiştir. Element oranlarının tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlendiğinde, izlenen element oranının bazı değerlerinin kontrol grafikleri kontrol sınırlarının dışında olduğu yani kontrol dışı sinyallerin varlığı tespit edilmiştir. Kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyallerin yorumlanması esnasında fabrikada görev yapan süreç uzmanları ve kalite kontrol mühendislerinden yardım alınmış ve süreci etkileyen özel nedenlerin olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak özel nedenlerin kaynağı ile ilgili bir yorumlama yapılamamıştır. Bu durum karşısında süreci etkileyen süreci etkileyen özel nedenlerin kaynağını tespit etmek için sebep-etki diyagramı oluşturulmuştur.

İkinci kısımda ise süreci etkileyen özel nedenlerin kaynağının etki seviyesini tespit etmeye yönelik bir model önerilerek çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Önerilen modelde, STTG yöntemi, tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ve YSA modelleri hibrit olarak kullanılmıştır.

4.3.3. Kalite Karakteristiklerinin I , MR ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri İle İzlenmesi

4.3.3.1. Kalite Karakteristikleri Vektörlerinin Oluşturulması

Çalışmamızda kalite karakteristikleri, eriyik haldeki pirinç alaşımı içinde bulunan elementlerdir. Elementlerin ağırlıkları, karışıma katılan saf ve hurda malzemelerin içinde bulunan elementlerin ağırlıkları ile doğru orantılıdır. Herhangi bir elementin oranı, malzemeler içerisindeki elementlerin miktarlarının toplamının, karışımın toplam miktarına bölümü ile bulunur.

Numunenin spektral analizi sonucunda içinde element değerlerinin yer aldığı çok değişkenli kalite vektörü elde edilmektedir. Bu kalite vektöründeki her elementin yüzdesinin DIN standartlarında veriler olması gerekir. Çok değişkenli kalite vektörünü W ile simgeleyecek olursak bu durumda kalite karakteristikleri aşağıda olduğu gibi gösterilir.

$$w_1=\%Cu, w_2=\%Pb, w_3=\%Fe, w_4=\%Sn, w_5=\%Al, w_6=\%Ni, w_7=\%Sb$$

Buradaki periyodik tablo kısaltmaları sırasıyla bakır, kurşun, demir, kalay, alüminyum, nikel ve kalay elementlerine karşılık gelmektedir. Eğer üretim sürecinin değişik zamanlarında ne kadar çok numune alınıp bu numuneler spektral analize tabi tutulacak olunursa o kadar çok değişkenli kalite vektörleri elde edilir. Bu vektörlerden her bir elementin değerleri alınıp birleştirilir ve vektörler oluşturulursa, pirinç alaşımının kalite karakteristiklerinin gözlem vektörleri elde edilir. Çalışmamızın ilk bölümünde kalite kontrol grafikleri ile bu kalite karakteristiklerinin gözlem vektörlerinin değerleri izlenmiş ve süreçle ilgili olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Anlatılan hususlar aşağıda olduğu gibi simgelerle gösterilebilir.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{i1} & \cdots & w_{ik} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Faz I: } i:1,2,\dots,7 \text{ ve } k=1,2,\dots,50 \\ \text{Faz II için } i:1,2,\dots,7 \text{ ve } k=1,2,\dots,334 \end{array} \quad (4-2)$$

w_{ik} k . çok değişkenli gözlem vektöründeki i . elementin ağırlık cinsinden yüzdesidir. Yapılan çalışmada, indüksiyon ocağında yapılan ergitme işleminde malzeme kaybının ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilmiştir. Çünkü, hurda malzemelerin ağırlığında ergitme işlemi sırasında herhangi bir kayıp meydana gelmemektedir.

4.3.3.2. Pirinç Alaşımı Element Oranlarının I , MR ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri İle İzlenmesi

4.3.3.2.1. Tek ve Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinin Varsayımlarının Sağlanması

Kalite karakteristiklerinin kalite kontrol grafikleri ile takibi yapılmadan önce bazı varsayımların sağlanıp sağlanmadığına bakılmalıdır. Bu varsayımlar (*normallik varsayımı, değişkenlerin birbirinden bağımsızlığı varsayımı, gözlem değerlerinin otokorelasyonlu olmaması varsayımı, varyans kovaryans matrisi eşitliği varsayımı ve değişkenlerin doğrusal olması varsayımı*) ile ilgili teorik bilgiler çalışmamızın birinci bölümünde yer almaktadır. Bu varsayımlar dikkate alınmadığında, gerçekte kontrol altında olan numuneler kontrol dışında, kontrol dışındaki numuneler ise kontrol altında kabul edilebilmekte veya kontrol dışındaki numuneler eksik saptanmaktadır. Ayrıca varsayımlar sağlandığında hesaplanan kontrol limitlerinin, varsayımlar dikkate alınmadan belirlenen limitlerden çok düşük oranlarda farklılaştığı ancak limitlerdeki küçük farklılıkların sürecin gerçek durumunun saptanmasında etkin ve önemlidir (Çılan, 2015). Ayrıca bu varsayımlar için geliştirilen testler çok değişkenli normal dağılım varsayımına karşı oldukça duyarlıdır (Johnson ve Wichern, 1992). Bu nedenle varsayımlar araştırılmadan önce çok değişkenli normallik varsayımının sağlanması önerilmektedir (Stevens, 1996).

Kalite kontrol grafikleri, ister tek değişkenli olsun ister çok değişkenli olsun sağlanması gereken en önemli varsayım değişkenlerin normal dağılımasıdır. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde, değişkenler tek değişkenli normal dağılım varsayımını sağlaması gerekirken, çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinde ise, değişkenlerin çok değişkenli normal dağılım varsayımını sağlaması gerekmektedir. Daha önceki bir tarihte MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim süreci ile ilgili Özel (2005) tarafından çok değişkenli kalite kontrolü uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada, kalite karakteristiklerini eriyik halde bulunan pirinç alaşımı içindeki element oran değerlerinin normal dağılıma uyup uymadığı SPSS paket programı kullanılarak $Q-Q$ grafikleri yardımıyla araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, yedi adet kalite karakteristiğinin ayrı ayrı normal dağılıma uyduğu gösterilmiştir. Ancak söz konusu yedi kalite karakteristiğinin çok değişkenli normal dağılım gösterip göstermediği incelenmemiştir.

Dolayısıyla eğer bu üretim sürecinde element değerleri tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenecek olunursa tek değişkenli normallik varsayımının sağlanması yeterli olacaktır. Ancak yapılan çalışmada, birbiriyle ilişkili kalite karakteristikleri söz konusu olunca bu varsayımın sağlanması yeterli olmayacaktır. Dolayısıyla analize başlamadan ilk olarak yedi adet kalite karakteristiğinin çok değişkenli normal dağılıma uyup uymadığı araştırılacaktır.

Literatürde çok değişkenli normalliği incelemeye kullanılan değişik yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı çok değişkenli dağılımlarda sıralanmış uzaklıklar olan $m_i^2 (i=1,2,...,n)$ ile $\chi_{p(i-0.5)n}^2$ değerlerine ilişkin saçılım grafiğinin incelenmesidir (Alpar, 2012).

Çoklu normallik testine örneklemin merkezi değerine göre her bir birim için kareli Mahalanobis uzaklıklar hesaplanarak başlanır. Hesaplanan bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Anakütller normal ve örnekler yeteri kadar büyük ($n>25$) ise bu uzaklıklar χ^2 dağılımına uymaktadır (Johnson ve Wichern, 1992:152). Daha sonra her bir kareli Mahalanobis uzaklık değerleri için $p(i-0.5)/n$ yüzdelik bölenleri değerleri hesaplanır. Bu değerler bulunduktan sonra elde edilen yüzdelikler için $\chi_{p(i-0.5)n}^2$ ters birikimli değerleri hesaplanır.

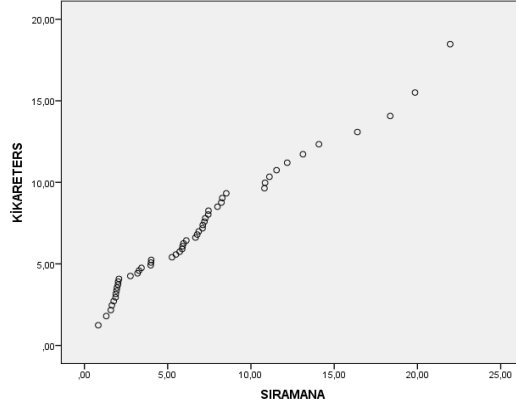
Çok değişkenli dağılımlarda sıralanmış uzaklıklar olan $m_i^2 (i=1,2,...,n)$ ile $\chi_{p(i-0.5)/n}^2$ değerlerine ilişkin saçılım grafiğinin düz bir çizgi oluşturması durumunda değişkenlerin çok değişkenli normal dağıldığı söylenir. Ayrıca çok değişkenli normal dağılım varsayımının sağlanabilmesi hesaplanan değerlerinin yarısının $\chi_{p,0.5}^2$ değerinden küçük olması beklenmektedir (Sharma, 1996:382). m_i^2 ve $\chi_{p(1-0.5)/n}^2$ arasında hesaplanan yüksek bir korelasyon katsayısı da, çok değişkenli normalliğin varlığını desteklemektedir (Nijhuis, Jong ve Vandeginste, 1999).

Çalışmamızda, MS-58 pirinç cinsinin elementlerinin çok değişkenli normal dağılım gösterip göstermediğini araştırmak için gerekli olan çok değişkenli dağılımlarda sıralanmış uzaklıklar olan $m_i^2 (i=1,2,...,n)$ yani Mahalanobis uzaklık değerleri ile $\chi_{p(i-0.5)/n}^2$ değerleri **Tablo 4.3**'de ve bu değerlere ait grafik ise **Grafik 4.1**'de yer almaktadır.

Tablo 4.3:MS 58 Pirinç Elementlerinin Çok Değişkenli Normal Dağılım Kontrol Değerleri

	Mahalanobis Uzaklık Değerleri	Mahalanobis Uzaklık Değerleri	KİKARETERS	$\chi^2_{p(i-0.5)/n}$
1	18.36490	0.83173	0.01	1.239042
2	6.86395	1.31333	0.03	1.801625
3	10.81223	1.58428	0.05	2.16735
4	5.26013	1.6518	0.07	2.461069
5	13.12502	1.7605	0.09	2.715684
6	7.43730	1.87107	0.11	2.945475
7	19.85456	1.88352	0.13	3.158116
8	1.87107	1.93103	0.15	3.358284
9	5.95077	1.95778	0.17	3.54908
10	6.11745	2.01526	0.19	3.73269
11	3.98056	2.02775	0.21	3.910733
12	14.08038	2.07311	0.23	4.084456
13	3.18917	2.76074	0.25	4.254852
14	7.26217	3.18917	0.27	4.422737
15	12.17679	3.27822	0.29	4.588796
16	10.84757	3.42402	0.31	4.753626
17	7.44860	3.98056	0.33	4.91775
18	5.87226	3.99901	0.35	5.081647
19	7.20804	4.01402	0.37	5.245758
20	11.11276	5.26013	0.39	5.410501
21	8.51794	5.49627	0.41	5.576278
22	1.58428	5.71737	0.43	5.743486
23	2.76074	5.87226	0.45	5.912523
24	2.07311	5.89613	0.47	6.083794
25	3.27822	5.95077	0.49	6.257718
26	6.66973	6.11745	0.51	6.434736
27	16.39262	6.66973	0.53	6.615317
28	11.53691	6.77146	0.55	6.79997
29	5.71737	6.86395	0.57	6.98925
30	6.77146	7.09309	0.59	7.18377
31	5.89613	7.11043	0.61	7.384219
32	4.01402	7.20804	0.63	7.591373
33	3.42402	7.26217	0.65	7.806123
34	1.76050	7.4373	0.67	8.029498
35	1.65180	7.4486	0.69	8.262704
36	5.49627	7.99066	0.71	8.507172
37	0.83173	8.22473	0.73	8.764621
38	3.99901	8.27769	0.75	9.037147
39	8.27769	8.51794	0.77	9.327352
40	1.95778	10.81223	0.79	9.638523
41	1.88352	10.84757	0.81	9.974906
42	2.01526	11.11276	0.83	10.34213
43	7.11043	11.53691	0.85	10.7479
44	1.93103	12.17679	0.87	11.20315
45	7.99066	13.12502	0.89	11.72424
46	2.02775	14.08038	0.91	12.33724

47	7.09309	16.39262	0.93	13.08771
48	8.22473	18.3649	0.95	14.06714
49	1.31333	19.85456	0.97	15.50909
50	21.96317	21.96317	0.99	18.47531



Grafik 4.1: MS 58 Pirinç Alaşımının Element Değerlerinin Çok Değişkenli Normal Dağılım Grafiği

Grafik 4.1'de yer alan çok değişkenli dağılımlarda sıralanmış uzaklıklar olan m_i^2 ($i=1,2,...,n$) ile $\chi_{p(i-0.5)/n}^2$ değerlerine ilişkin saçılım grafiği incelendiğinde, değerlerin düz bir çizgi oluşturması nedeniyle MS 58 pirinç cinsi içinde yer alan elementlerin yüzde değerlerinin çok değişkenli normal dağılıma uyduğu sonucuna varılır.

4.3.3.2.2. Kontrol Grafiklerinde Faz I ve Faz II Aşamaları

Bir süreçte μ ve σ 'nın bilindiği varsayımı nadiren geçerlidir. Seri imalat süreçlerinde σ uzun dönemde kolay kolay değişmez. Bu süreçlerde geçmiş verilerden örneklem standart sapması kullanılarak ihmal edilir bir hata ile tahmin edilebilir. Ancak μ geçmiş verilerde zaman içinde değişebilmektedir. Uygulamada bu değerler bir referans örnekleme alınarak tahmin edilmelidir.

Kalite kontrol grafiklerinde referans örneklemeleri ile uygulanan Faz I aşamasında süreçte sistematik davranışlara yol açan birçok problem saptanabilmekte ve bu problemlerin giderilmesi mümkün olabilmektedir. Faz I aşamasında referans örnekleminde tespit edilen kontrol dışı sinyallerin ihmal edilmesi yani referans örneklemden çıkarılması ve mümkünse bunların giderilmesiyle kontrol altında bir süreç elde edilecektir. Literatürde referans örneklem hacminin en az 25 olması yolunda görüşler mevcuttur. Bütçe ve zaman kısıtları izin veriyorsa bu değerlerin olabildiğince artırılması önerilmektedir.

Çalışmamızda kalite karakteristiklerinde değişim bireysel olarak tek değişkenli kontrol grafiklerinden I ve MR kontrol grafikleri ile ve eş zamanlı olarak ise çok değişkenli kontrol grafiklerinden Hotelling T^2 kontrol grafiği ile takip edilmiştir. İster tek ister çok değişkenli kontrol grafiklerinde olsun kalite karakteristiklerindeki değişim Faz I ve Faz II olmak üzere iki aşamada takip edilir. Bu kapsamda çalışmamızda, Pirinç Fabrikası Müdürlüğündeki üretim sürecinin kalite değişkenlerinin kontrol grafikleri ile takibi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Faz I aşamasında kontrol altında referans örnekleme oluşturmak için 50 adet çok değişkenli kalite vektörü kullanılmış, daha sonra Faz II aşaması için ise 334 adet çok değişkenli kalite vektörü kullanılmıştır.

Faz I aşamasında kullanılan 50 adet yedi boyutlu kalite vektörü Ek 6'da ve Faz II aşamasında kullanılan 334 adet yedi boyutlu kalite vektörü ise **Ek 4**'de bulunan tablodan Faz I aşaması kullanılan veriler çıkarıldığında elde edilir.

Ek 6'da yer alan Faz I verileriyle ilgili olarak gözlem çok değişkenli kalite vektörü; $W_1=(60.92, 0.83, 0.04, 0.13, 0, 0.02, 0)'$ olarak ve 50. gözlem çok değişkenli kalite vektörü ise $W_{50}=(61.22, 2.55, 0.07, 0.36, 0.01, 0.04, 0.01)'$ olarak gösterilir. Vektörlerin her bir elemanı o numunenin sırasıyla Cu, Pb, Fe, Sn, Al, Ni ve Sb elementlerinin gözlem değerleridir. Her bir elementin bir adet kalite karakteristiği olduğu düşünüldüğünde 50 adet çok değişkenli gözlem vektöründen elde edilen her bir kalite karakteristik vektörü aşağıdaki gibidir.

$$W_{Cu}=(60.92, 56.96, \dots, 61.22)'$$

$$W_{Pb}=(0.83, 2.08, \dots, 2.55)'$$

$$W_{Fe}=(0.04, 0.05, \dots, 0.07)'$$

$$W_{Sn}=(0.13, 0.22, \dots, 0.36)'$$

$$W_{Al}=(0, 0, \dots, 0.01)'$$

$$W_{Ni}=(0.02, 0.02, \dots, 0.04)'$$

$$W_{Sb}=(0, 0.01, \dots, 0.01)'$$

Yukarıda kalite karakteristikleri oluşturulurken uygulanan esaslar 334 adet çok değişkenli Faz II gözlem verileri için de geçerlidir.

4.3.3.2.3. Kalite Karakteristiklerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi

Bu bölümde yedi adet kalite karakteristiğinin her biri için *I* kontrol grafikleri ve *MR* kontrol grafikleri düzenlenecektir.

I ve *MR* kontrol grafikleri bireysel gözlem değerlerine dayanarak elde edilirler ve kurulumları basit olmasından dolayı birçok süreçte yaygın olarak kullanılmaktadır. Birinci bölümde tek değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili teorik bilgiler ve ayrıca çalışmamızda kullanacağımız *I* ve *MR* kontrol grafikleri ile ilgili teknik bilgiler verilmiştir.

4.3.3.2.3.1. *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz I Aşamaları

Bu bölümde Faz II için gerekli olan parametrelerin elde edildiği kontrol altında referans veri setinin oluşturulması için pirinç alaşımını oluşturan kalite karakteristiklerine ait 50 adet gözlem değerlerinden oluşan yedi adet kalite vektörü değerleri izlenmiştir. Bu kapsamda her bir kalite karakteristiği için ayrı *I* ve *MR* kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Her kalite karakteristiği için oluşturulan *I* ve *MR* kontrol grafiklerinde her defasında tespit edilen kontrol dışı sinyal atılmış ve her bir kalite karakteristiği için kontrol altında referans veri setleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu gözlem değerlerinden bir sonraki aşama olan Faz II aşamasında kullanılmak üzere istatistikler yani ana kütle parametreleri tahminleri elde edilmiştir.

Pirinç alaşımının içinde bulunan ve kalite karakteristiği olan yedi adet element için kurulan *I* ve *MR* kontrol grafiklerinin Faz I aşama kontrol grafikleri **Ek 7** ve **Ek 8**'dedir.

4.3.3.2.3.2. *I* Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

I kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak kalite karakteristikleri ortalama değerleri ile standart sapma değerleri **Tablo 4.4**'dedir.

Tablo 4.4: *I* Kontrol Grafiğinin Faz I Aşaması Parametreleri

Standart Sapma	Değerler	Ortalama	Değerler
S_{Cu}	1.07649	$\bar{X}_{Cu}$	58.538
S_{Pb}	0.180126	$\bar{X}_{Pb}$	1.86229
S_{Fe}	0.0139311	$\bar{X}_{Fe}$	0.071600
S_{Sn}	0.0397905	$\bar{X}_{Sn}$	0.210417
S_{Al}	0.000001	$\bar{X}_{Al}$	0.000001
S_{Ni}	0.0070097	$\bar{X}_{Ni}$	0,034565
S_{Sb}	0.0043170	$\bar{X}_{Sb}$	0.0058696

4.3.3.2.3.3. *MR* Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

MR kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak kalite karakteristikleri standart sapma değerleri **Tablo 4.5'**dedir.

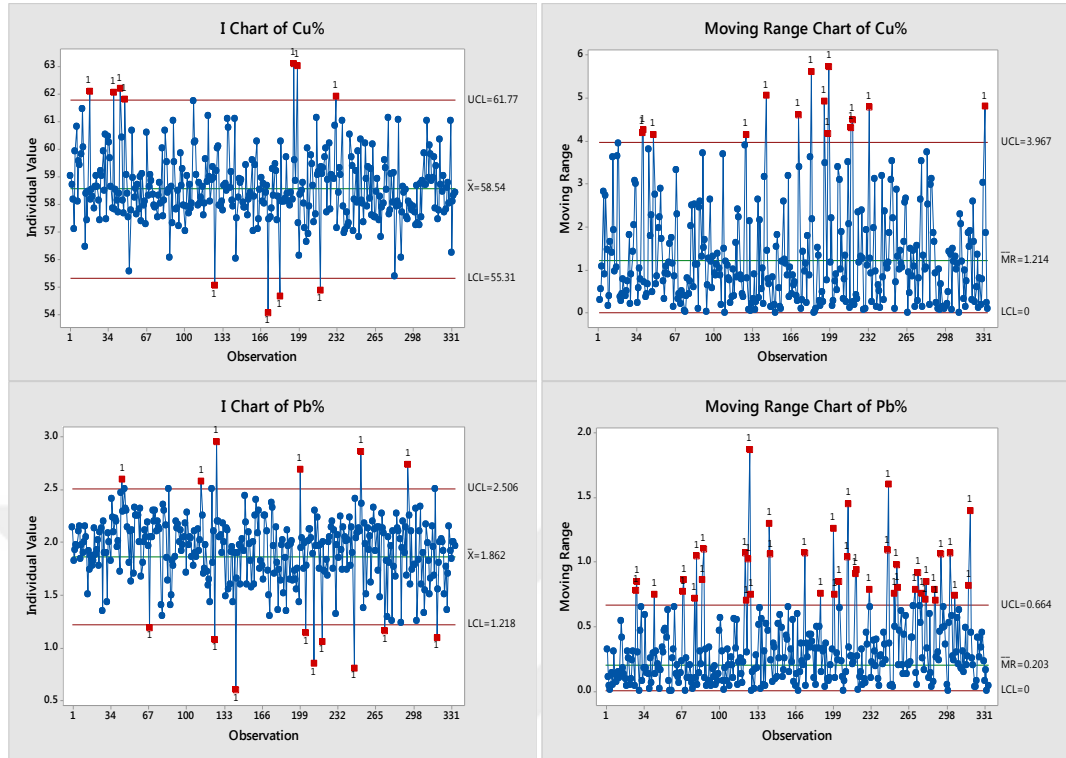
Tablo 4.5: *MR* Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

Standart Sapma	Değerler
S_{Cu}	1.07649
S_{Pb}	0.180126
S_{Fe}	0.0139311
S_{Sn}	0.0397905
S_{Al}	0
S_{Ni}	0.0070097
S_{Sb}	0.0043170

4.3.3.2.3.4. *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Kontrol grafiklerinde Faz II aşamasının amacı, sürecin birinci aşamada elde edilen dağılım yapısına uygunluğunu kontrol etmek ve sürecin kontrol altında olmasının devamlılığını sağlamaktır. Faz II aşamasında kontrol grafiklerine tek tek noktalar işaretlenir ve rassallığı bozan bir sistematik davranış olup olmadığı her seferinde kontrol edilir. Faz II aşamasında, Faz I aşamasında elde edilen parametreler kullanılır ve sürecin kontrol altında olup olmadığı bu parametreler yardımıyla örnekler takip edilir. Çalışmamızda da Faz I aşamasında elde edilen parametreler yardımıyla pirinç fabrikası üretim sürecinin 334 adet veri ile izlenecektir.

4.3.3.2.3.4.1. Cu ve Pb Elementleri

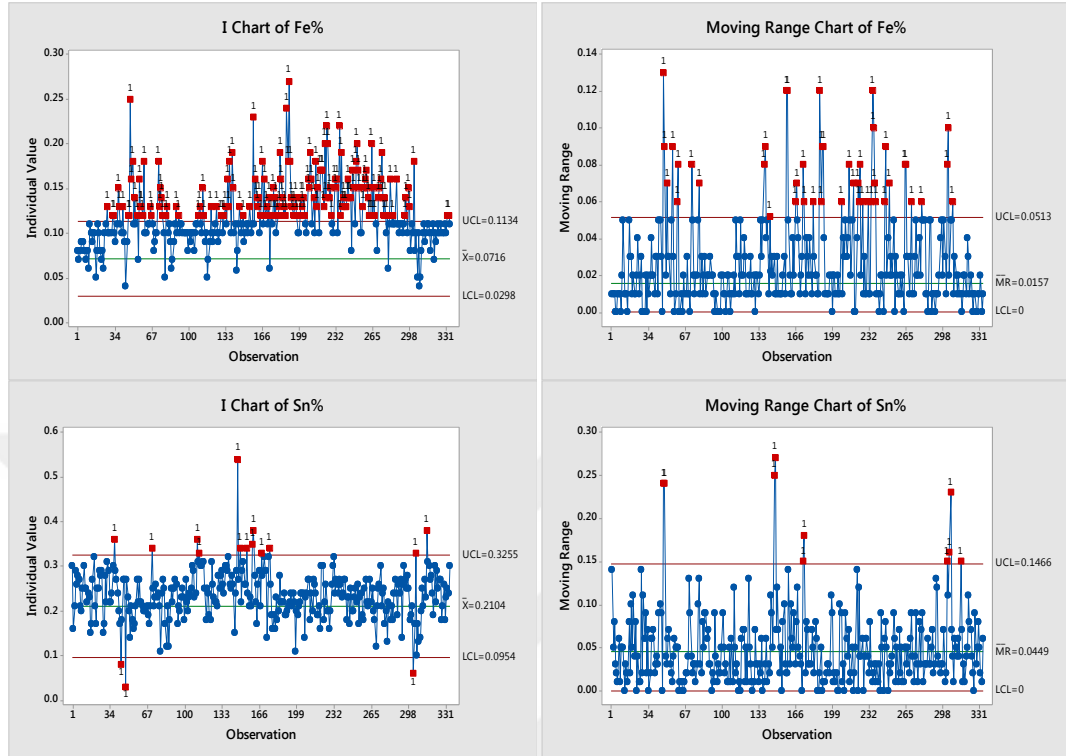


Grafik 4.2: Cu ve Pb Elementlerine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi

Değerlendirme

Grafik 4.2'de Cu ve Pb elementlerinin bireysel gözlem değerlerinin takip edildiği *I* ve *MR* kontrol grafikleri yer almaktadır. Cu ve Pb elementlerinin bireysel gözlem değerlerinin takip edildiği *MR* kontrol grafiği ile tespit edilen kontrol dışı sinyal sayısı *I* kontrol grafikleri ile tespit edilen kontrol dışı sinyal sayısına göre daha fazladır. Cu ve Pb elementlerinin gözlem değerlerinde kontrol dışı sinyaller kontrol grafiğinin herhangi bir bölgesinde yoğunluk oluşturmamıştır. Kontrol dışı sinyaller rastgele zamanlarda ve yerlerde oluşmuştur. Bu duruma neden olarak daha çok personel hatasından (*yorgunluk, dikkatsizlik, umursamama gibi*) kaynaklandığı ve şarjın içine içinde bu elementlerin ağırlıkça fazla olan hurdaların atıldığı şeklinde değerlendirilebilir. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde görev yapan süreç ve kalite kontrol uzmanları ile yapılan beyin fırtınası yöntemi sonucunda tespit edilen kontrol dışı sinyale sebep olan özel neden ile ilgili kesin bir yorum yapılamamıştır. Kontrol dışı sinyal ile ilgili düzeltici tedbir olarak halen uygulanmakta olan yöntemin en uygun yöntem olduğu değerlendirilmiştir.

4.3.3.2.3.4.2. *Fe* ve *Sn* Elementleri



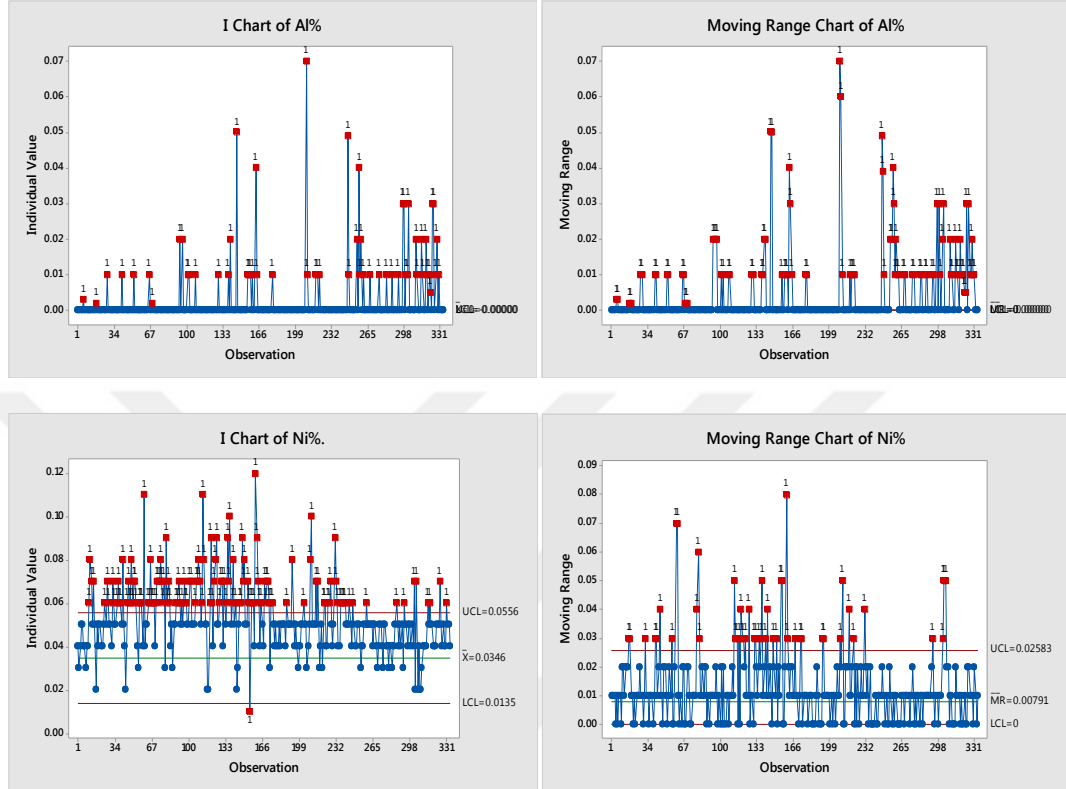
Grafik 4.3: *Fe* ve *Sn* Elementlerine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi

Değerlendirme

Grafik 4.3'de *Fe* ve *Sn* elementlerinin bireysel gözlem değerlerinin takip edildiği *I* ve *MR* kontrol grafikleri yer almaktadır. *Fe* elementinin gözlem değerlerinin takip edildiği *I* kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyallerin özellikle üst kontrol sınırının üzerinde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. İçinde *Fe* elementinin ağırlıklı olarak bulunan hurda cinsinin veya cinslerinin şarj içinde fazla olduğu düşünülmüştür. Ancak bu durumun hangi cins hurdadan kaynaklandığı tespit edilememektedir. Zaten kontrol grafikleri değişkenleri izlemeye ve kontrol dışı sinyalin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Fakat süreçteki değişime veya kontrol dışı sinyale neden olan özel sebebin varlığını ortaya koyamamaktadır. Bu durumda da *Cu* ve *Pb* elementlerinde uygulanan aynı çözüm yöntemi uygulanabilir. Ancak özel nedenler *Fe* elementinde büyük kaymalara sebep olmaktadır. *Sn* elementinde ise çok fazla etkili olmamaktadır.

Kontrol dışı sinyal ile ilgili düzeltici tedbir olarak halen uygulanmakta olan yöntemin en uygun yöntem olduğu değerlendirilmiştir.

4.3.3.2.3.4.3. *Al* ve *Ni* Elementleri



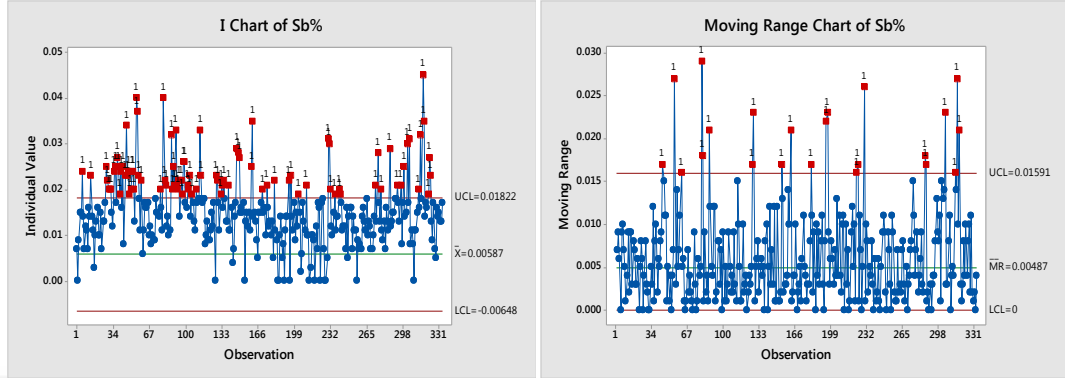
Grafik 4.4: *Al* ve *Ni* Elementlerine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi

Değerlendirme

Grafik 4.4'de *Al* ve *Ni* elementlerinin bireysel gözlem değerlerinin takip edildiği *I* ve *MR* kontrol grafikleri yer almaktadır. *Al* elementi için Faz II aşaması için dizayn edilen her iki kontrol grafiğinde kontrol sınırları, Faz I aşamaları sonunda referans örneklemelerden elde edilen parametrelerin değerlerinin oldukça düşük çıkması nedeniyle birbirine oldukça yakın bir şekilde oluşmuştur. Her iki elementinin gözlem değerlerinin takip edildiği *I* kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyallerin *Fe* elementinde olduğu gibi özellikle üst kontrol sınırının üzerinde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Yine *Fe* elementinde olduğu içinde eriyik içinde *Al* ve *Ni* elementlerinin fazla olduğu hurda cins veya cinslerinin fazla bulunduğu değerlendirilmektedir. Ancak kontrol dışı sinyalin hata kaynağı ile ilgili kesin bir yorum yapılamamaktadır. Bu durumda da *Cu*,

Pb, *Fe* ve *Sn* elementlerinde uygulanan aynı çözüm yöntemi uygulanabilir. Özel nedenler her iki elementte hemen hemen aynı etkiyi göstermektedir.

4.3.3.2.3.4.4. *Sb* Elementi



Grafik 4.5: *Sb* Elementine Ait 334 Adet Gözlem Değerinin *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamasında İzlenmesi

Değerlendirme

Grafik 4.5'de *Sb* elementinin bireysel gözlem değerlerinin takip edildiği *I* ve *MR* kontrol grafikleri yer almaktadır. *Sb* elementinin izlendiği *I* kontrol grafiğinde diğer *Fe*, *Ni* ve *Al* elementlerinde oluşan durumun aynısı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kontrol dışı durumun hata kaynağı olarak kesin bir şey söylenememektedir. Bu durumda da *Cu*, *Pb*, *Fe*, *Sn*, *Al* ve *Ni* elementlerinde uygulanan aynı çözüm yöntemi uygulanabilir. Özel nedenler *Sb* elementinde büyük kaymalara sebep olmaktadır.

4.3.3.2.3.4.5. Bulgular ve Değerlendirme

4.3.3.2.3.4.5.1. *I* Kontrol Grafiği

Elementlerin gözlem değerlerinin bireysel olarak takip edildiği *I* kontrol grafiklerine bakıldığında *Fe*, *Ni*, *Al* ve *Sb* elementlerinin gözlem değerlerinin genel itibarıyla *I* kontrol grafiklerinin üst kontrol sınırının üzerinde olduğu görülmektedir. *Cu*, *Pb* ve *Ni* elementlerinde de bazı kontrol dışı sinyaller olsa da genel itibarıyla bu elementlerde az olduğu görülmektedir. Bu durum numunelerin alındığı eriyin elde edildiği şarjların içine *Fe*, *Ni*, *Al* ve *Sb* elementlerinin oransal olarak fazla bulunan hurda cinslerinden fazla konulduğu söylenebilir. Dolayısıyla eriyik içinde bulunan elementlerin istenen sınırlar içinde olmasını sağlamak için saf malzemelerden katılması gerekmektedir. Yani diğer bir deyişle kontrol dışı sinyal ile ilgili düzeltici tedbir olarak

halen uygulanmakta olan yöntemin en uygun yöntem olduğu düşünülebilir. Ayrıca her elementin değerlendirilmesi yapılırken proses ve kalite kontrol uzmanları ile yapılan değerlendirmede de aynı şekilde değerlendirilmiştir. Ancak günümüzün rekabet ortamında işletmelerin amacı kar olduğundan masraflı bir işlem olan eriyik içindeki element oranlarını dengelemek için saf malzemeleri kullanmak uygun bir işlem olmadığı düşünülmektedir.

4.3.3.2.3.4.5.2. *MR* Kontrol Grafiği

Elementlerin gözlem değerlerinin bireysel olarak takip edildiği *MR* kontrol grafiklerine bakıldığında bütün elementlerin gözlem değerlerinin genel itibarıyla % 30-50 oran arasındaki değerlerinin *MR* kontrol grafiklerinin üst kontrol sınırının üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum her bir elementin genel olarak fazla atıldığı ve *I* kpnrol grafiğindeki sonuçları destekler niteliktedir. Sonuç olarak söyleyebiliriz ki özel nedenler *Fe*, *Ni*, *Al* ve *Sb* elementleri üzerinde diğer elementlerden farklı olarak daha fazla etkilidir. Dolayısıyla genel olarak eriyik için oluşturulan şarj içine, kompozisyonunda *Fe*, *Ni*, *Al* ve *Sb* elementlerinin oransal olarak fazla bulunan hurda cinslerinden fazla atıldığı sonucuna varabiliriz.

4.3.3.2.4. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

Önceki bölümlerde her bir kalite karakteristiği tek değişkenli *I* ve *MR* kontrol grafikleri ile izlenmiştir. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde değişkenler arasında ilişki ihmal edilmiştir. Eğer değişkenler arasında korelasyon yoksa değişkenleri tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlemek yeterli olmaktadır. Fakat bu grafiklerde kontrol dışı sinyal tespit edildiğinde bu sinyalin yorumlanması her zaman mümkün olmamaktadır. Kalite karakteristikleri olan element değerleri arasındaki korelasyon durumuna bakıldığında değişkenler arasında orta düzeyde (0.213-0.703) bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (**Tablo 4.12**). Bu gibi durumlarda kalite karakteristikleri eş zamanlı olarak izlenerek bu yorumlama problemine bir çözüm getirilir. Bunun yanında değişkenler arasında ilişkinin varlığı da mutlaka kontrol edilmesi gereken hususlardandır. Değişkenler arasında ilişkiler, değişkenlerin niteliğine göre birçok ilişki katsayısı ile irdelenebilmektedir. Değişkenler nicel veri türünde olduğunda kullanılacak en yaygın ilişki katsayısı pearson korelasyon katsayısıdır. Çalışmada *I* ve *MR* kontrol grafiklerinde kullanılan aynı veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda hesaplanan tek değişkenli kontrol

grafiklerinin Faz I aşamalarında kullanılan 50 adet gözlem değerine ait korelasyon matrisi, varyans-kovaryans matrisi ve ortalamalar vektörü **Tablo 4.6**'da yer almaktadır.

Tablo 4.6:Faz I Verileri İçin Elementler Arasındaki İlişkiyi Gösteren Korelasyon ve Varyans-Kovaryans Matrisleri ile Ortalama Vektörü

$$R = \begin{bmatrix} -0.147 & -0.235 & 0.134 & -0.011 & -0.089 & -0.071 \\ -0.235 & 0.213 & 0.377 & 0.096 & 0.115 & 0.379 \\ 0.134 & 0.377 & 0.277 & 0.37 & 0.703 & 0.319 \\ -0.011 & 0.096 & 0.37 & 0.231 & 0.343 & 0.125 \\ -0.089 & 0.115 & 0.703 & 0.343 & 0.503 & -0.042 \\ -0.071 & 0.379 & 0.319 & 0.125 & -0.042 & 0.048 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,97086 & -0,08324 & -0,00460 & -0,00084 & -0,00026 & -0,00175 & -0,00055 \\ -0,08324 & 0,07064 & 0,00120 & 0,00470 & 0,00001 & 0,00050 & 0,00075 \\ -0,00460 & 0,00120 & 0,00033 & 0,00031 & 0,00002 & 0,00015 & 0,00004 \\ -0,00084 & 0,00470 & 0,00031 & 0,00236 & 0,00002 & 0,00028 & 0,00005 \\ -0,00026 & 0,00001 & 0,00002 & 0,00002 & 0,00000 & 0,00001 & -0,00000 \\ -0,00175 & 0,00050 & 0,00015 & 0,00028 & 0,00001 & 0,00012 & 0,00000 \\ -0,00055 & 0,00075 & 0,00004 & 0,00005 & -0,00000 & 0,00000 & 0,00005 \end{bmatrix}$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{Cu} \\ \bar{X}_{Pb} \\ \bar{X}_{Fe} \\ \bar{X}_{Sn} \\ \bar{X}_{Al} \\ \bar{X}_{Ni} \\ \bar{X}_{Sb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 58.539 \\ 1.8554 \\ 0.0716 \\ 0.2098 \\ 0.00104 \\ 0.036 \\ 0.00732 \end{bmatrix}$$

Tablo 4.6 incelendiğinde bütün elementler arasında az da olsa bir ilişki olduğu görülmektedir. (Ancak bazı elementler arasında (Fe-Ni, Sn-Al, Pb-Sb, Fe-Sb) oldukça kuvvetli ilişkinin olduğu göze çarpmaktadır.) Bir önceki paragrafta da belirttiğimiz üzere kalite karakteristikleri aralarında ilişkinin olmadığı durumlar da tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlemek yeterli olmaktadır. Ancak bu örnekte olduğu gibi ilişkileri dikkate alarak izlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda da çok değişkenli kontrol grafikleri ile kalite karakteristikleri izlenecektir.

4.3.3.2.4.1. Faz I

Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz I aşamasında tek değişkenli kontrol grafiklerinin Faz I aşamalarında uygulanan esaslar uygulanacaktır. İlk olarak her bir kalite karakteristiği için 50 adet bireysel gözlem değerleri yani referans örneklem alınacak ve bu bireysel gözlemler Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmeye başlanacaktır. Kontrol grafiği ile izlenme aşamasında tespit edilen kontrol dışı bireysel gözlem değerleri referans örneklemden çıkartılacak ve kalan bireysel gözlem değerleri için tekrar kontrol grafiği kurulacaktır. En son kontrol dışı bireysel gözlem değeri kalmayacağına kadar bu işlem devam edecektir. Bu kapsamda Hotelling T^2 kontrol grafiğinin tasarlanması anlatılacaktır.

İlk olarak yedi adet kalite karakteristiğini tek bir değere indirgeyen T^2 istatistiği hesaplanır. Hotelling T^2 kontrol grafiği ile takip edilecek ve **denklem (1-32)** ile hesaplanan T^2 istatistik değerleri aşağıda **Tablo 4.7**'de sunulmuştur.

Tablo 4.7:Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinin Faz I İçin T^2 İstatistik Değerleri

T_1^2	23.211	T_2^2	9.6339	T_3^2	16.196	T_4^2	5.7482	T_5^2	14.239	T_6^2	12.597
T_7^2	27.481	T_8^2	3.1754	T_9^2	10.133	T_{10}^2	7.0001	T_{11}^2	5.5780	T_{12}^2	15.361
T_{13}^2	3.6005	T_{14}^2	11.1293	T_{15}^2	19.8686	T_{16}^2	17.721	T_{17}^2	9.5364	T_{18}^2	9.6558
T_{19}^2	8.0247	T_{20}^2	22.924	T_{21}^2	12.213	T_{22}^2	2.7322	T_{23}^2	4.4623	T_{24}^2	3.1684
T_{25}^2	3.2389	T_{26}^2	8.8929	T_{27}^2	29.054	T_{28}^2	20.2117	T_{29}^2	11.7348	T_{30}^2	11.1985
T_{31}^2	8.9439	T_{32}^2	8.2047	T_{33}^2	4.5513	T_{34}^2	1.8774	T_{35}^2	2.909	T_{36}^2	8.9271
T_{37}^2	2.4995	T_{38}^2	5.0148	T_{39}^2	8.9114	T_{40}^2	2.7852	T_{41}^2	3.7175	T_{42}^2	2.5763
T_{43}^2	7.6468	T_{44}^2	2.8560	T_{45}^2	8.5984	T_{46}^2	3.0761	T_{47}^2	14.7226	T_{48}^2	8.7812
T_{49}^2	2.1380	T_{50}^2	28.5245								

Örnek olması açısından burada $T_1^2=23.2112$ değerinin nasıl hesaplandığı gösterilecektir.

T_i^2 hesaplanmasında $T_i^2=n(X_i-\bar{X})'S^{-1}(X_i-\bar{X})$ formülü kullanılır.

$$T_1^2=1\left(\begin{bmatrix} 58.539 \\ 1.8554 \\ 0.0716 \\ 0.2098 \\ 0.00104 \\ 0.036 \\ 0.00732 \end{bmatrix}-\begin{bmatrix} 58.539 \\ 1.8554 \\ 0.0716 \\ 0.2098 \\ 0.00104 \\ 0.036 \\ 0.00732 \end{bmatrix}\right)' \begin{bmatrix} 0.97086 & -0.08324 & -0.00460 & -0.00084 & -0.00026 & -0.00175 & -0.00055 \\ -0.08324 & 0.07064 & 0.00120 & 0.00470 & 0.00001 & 0.00050 & 0.00075 \\ -0.00460 & 0.00120 & 0.00033 & 0.00031 & 0.00002 & 0.00015 & 0.00004 \\ -0.00084 & 0.00470 & 0.00031 & 0.00236 & 0.00002 & 0.00028 & 0.00005 \\ -0.00026 & 0.00001 & 0.00002 & 0.00002 & 0.00000 & 0.00001 & -0.00000 \\ -0.00175 & 0.00050 & 0.00015 & 0.00028 & 0.00001 & 0.00012 & 0.00000 \\ -0.00055 & 0.00075 & 0.00004 & 0.00005 & -0.00000 & 0.00000 & 0.00005 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 58.539 \\ 1.8554 \\ 0.0716 \\ 0.2098 \\ 0.00104 \\ 0.036 \\ 0.00732 \end{bmatrix}-\begin{bmatrix} 58.539 \\ 1.8554 \\ 0.0716 \\ 0.2098 \\ 0.00104 \\ 0.036 \\ 0.00732 \end{bmatrix})$$

$$=23.2112$$

T^2 değerleri hesaplandıktan sonra **denklem (1-37)** kullanılarak Hotelling T^2 kontrol grafiğinin üst kontrol sınırı hesaplanır. Hotelling T^2 kontrol grafiğinin üst kontrol sınırı hesaplanırken $\alpha=0.0027$ olarak alınmıştır.

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \left(\frac{p(n+1)(n-1)}{n(n-p)} \right) F_{(\alpha, p, n-p)} = 26.5401 \quad (4-3)$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı} = 0$$

Burada $\alpha=0.0027$ alınmasının nedeni, normal dağılım özelliklerinden $\mu \pm \sigma$ standart aralığı, kalite kontrol grafiklerinde $\mu \pm 3\sigma$ standart aralığı toplam alanın %99.73'ü olmasındandır. Kalite kontrol grafiklerinde bu aralık, kontrol sınırlarının aralığı olarak kullanılır (Işığışık, 2012:137). Hotelling T^2 kontrol grafiğinde alt kontrol sınırı ise sifıra eşit alınır. Bunun sebebi ortalamadaki herhangi bir değişimin T^2 istatistiğinde bir düşüşe neden olabileceğidir ve burada alt kontrol sınırına önem verilmeyebilir. Bu nedenle, T^2 sadece ortalama vektöründeki değişimlerde değil ayrıca kalite vektörünün kovaryans matrisinin değişimlerinde de hassastır (Firuzan ve Şen, 1999:63). Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz I aşaması için dizayn edilen kontrol grafikleri **Ek 9'**dadır.

4.3.3.2.4.2. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

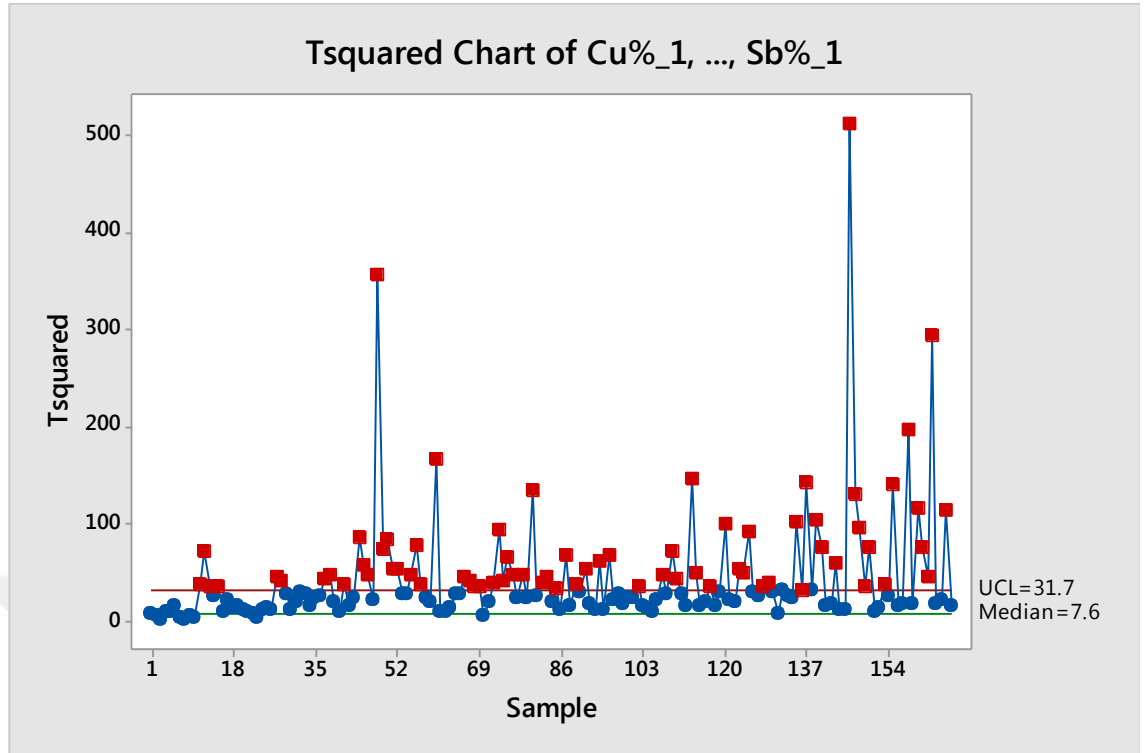
Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak kalite karakteristikleri ortalama değerleri **Tablo 4.8'**dedir.

Tablo 4.8: Hotelling T^2 Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

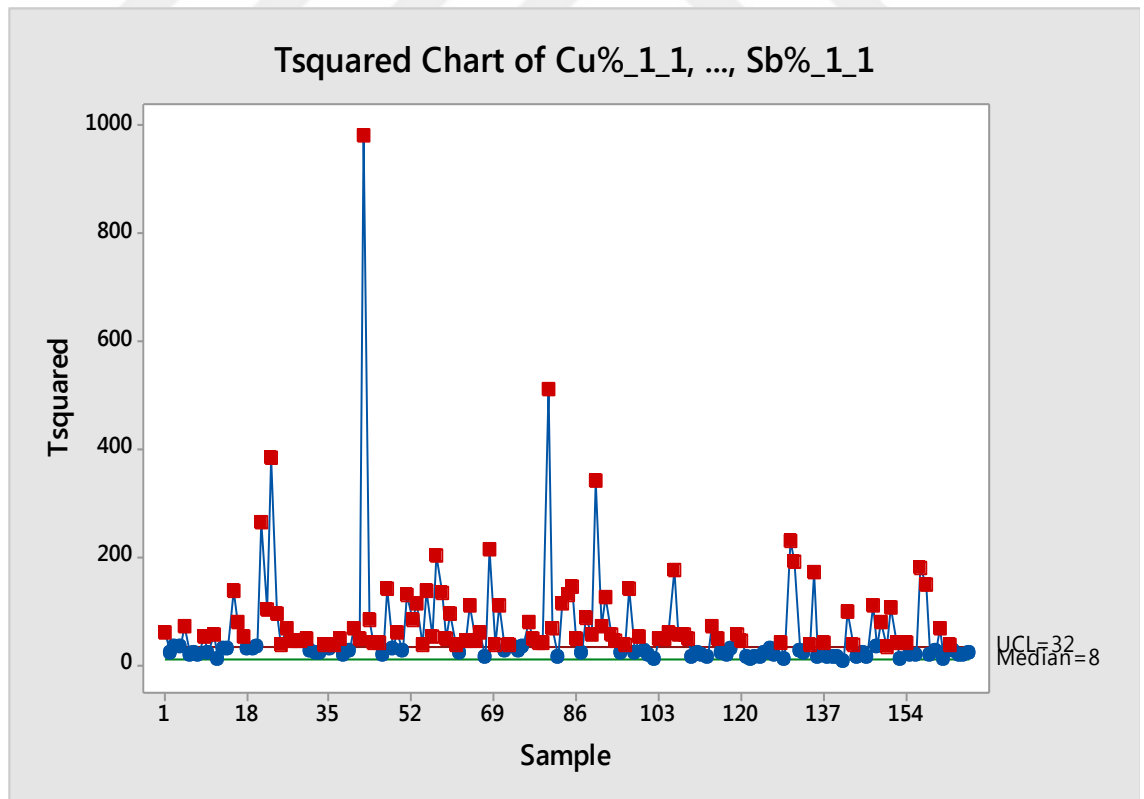
$$\bar{\bar{X}} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{Cu} \\ \bar{X}_{Pb} \\ \bar{X}_{Fe} \\ \bar{X}_{Sn} \\ \bar{X}_{Al} \\ \bar{X}_{Ni} \\ \bar{X}_{Sb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 58,4785 \\ 1,84234 \\ 0,071489 \\ 0,21127 \\ 0,001 \\ 0,0351064 \\ 0,00729 \end{bmatrix}$$

4.3.3.2.4.3. Faz II

Faz II aşaması ile ilgili Hotelling T^2 kontrol grafiği daha iyi anlaşılması amacıyla kalite vektöründeki veriler ikiye bölünerek iki ayrı grafik olarak dizayn edilmiştir. Dizayn edilen kontrol grafikleri **Grafik 4.6 ve 4.7'**de yer almaktadır.



Grafik 4.6: *Cu, Pb, Fe, Sn, Al, Ni, Sb* Elementlerinin İlk 167 Gözlem Değerlerinin Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle İzlenmesi (Faz II Aşaması)



Grafik 4.7: *Cu, Pb, Fe, Sn, Al, Ni, Sb* Elementlerinin İkinci 167 Gözlem Değerlerinin Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle İzlenmesi (Faz II Aşaması)

4.3.3.2.4.4. Bulgular ve Değerlendirme:

Tek değişkenli kontrol grafiklerinde olduğu gibi Hotelling T^2 kontrol grafiğinde de üretim sonunda elde edilmek istenen hedef değerden yine sapmalar yani süreçte bir değişkenlik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak meydana gelen bu sapmaların kaynağı hakkında uzmanlarca herhangi bir yorumda bulunulamamıştır.

Literatürde Hotelling T^2 kontrol grafiğinde takip edilen T^2 istatistiğinde meydana gelen kaymaların nedenleri kalite karakteristiklerinde arandığı ve bu amaç için önerilen *MYT* ayrıştırma yöntemi gibi çeşitli yöntemlerin bulunduğu çalışmanın birinci ve ikinci bölümlerinde belirtilmiştir. Bu yöntemlerin hepsi bu çalışmada uygulanabilir. Ancak tam olarak süreçteki değişkenliğin veya süreçte meydana gelen bu kaymanın hangi element veya element gruplarından kaynaklandığı bulunsa bile bu kalite karakteristiklerinin tek değişkenli kontrol grafiklerinde izlenmesi esnasında elde edilen değerlendirmelerden çok farklı bir sonuca ulaşılmayacağı tespit edilmiştir. Dolayısıyla çok değişkenli kalite vektöründe meydana gelen bu sapmaları anlamlı kılacak yeni yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

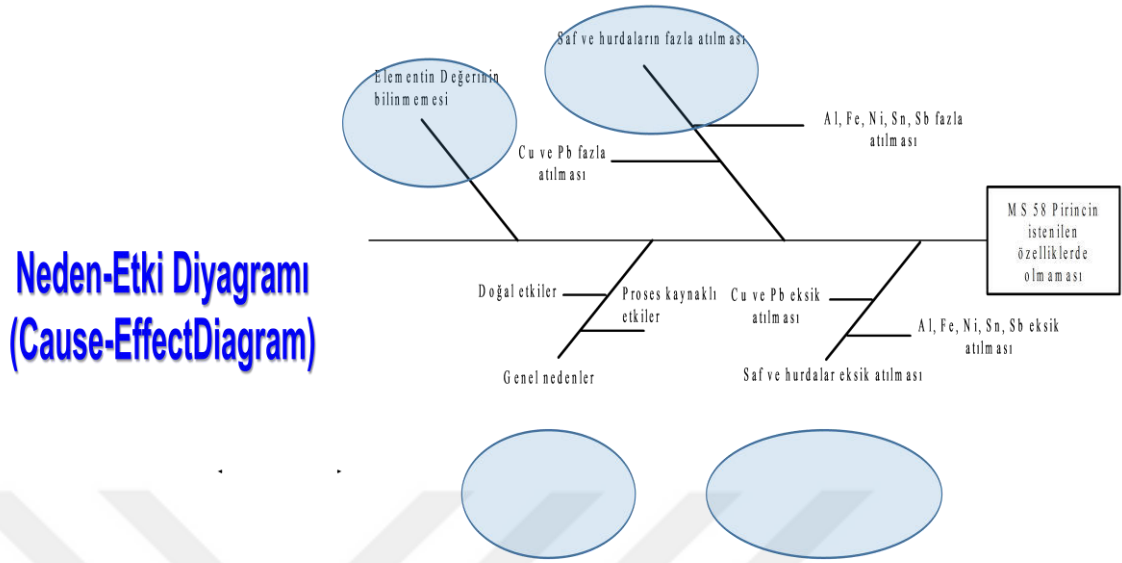
Süreç ve kalite kontrol uzmanları ile yapılan değerlendirme sonucunda *MS 58* cinsi pirincin içindeki element değerlerinde oluşan sapmanın veya değişkenliğin eriyin elde edildiği şarjdaki harmanlamadan ve malzeme içeriğindeki belirsizlikten kaynaklandığı belirtilmiştir. Şarjda istenilen ağırlıkta hurdaların konulamamasının nedenleri olarak da harmanlamayı yapan işçi hatalarına, tartının hassasiyetine, hurdaların büyüklük ve küçüklüğüne, hurdaları yeterince küçük parçalara ayırmada kullanılacak alet ve edavat eksikliğine, hava şartlarına, neme gibi birçok sebebe bağlamışlardır. Ama burada sapmalara neden olan bilinen husus harmanlamadaki hurda miktarının tam olmamasıdır. Diğer nedenler ise asıl nedene sebep olan bağımlı nedenlerdir.

4.3.4. Problem Durumu:

Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde üretim esnasında maliyet ve kalite açısından sürecin devamlı kontrol altında bulunması önem arz etmektedir. Bu kapsamda pirinç alışımının kalitesini belirleyen elementlerin oranlarının daima olarak istenen özelliklerde yani *DIN 17660* standartlarında veya yakın olması istenir. Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde üretilen pirinç alışımının kalitesini belirlemek için

elementler tek tek ele alınmakta ve istenen özellikler ile karşılaştırılmaktadır. Kontrol sınırlarının arasında olmayan bir element yüzdesi tespit edildiğinde elementin kontrol sınırları arasında bulundurmak için saf bakır (*Cu*) veya saf çinko (*Zn*) eklenerek denge kurulmaya çalışılmaktadır. Ancak piyasa saf bakır (*Cu*) ve çinkonun (*Zn*) fiyatı oldukça maliyetlidir.

Kalite karakteristiği olarak kabul edilen elementlerin yüzde oranlarının izlendiği tek değişkenli *I* ve *MR* kontrol grafikleri ile çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol grafiği incelendiğinde, element yüzde oranları değerlerinin istenilen özelliklerden oldukça farklı olduğu, kontrol sınırlarını aşan bir değişkenlik olduğu ve özel nedenlerin süreci etkilediği tespit edilmiştir. Kontrol grafiklerinde oluşan bu kontrol dışı sinyallerin nedenleri kalite karakteristiği bazında incelendiğinde herhangi bir sonuca ulaşılamamıştır. Bunun üzerinde süreci etkileyen özel nedenler süreç uzmanları ve kalite mühendisleri ile neden-etki diyagramı oluşturularak tespit edilmeye çalışılmıştır. Literatürde neden-etki diyagramının beyin fırtınası yöntemi ile üretilmesi önerilir. Neden-etki diyagramı, beyin fırtınasıyla önerildiğinde söz konusu kalite problemi hakkında uzman veya fikir sahibi birçok kişi istişare ettiği için kapsamlı şekilde neden sonuç ilişkilerini ortaya koymak, ayrıca akla hemen gelmeyecek kök nedenleri ortaya çıkarmak mümkün olmaktadır. Diyagram aynı zamanda beyin fırtınasında ortaya çıkan fikirlerin sistemli bir yazılı ifadesidir. Kolay anlaşılır olduğu için problem devam ettiği sürece kullanıma devam edilecektir. Bu kapsamda söz konusu pirinç üretiminde karşılaşılan problem için oluşturulmuş neden-etki diyagramı **Şekil 4.9**'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Probleme Yönelik Oluşturulan Neden-Etki Diyagramı

Diyagram incelendiğinde tespit edilen problem, “*MS 58 cinsi pirinç alaşımının istenilen özelliklerde olmaması*” olarak tanımlanmıştır. Bu problemin oluşturan bilinen hata kaynakları olarak üretim sürecinin başında şarj oluşturulurken saf ve hurda malzemelerin harmanlanması esnasında hurda malzemelerin personelden, tartıdan, hava şartlarından, uygulanan yöntemden kaynaklanan şarjın içine uygun oranlarda atılamadığı yani eksik veya fazla atıldığı olarak tespit edilmiştir. Süreci etkileyen özel neden olarak diğer başka hata kaynakları da mevcuttur. Ancak bu hata kaynaklarının süreci nasıl etkilediği tespit edilemediğinden ve süreç üzerinde de çok fazla etkilerinin olmadığı değerlendirildiğinden dolayı bu özel nedenlerin sürece etkileri az olan genel neden olarak değerlendirilmesine karar verilmiştir.

4.3.5. Değişkenlerin ve Parametrelerin Tanımı

Aşağıdaki tanımlar üretilecek *MS 58* cinsi pirinç türü içindir. Pirinç türü değiştiğinde katsayı değerleri de değişmektedir.

- i :Element türü,
- j :Hurda türü,
- k :Kontrol grafikleri Faz aşaması,

t	:Numune sayısı veya ölçüm vektörü sayısı,
$W_{t,ix1}$	:Spektral analiz sonunda elde edilen t . ölçüm vektörü
W_{it}	:Spektral analiz sonunda elde edilen t . ölçüm vektörünün içindeki i . elementin yüzdesi
H_j	: j . hurda
H_{ij}	: j . hurdanın i . elementinin yüzdesi
$x_{t,ix1}$	:Spektral analiz sonunda elde edilen t . ölçüm vektörü ile hedef MS 58 cins pirinç element yüzdelelerini içeren vektör arasındaki hata vektörü yani analize konu olan kalite vektörü
x_{kit}	:Analize konu olan k . fazdaki t . kalite vektörünün içindeki i . elementin yüzdesi
A_{ixt}	: m sayıda kalite değişkenli ve t hata sayılı süreç tabanlı temel elemanlar matrisi
a_j	: j . süreç tabanlı temel elemanlar vektörü
a_{ij}	: j . süreç tabanlı temel elemanlar vektörünün i . elementin yüzdesi
z_{kj}	: k . faz aşamasının j . süreç tabanlı temel gösterimleri katsayısı
D_{ix1}	:Hedef MS 58 cins pirinç element yüzdelelerini içeren vektör
D_i	:Hedef MS 58 cins pirincin i . element yüzdesi
M_D	:Hedef MS 58 cins pirincin ağırlığı
m_j	:Karışıma j . hurdadan atılan fazla veya eksik atılan miktarın ağırlığı
ε	:Hata terimi veya genel nedenler, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

4.3.6. Modelin Kurulması

Literatür incelendiğinde STTG yöntemi ile ilgili Barton ve Gonzalez (1996) tarafından önerilen iki modelin ve Runger, Barton, Castillo ve Woodall (2007) tarafından önerilen üç matematiksel modelin bulunduğu tespit edilmiştir. Matematiksel modeller ile ilgili detaylı bilgiler tezin ikinci kısmında STTG yöntemi ile ilgili teorik bilgiler anlatılırken verilmiştir. Matematiksel modeller incelendiğinde, Pirinç Fabrikası Müdürlüğündeki üretim sürecine uyan matematiksel model, Barton ve Gonzalez (1996) tarafından önerilen iki nolu yani **denklem (4-4)**'de yer alan matematiksel modeldir.

$$x = Az + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (4-4)$$

Yukarıda yer alan matematiksel modelin çoklu regresyon modeli olduğu görülmektedir. Ancak çoklu regresyon modelinden farkı, bu modelin orjinden geçen bir model olmasıdır. Çünkü model bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ortalamaya göre veya herhangi bir vektöre göre sapma değerlerine dayalı kurulması durumunda sabit katsayı hesaplanmaz.

4.3.7. Kalite Vektörünün Oluşturulması

İkinci kısımda kullanılacak kalite vektörü, eriyikten alınan numunelerin spektral analiz sonucunda elde edilen element yüzdelерinin oluşturduğu çok değişkenli gözlem vektörü (W) ile DIN standartlarında ve döküm sonunda ulaşılmak istenen hedef değer vektörü arasındaki hata vektöründen oluşmaktadır. Burada döküm sonunda ulaşılmak istenen hedef değer vektörü DIN ile simgelenecek olunursa ve hedef değer vektörü D_{ix1} olarak gösterilecektir. Burada m harfi, bu vektörün içindeki elementlerin sayısını simgelenmektedir. Çalışmada yedi adet element olduğundan m yedi değerini alır. Dolayısıyla bu vektör, yani $D_{7x1}=(D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7)'$ şeklinde gösterilir. Burada hedef değer vektörü;

$$D_{7x1} = \begin{bmatrix} 58 \\ 3 \\ 0.25 \\ 0.2 \\ 0.05 \\ 0.25 \\ 0.01 \end{bmatrix}$$

olur. Bu vektörde yer alan değerler **Tablo-4.1**'de gösterilen element değerlerinin alt ve üst değerlerinin ortalamasıdır. Örneğin, 1. element olan bakırın alt sınırı %57 ve üst sınırı ise %59'dur. Dolayısıyla alt ve üst sınırların değerleri ortalaması $(\%59+\%57)/2=\%58$ olarak hesaplanır.

Eğer her bir W vektöründen D_{7x1} vektörünü çıkartacak olursak ikinci durumda kullanılacak çok değişkenli gözlem fark vektörleri elde edilir. Dolayısıyla kalite vektörü aşağıda yer alan formülasyon ile genelleştirilebilir.

$$x_{kit} = \begin{bmatrix} W_{kit} - 58.0 \\ W_{kit} - 3.00 \\ W_{kit} - 0.25 \\ W_{kit} - 0.2 \\ W_{kit} - 0.05 \\ W_{kit} - 0.25 \\ W_{kit} - 0.01 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} k=1,2 \\ \text{Faz I: } i:1,2,\dots,7 \text{ ve } t=1,2,\dots,50 \\ \text{Faz II için } i:1,2,\dots,7 \text{ ve } t=1,2,\dots,334 \end{array} \quad (4-5)$$

4.3.8. Süreç Tabanlı Temel Elemanlarının Üretilmesi

Kalite vektörü x 'in oluşturulması “kalite vektörünün oluşturulması” başlığı altında anlatılmasından dolayı bu bölümde sadece süreç tabanlı temel elemanlar matrisinin oluşturulması anlatılacaktır.

Çalışmanın birinci bölümünde kalite karakteristiği olarak belirlenen eriyik haldeki pirinç alaşımı içindeki element oranları tek değişkenli kontrol grafikleri ile incelenmiş ve kontrol dışı sinyal tespit edildiğinde yorumlanması esnasında hata kaynağının tespiti ile ilgili herhangi bir sonuç elde edilememiştir. Bunun üzerine kalite karakteristikleri çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiş ve çok sayıda kontrol dışı sinyallerin tespit edilmesi üzerine süreçte istenilen özelliklerde *MS 58* cinsi pirinç alaşımının içindeki element oranlarının *DIN* standartlarında olmadığı belirlenmiş ve problem cümlesi olarak “**MS 58 cinsi pirinç alaşımının istenilen özelliklerde olmaması**” şeklinde belirlenmiştir.

Söz konusu problem ile ilgili olarak daha sonra sebep-etki diyagramı oluşturulmuş ve bu problemin hata kaynaklarını bulmak amacıyla süreç ve kalite uzmanlarından yardım alınmıştır. İnceleme sonunda istenilen özelliklerde pirinç alaşımının üretilmesine etki eden bilinen hata kaynağı olarak üretim sürecinin başında saf ve hurda malzemelerin harmanlanması sonucunda oluşturulan şarjlarda hurda malzemelerin kantardan, malzemenin durumundan veya personelden kaynaklanan istenilen oranda konulamaması yani şarj içine hurda cinslerinin fazla veya az konulması olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla hata kaynaklarının yani süreç tabanlı temel elemanlar matrisinin oluşturulmasında temel elemanların hurda cinsleri tarafından temsil edilmesi gerektiğine karar verilmiştir. STTG yöntemindeki matematiksel model incelendiğinde eriyik haldeki pirinç alaşımı elementlerin yüzde oranlarının kalite vektörü olan *DIN 17660* standartları göre oluşturduğu sapmaların oluşturduğu örüntü, hata kaynağı olarak kabul edilen hurdaların elementlerin yüzde değerlerinin yine kalite vektörü olan *DIN*

17660 standartları göre oluşturduğu sapmaların oluşturduğu örüntülerin toplamından oluşmaktadır.

Söz konusu modeli Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde uygulayabilmek amacıyla fabrikanın son sekiz sene üretim sürecinin kayıtları incelenmiştir. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde son sekiz sene içinde pirinç alaşımının üretiminde kullanılan 25 adet hurda cinsi tespit edilmiş olup bu hurdaların isimleri **Tablo 4.9**'da sunulmuştur.

Tablo 4.9:Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Kullanılan Hurda Cinsleri

Hurda Numarası	Hurda İsmi
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü dahili	
1.Hurda	MS 58 (Ara iş),
2.Hurda	Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
3.Hurda	MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
4.Hurda	Soyma Cu
5.Hurda	Kablo Bakırı (Granül Bakır)
6.Hurda	Hurda Radyatör
7.Hurda	Hurda Elektrolit Çinko (E-Zn)
8.Hurda	Reganya Toprak
9.Hurda	Reganya Tako
10.Hurda	Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)
11.Hurda	Katot Bakır
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü harici	
12.Hurda	Demirli Tombak (Yüksük 90)
13.Hurda	Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
14.Hurda	Boş kovan 70 (Fesih Hurda Kovan)
15.Hurda	Hurda Kapçık 70 (Fesih Hurda Kapçık)
16.Hurda	Elektrolit Külçe Çinko (E-Zn)
17.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
18.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
19.Hurda	Harici Hurda Bakır
20.Hurda	Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu
21.Hurda	Gemi Hurdası
22.Hurda	Çelik Jant (araç)
23.Hurda	Yüksük Ara İş
24.Hurda	Kovan Pulu Ara İş
25.Hurda	Boş Kovan 90

Ancak, pirinç alaşımı üretmek için kullanılan hurda cinsleri **Tablo 4.9**'da yer 25 adet hurda cinsleri ile sınırlı değildir. Yani pirinç alaşımı içinde bulunan ve ana maddeler olan kurşun ve çinko elementlerinin yoğun olarak bulundukları bütün hurda cinsleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla pirinç alaşımı için kullanılan hurda cinslerinin sayısı **Tablo 4.9**'da yer alan 25 adet hurda cinsi sayısının üzerine çıkmaktadır. Ancak çalışmamızın yapıldığı veriler 01 Ocak-31 Mart 2015 döneminde üretim sürecinden üretilen pirinç alaşımlarının üretildiği esnada 18 adet hurda cinsi kullanılmasında dolayı

çalışmamızda kullanılan hurda cinsi olarak 18 hurda cinsi ile sınırlandırılmıştır. Çalışmamızda kullanılan hurda cinsleri **Tablo 4.10**'dadır.

Tablo 4.10:Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Son Sekiz Sene İçinde Kullanılan Hurda Cinsleri

Hurda Numarası	Hurda İsmi
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü dahili	
1.Hurda	MS 58 (Ara iş),
2.Hurda	Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
3.Hurda	MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
4.Hurda	Soyma Cu
5.Hurda	Kablo Bakır (Granül Bakır)
6.Hurda	Hurda Radyatör
7.Hurda	Hurda Elektrolit Çinko (E-Zn)
8.Hurda	Reganya Toprak
9.Hurda	Reganya Takoz
10.Hurda	Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü harici	
11.Hurda	Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
12.Hurda	Boş kovan 70 (Fesih Hurda Kovan)
13.Hurda	Hurda Kapçık 70 (Fesih Hurda Kapçık)
14.Hurda	Elektrolit Külçe Çinko (E-Zn)
15.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
16.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
17.Hurda	Harici Hurda Bakır
18.Hurda	Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu

STTG yöntemindeki matematiksel model ele alındığında hata kaynağı veya bağımsız değişken sayısı on sekiz ve her bir hata kaynağındaki veya bağımsız değişkendeki çok değişkenli kalite vektöründeki kalite karakteristiği sayısı veya gözlem sayısı ise yedidir.

STTG yöntemi ile ilgili ikinci bölümdeki literatür araştırması incelendiğinde, iki çeşit matematiksel model önerildiği tespit edilmiştir. Birinci matematiksel modeldeki hata matrisi, hata kaynağı ile kalite karakteristiğinin eşitliği varsayımı üzerine ve ikinci matematiksel model ise kalite karakteristiği sayısının hata sayısından fazla olması varsayımı üzerine oluşturulduğu görülmektedir. Ancak çalışmamızda yapılan uygulamada ise **kalite karakteristiği sayısı hata kaynağı sayısından küçüktür**. Söz konusu her iki modelin çalışmamızda kullanılamaması durumu ile karşılaşılmıştır.

Karşılaşılan durumun çözümü regresyon analizi kapsamında önerilen çeşitli yöntemler kullanılarak üstesinden gelinebilir. Bu yöntemlerle ilgili olarak literatürde yer alan bazı çözüm önerileri ile ilgili teorik bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Regresyon analizinde gözlem sayısı parametre sayısından az ise gözlem sayısının artırılması veya değişken sayısının azaltılması diğer bir değişle modele anlamlı değişkenlerin seçilmesi önerilmektedir. Anlamlı değişkenlerin seçilmesi için önerilen yöntemler sırasıyla **bağımsız değişkenleri birleştirme yöntemi, tüm muhtemel alt kümeler yöntemi, adımsal yöntemler ve genelleştirilmiş ters matris** olarak dört gruba ayrılmaktadır.

Bağımsız değişkenleri birleştirme yönteminde, aynı veya aralarında tam pozitif korelasyona sahip gözlem değerleri sadece bir değişken tarafından temsil edilir. Dolayısıyla örneğin bu durumda beş bağımsız değişken varsa bu beş bağımsız değişken sadece bir bağımsız değişken ile temsil edilir ve toplam bağımsız değişken sayısında dört adet bağımsız değişken eksilmiştir olur.

Tüm muhtemel alt kümeler yönteminde, araştırmacının bir veya daha fazla aday bağımsız değişkeni içeren tüm regresyon denklemlerinin oluşturulması gerekir. Bu denklemler en uygun ölçütlere (*çoklu belirtme katsayısı, düzeltilmiş çoklu belirtme katsayısı, artık kareler ortalaması, Mallow'un C_p istatistiği, akaike bilgi ölçütü, bayesçi benzerler*) göre değerlendirilir ve en iyi regresyon modeli seçilir.

Tüm muhtemel regresyonlar hesaplama açısından yüklü olabileceğinden yalnızca az sayıdaki regresyon modellerini değerlendirmek amacıyla her adımda bağımsız değişkenleri ekleyerek ya da çıkartarak gerçekleştirilen farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler **adımsal yöntemler** olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemler genellikle üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla **ileriye doğru seçim, geriye doğru çıkarma ve adımsal seçim**dir (Montgomery, Peck ve Vinning, 2012). Literatürde en çok kullanılan teknik olmasından dolayı adımsal regresyon yöntemi ile ilgili olarak burada bazı teorik bilgiler verilecektir. Ancak daha detaylı bilgiler regresyon analizi ile ilgili hazırlanmış yayınlara bakılabilir.

İleriye doğru seçim yöntemi, STTG yönteminde kurulan modelde tek bağımsız değişkenin olduğu varsayımıyla başlar. (*STTG yönteminde kurulan modelde sabit değişken bulunmamaktadır. Regresyon analizinde sabit değişken olmasından dolayı regresyon analizinde ise modelde hiç bağımsız değişken yokken sadece sabit katsayı varken başlanmaktadır.*) Modele her adımda bir bağımsız değişken yani süreç tabanlı temel eleman dahil edilerek optimal bir alt küme bulmak istenilir. Denklemden yer alan

ilk temel eleman, kalite vektörü ile temel elemanlar arasındaki en büyük basit korelasyona sahip olan temel elemandır. Daha sonra modele eklenmek için seçilen ilk temel eleman ise yine kalite vektörü ile en büyük basit korelasyona sahip olan diğer temel elemandır. Bu temel elemanı z olduğunu varsayalım. Bu ayrıca regresyonun anlamlılığını test etmek için kullanılan F istatistiği için en büyük değeri veren temel elemandır. Eğer F istatistiğinin değeri daha önceden seçilen bir F değerini (F ya da F -to-enter) geçerse bu temel eleman denkleme dâhil edilir.

Eklemek için seçilen ikinci temel eleman, ilk temel elemanın etkisi için düzeltme yapıldıktan sonra kalite vektörü ile en büyük korelasyona sahip temel elemandır. Bu korelasyonlara kısmi korelasyonlar adı verilmektedir.

Genel olarak her bir adımda, kalite vektörü ile en büyük kısmi korelasyona sahip temel eleman (*aynı zamanda en büyük kısmi F istatistiğine sahip temel eleman*), eğer kısmi F istatistiği önceden belirlenen F düzeyini aşıyorsa modele eklenir. İşlemler ya bir adımdaki kısmi F istatistiği F 'ın değerini aşmazsa ya da son aday temel elemanda modele eklendiyse sonlanır. İleriye doğru seçim işleminde modele alınacak temel elemanlar için değişik seçim kriterleri bulunmaktadır.

Geriye doğru çıkarma yönteminde geriye doğru çıkarma işleminden farklı olarak modelde işlemlere tüm temel elemanların (k adet) bulunduğu model ile başlanır (Alpar, 2012). Daha sonra her bir temel eleman için sanki modele eklenecek son temel elemanmış gibi kısmi F istatistikleri hesaplanır. Bu kısmi F (*ya da t*) istatistiklerinin en küçüğü daha önceden seçilen bir F (*ya da t*) değeri ile karşılaştırılır. Eğer en küçük kısmi F (*ya da t*) değeri seçilen F (*ya da t*) değerinden küçükse o temel eleman modelden çıkartılır. $k-1$ değişkenli bir model oluşur. Bu yeni model için kısmi k (*ya da t*) değerleri hesaplanır ve işlem tekrar edilir. Geriye doğru çıkarma yönteminde, hesaplanan kısmi F (*ya da t*) değeri, seçilen F (*ya da t*) değerinden büyük olunca işlem sona erer. (Montgomery, Peck ve Vinning, 2012)

Yukarıda açıklanan iki işlem, farklı birleşimler önermektedir. En popüler seçim işlemlerinden biri, Efroymson (1960) tarafından önerilen **adımsal regresyon yöntemi**dir. Adımsal regresyon yöntemi, ileriye doğru seçimin her adımda modele daha önce giren bağımsız değişkenlerin kısmi F (*ya da t*) istatistikleri yoluyla yeniden değerlendirildiği bir türüdür. Daha önceki adımlarda eklenen bir bağımsız değişken, söz

konusu bu bağımsız değişkenle modele eklenen diğer bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiden dolayı gereksiz duruma gelmiş olabilir.

Adımsal regresyon yönteminde, değişkenleri modele eklemek ve modelden çıkarmak için iki değer gerektirir. Bu iki değer F_{out} (ya da t_{out}) ve F_{in} (ya da t_{in}) olarak simgelenebilir. Eğer bir değişken için kısmi F (ya da t) istatistiği F_{out} (ya da t_{out}) değerinden küçükse o değişken modelden çıkartılır. Sıklıkla modele bir bağımsız değişken eklemeyi bir bağımsız değişken çıkarmaktan daha zor hale getirmek için $F_{in}(ya da t_{in}) > F_{out}(ya da t_{out})$ değeri seçilir. Adımsal işlemler için $F_{in}(ya da t_{in})$ veya $F_{out}(ya da t_{out})$ değerlerinin seçilmesi, bu algoritmalar için bir durdurma belirlemek olarak algılanabilir. Ayrıca, bazı durumlarda aynı değişkenin sürekli olarak modele girme ve modelden çıkma döngüsüne girmesini önlemek için ise modele girme kriteri, modelden çıkma kriterinden küçük olmalıdır.

Yukarıda açıklanan yöntemlerden sonuncusu ise **genelleştirilmiş ters matris yöntemi**dir. Bu yöntemin uygulaması STTG yönteminde ve regresyon analizi yönteminde kurulan matematiksel modellerde literatürde uygulaması bulunmamaktadır. Genelleştirilmiş ters matris yöntemi, regresyon analizi ile STTG yönteminde uygulaması yapılabilir. Bu yöntem en küçük kareler yöntemi ile katsayıların bulunması esnasında $(A'A)$ 'nın tersi alınmadığı veya tekil olmadığı durumlarda uygulanır. Söz konusu yöntemin en küçük kareler yöntemine uydurulması aşağıda ispat edilmiştir.

Herhangi bir A matrisi (*karese olup düzgün ya da aykırı ya da dikdörtgensel*) için $AGA = A$ bağıntı ile tanımlı ve G ile gösterilen bir şartlı ya da genelleştirilmiş tersi (*ya da pseudo invers*) vardır.

A matrisi karese ve düzgün ise G tektir ve A^{-1} eşittir. Aksi halde bağıntıyı sağlayan sonsuz sayıda G matrisi vardır.

A , m ranklı ve $n \times m$ ($m < n$) biçiminde bir matris ise, bu durumda G , $m \times n$ basamağındandır ve $GA = I_m$, $AG \neq I$ 'dir. Bu durumda G sol ters adını alır.

A , n ranklı ve $n \times m$ ($m > n$) biçiminde bir matris ise, bu durumda G , $m \times n$ basamağındandır ve $AG = I_m$ ve $GA \neq I$ dir. Bu durumda G sağ ters adını alır. A ancak karese ve düzgün olduğunda, hem sağ hem de sol tersi vardır ve bu durumda her ikisi A 'nın A^{-1} ile gösterilen tersine eşittir.

Genelleştirilmiş ters matris, aşağıdaki dört eşitliği sağlayan matris olarak da tanımlanabilir.

$$AGA = A$$

$$GAG = G$$

$$AG = (AG), R^m \text{ de ortogonal görüntüsüdür.}$$

$$GA = (GA), R^n \text{ de ortogonal görüntüsüdür.}$$

Karesel ve aykırı bir A matrisi için $AG \neq I$ ve $GA \neq I'$ dir, ancak yukarıdaki bağıntılar daima sağlanır. O halde karesel ve aykırı bir matris için sağ ters ve sol ters yoktur, genelleştirilmiş ters vardır. Bu bakımdan her sol ters ve sağ ters bir genelleştirilmiş terstir, ancak her genelleştirilmiş tersin sol ters ya da sağ ters olması gerekmez.

$r < n$ ve $rank(X) = r$ olduğu bir $n \times r$ boyutlu X matrisini ele alalım. Burada $(X'X)$ 'nin tersi alınabilmektedir. Eğer gözlenen değerler $Y \in R^n$ $\beta \in R^r$ parametreler hesaplanabilir. Bu durumda matematiksel model aşağıda olduğu şekilde kurulur.

$$Y = X\beta, Y \in R^n, \beta \in R^r \quad (4-6)$$

$r < n$ olduğundan dolayı X matrisinin tersi alınamaz. Bu durumda, biz X 'in genelleştirilmiş tersini düşünebiliriz. Daha özel olarak eğer $G, r \times n$ ve $XGX = X$ ise G, X 'in genelleştirilmiş tersi olacaktır.

$X'X$ 'in tersi alınabilir olduğundan dolayı

$$\begin{aligned} G &= (X'X)^{-1}X' \text{ ve } XGX = X(X'X)^{-1}X'X = X \text{ olur.} \\ GX &= (X'X)^{-1}X'X = I_r \text{ ve } XG = X(X'X)^{-1}X = H' \text{ dir.} \end{aligned} \quad (4-7)$$

Dikkat etmek gerekirse GX ve XG 'nin her ikisi de simetriktir. Yani $I_r = (I_r)'$ ve $H = H'$.

Biz $(X'X)$ 'in tersinin alınabildiğini kabul etmiştik. Bu durumda yukarıda yer alan hususlardan aşağıdaki şekil elde edilebilir.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y = GY \quad (4-8)$$

STTG yönteminde yukarıda belirtilen problem, değişken azaltma ve genelleştirilmiş ters matris yöntemleri ile çözüme kavuşturulabilir.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü'nde çalışmanın yapıldığı dönemde *MS 58* cins pirinci üretmek için 18 adet saf ve hurda malzemenin kullanıldığı belirtilmişti. Üretimde kullanılan saf malzemeler ile hurda malzemelerin fotoğrafları **Resim 4.11**'de ve içerdikleri element özellikleri **Tablo 4.11**'dedir.

1. Süreç Tabanlı Temel Elemana Esas Teşkil Eden Hurda Cinsi

1. Hurda Çeşidi: MS 58 (Ara iş)



2. Süreç Tabanlı Temel Elemana Esas Teşkil Eden Hurda Cinsleri

2. Hurda Çeşidi:Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)



11. Hurda Çeşidi:Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)

12. Hurda Çeşidi:Boş kovan 70 (Fesih-Fesih Hurda Kovan)



13. Hurda Çeşidi:Hurda Kapçık 70 (Fesih-Fesih Hurda Kapçık)

18. Hurda Çeşidi:Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu



3. Süreç Tabanlı Temel Elemana Esas Teşkil Eden Hurda Cinsi

6. Hurda Çeşidi:Hurda Radyatör



4. Süreç Tabanlı Temel Elemana Esas Teşkil Eden Hurda Cinsi

8. Hurda Çeşidi:Reganya Toprak



5. Süreç Tabanlı Temel Elemana Esas Teşkil Eden Hurda Cinsi
9. Hurda Çeşidi:Reganya Takoz



6. Süreç Tabanlı Temel Elemana Esas Teşkil Eden Hurda Cinsleri
15. Hurda Çeşidi:Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
16. Hurda Çeşidi:Harici Pirinç ve Bronz Hurdası



Saf Halde Bulunan Hurda Cinsleri

- 1. Saf Madde:Soyma Cu**
- 2. Saf Madde:Kablo Bakır (Granül Bakır)**



3. Saf Madde:Harici Hurda Bakır

4. Saf Madde:Hurda Elektrolit Çinko (E-Zn)



5. Saf Madde:Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)

6. Saf Madde:Elektrolit Külçe Çinko (E-Zn)



7. Saf Madde:MS 90 Tombak Paket (Yüksük)



Resim 4.11:Çalışma da Kullanılan Saf Halde Bulunan ve Emprüteleri Kapsayan Hurda Resimleri

Tablo 4.11:18 Adet Hurdaya Ait Element Oranları

	1. H u r d a	2. H u r d a	3. H u r d a	4. H u r d a	5. H u r d a	6. H u r d a	7. H u r d a	8. H u r d a	9. H u r d a	10. H u r d a	11. H u r d a	12. H u r d a	13. H u r d a	14. H u r d a	15. H u r d a	16. H u r d a	17. H u r d a	18. H u r d a
Cu	57	59	68.44	71.44	89	91	99.44	99.99	99.44	99.99	68.74	74.00	0	0	68.44	71.44	68.44	71.44
Pb	1	3	0	0.07	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0
Fe	0	0.03	0	0.05	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.44	0.44	0	0	0	0	0	0
Sn	0	0.03	0	0.05	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.44	2.00	0.44	0	0	0	0	0
Al	0	0.05	0	0.01	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0	0	0	0	0
Ni	0	0.03	0	0.05	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.44	0.44	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Sb	0	0.02	0	0.001	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.002	0	0	0	0	0
Di ğ	0	0.2	0	0.02	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.44	0.44	0.02	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Hurda malzemelerin içindeki elementlerin yüzde oranlarına bakıldığında 3.Hurda:MS 90 Tombak Paket (Yüksük), 4.Hurda:Soyma Cu, 5.Hurda:Kablo Bakır (Granül Bakır), 7.Hurda:Hurda Elektrolit Çinko (E-Zn), 10.Hurda:Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb), 14.Hurda:Elektrolit Külçe Çinko (E-Zn) ve 17.Hurda:Harici Hurda Bakır cinslerinin saf malzeme (malzemeler her ne kadar hurda olsa da saf malzeme özelliği taşımakta olup emprüteler ihmal edilecek kadar az bulunmaktadır) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla modelimize hata kaynağı olarak başlangıçta bulunan 18 hurda cinsinin içinden bu saf malzeme özelliği taşıyan hurda cinslerini çıkararak geri kalan 11 hurda cinsini almamız gerekmektedir.

Geri kalan hurda cinslerinin element oranlarını tekrar incelediğimizde bazı elementlerin oranlarının aynı, bazılarının ise önemsiz sayılabilecek derecede farklı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla içindeki element oranları yakın olan hurdalar da kendi arasında gruplamaya tabi tutulmuştur. Burada her grup bir adet hata kaynağını oluşturmaktadır. Sınıflandırmaya saf malzemeler dâhil edilmemiştir.

Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün tanıtımı yapılırken hurda çeşitlerinin birçok kaynaktan geldiği ifade edilmiştir. Farklı kaynaklardan gelen hurda malzemelere çeşitli isimler verilmektedir. Hatta endüstrilerde aynı kullanım alanı olan malzemeler bile farklı olarak adlandırılabilir. Örnek vermek gerekirse, savunma sanayisinde mermi kovanları kullanılan silah cinsine göre farklı isimler almaktadır: 7.62 mm çapında G-3 piyade tüfeğinin mermisinin boş kovanı hafif silah boş kovanı diye isimlendirilirken, 12,7 mm çapında uçaksavar mermisinin boş kovanı ise ağır silah boş kovanı diye isimlendirilmektedir. Ancak söz konusu bu iki boş kovanın yapıldığı alaşımın cinsi aynıdır ve içindeki elementlerin yüzdeleri de aynı değerlere sahip olabilmektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında element oranları dikkate alınarak birbiriyle aynı hatta birbirine çok yakın özelliklerde hurdalar gruplandırılabilir. Bu kapsamda on bir çeşit hurda, element oranları dikkate alınarak altı grup altında sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda yapılan gruplandırma **Tablo 4.12**'de ve yapılan gruplamanın element değerlerinin yüzde değerleri ise **Tablo 4.13**'de yer almaktadır.

Tablo 4.12:Gruplama Sonrası Hurda Grupları

Hurda Numarası	Hurda İsmi
1.Hurda Grubu	1.Hurda MS 58 (Ara iş)
2.Hurda Grubu	2.Hurda Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
	11.Hurda Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
	12.Hurda Boş kovan 70 (Fesih-Fesih Hurda Kovan)
	13.Hurda Hurda Kapçık 70 (Fesih-Fesih Hurda Kapçık)
	18.Hurda Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu
3.Hurda Grubu	6.Hurda Hurda Radyatör
4.Hurda Grubu	8.Hurda Reganya Toprak
5.Hurda Grubu	9.Hurda Reganya Takoz
6.Hurda Grubu	15.Hurda Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
	16.Hurda Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
Saf Hurda Grubu	3.Hurda MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
	4.Hurda Soyma Cu
	5.Hurda Kablo Bakır (Granül Bakır)
	7.Hurda Hurda Elektrolit Çinko (E-Zn)
	10.Hurda Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)
	14.Hurda Elektrolit Külçe Çinko (E-Zn)
	17.Hurda Harici Hurda Bakır

Tablo 4.13:6 Adet Hurda Grubunun Element Oranları

Element	1. HHK	2. HHK	3. HHK	4. HHK	5. HHK	6. HHK
<i>Cu</i>	58%	69.94%	71%	57.5%	64%	57.5%
<i>Pb</i>	2%	0.035%	3%	2%	2.5%	4%
<i>Fe</i>	0.015%	0.025%	0.22%	0.6%	0.94%	0.22%
<i>Sn</i>	0.015%	0.025%	1.22%	0.25%	1.22%	1.22%
<i>Al</i>	0.025%	0.005%	0.025%	0.1%	0.125%	0.1%
<i>Ni</i>	0.015%	0.025%	0.22%	0.125%	0.27%	0.22%
<i>Sb</i>	0.01%	0.0005%	0.01%	0.0013%	0.03%	0.0125%

Temel cebirsel işlemlerde bir vektörün bileşenlerinin temel elemanlarıyla nasıl temsil edildiği ile ilgili teorik bilgiler ikinci bölümde anlatılmıştır. Yapılan çalışmada STTG yönteminde ihtiyaç duyulan temel elemanlar temel cebirde olduğu gibi gösterilebilir. Yani, yukarıda gösterildiği üzere altı adet hata kaynağının temel elemanları $(1,0,0,0,0,0)$, $(0,1,0,0,0,0)$,....., $(0,0,0,0,0,1)$ şeklinde temsil edilebilir. Bu şekilde gösterilen temel elemanlar ortogonaldır. Ancak bu şekilde gösterimde hata kaynağının sadece 1 rakamı ile temsil edilen elementindeki sapma miktarı hesaba katılmış olur ve diğer elementlerdeki sapmalar hesaba katılmaz. Dolayısıyla bütün elementlerdeki sapmaları aynı anda ve elementlerin arasındaki ilişkileri dikkate alacak STTG yöntemindeki bakış açısıyla Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde temel elemanların oluşturulması gerekmektedir.

4.3.9. Hurda Malzemelerin Az veya Çok Atılmasının Modellenmesi

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde *DIN 17660* standartlarında *MS 58* pirinç cinsinin element oranlarına yani ideal element yüzde oranlarına sahip M_D kg bir pirinç alaşımının üretildiğini düşünelim. Bu durumda ideal element oranlarına sahip olan üretilmiş pirinç alaşımı şöyle gösterilir.

$$M_D x \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \end{bmatrix} \quad (4-9)$$

D , ideal ölçülerde üretilen $ix1$ boyutunda *MS 58* cinsi pirinç alaşım vektörünü ve D_i ise ideal ölçülerde üretilmiş *MS 58* cinsi pirinç alaşımının i elementinin ağırlıkça yüzde değerini temsil etmektedir. M_D ise üretim sonunda ideal ölçülerde üretilmiş *MS 58* cinsi pirinç alaşımının ağırlığıdır. Burada yedi elementin haricinde olan diğer elementlerin ağırlığı ve dolayısıyla yüzde oranı çok küçük olmasından dolayı dikkate

alınmayacaktır ve üretilen pirinç cinsinin içinde sadece yedi adet element olduğu farz edilecektir. Dolayısıyla D_i 'nin değeri (yüzde değeri), MS 58 pirinç cinsinin içindeki i . elementin ağırlığını yani m_j 'yi, M_D olan toplam ağırlığa bölünerek bulunur.

Daha sonra ideal ölçülerde üretilmiş bir üründe j . cins hurda cinsinden m_j kg kadar fazla atıldığını düşünelim. Burada hurda cinsleri H simgesi ile gösterilecektir. H_j ise j . hurdayı H_{ij} ise j . hurdanın i . element yüzdesini göstermektedir. Eğer üretim sonunda elde edilen ideal ölçülerdeki M_D kg kadar MS 58 pirinç cinsine çeşitli genel sebeplerden dolayı m_j kg kadar H_j hurdasından fazla atılma durumunda;

$$M_D \text{ kg} \times \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \end{bmatrix} + m_j \text{ kg} \times \begin{bmatrix} H_{1j} \\ \vdots \\ H_{ij} \end{bmatrix} \quad (4-10)$$

elde edilir. Bu şekilde elde edilen yeni karışımın içindeki elementlerin kg cinsinden ağırlıkları şu şekilde bulunur.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} \times D_{1+} + m_j \times H_{1j} \\ \vdots \\ M_D \text{ kg} \times D_{i+} + m_j \times H_{ij} \end{bmatrix} \quad (4-11)$$

Bu yeni durumda yeni üretilen pirinç cinsinin ağırlığı yukarıda yer alan matristeki elementlerin toplamı kadardır ve aşağıda olduğu gibi gösterilir.

$$[M_D \text{ kg} \times (D_1 + D_2 + \dots + D_i) + m_j \times (H_{1j} + \dots + H_{ij})] \quad (4-12)$$

Yukarıda yer alan denklemde parantez içinde olan ideal pirinç alaşımının ve hurdaların içinde bulunan element yüzde değerleri olduğu için bu yüzde değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Bu durumda üretim süreci sonunda elde edilen pirinç alaşımının toplam ağırlığı kg cinsinden $M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}$ olmaktadır.

Üretim sonunda fazla atılan hurdayı da içine kaplayacak şekilde üretilen pirinç alaşımının yeni duruma göre yani yeni yüzdelik ölçüm değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} \times D_{1+} + m_j \times H_{1j} \\ \vdots \\ M_D \text{ kg} \times D_{i+} + m_j \times H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) \quad (4-13)$$

Bu duruma göre her bir boyutun elementlerin olduğu yedi boyutlu bir düzlem düşünülecek olursak fazla atılan hurda cinsinin elementlerinin yüzde cinsinden oluşan yedi boyutlu vektörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1+} + m_j x H_{1j} \\ \vdots \\ M_D \text{ kg} x D_{i+} + m_j x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \end{bmatrix} + ??? \quad (4-14)$$

Yukarıda yer alan eşitlikte soru işareti ile gösterilen yüzdeler vektör çözümü ile elde edilecektir. Yani iki boyutlu bir iki vektörün toplamı düşünülecek olunursa gösterimi aşağıdaki kartezyen koordinat sisteminde olduğu gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1+} + m_j x H_{1j} \\ \vdots \\ M_D \text{ kg} x D_{i+} + m_j x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) &= \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \end{bmatrix} * \frac{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} + ??? \\ \frac{M_D \text{ kg} x D_{i+} + m_j x H_{ij}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} - D_i x \frac{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} &= ??? \\ \frac{m_j x H_{ij} - D_i x m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} &= ??? \\ \frac{m_j x (H_{ij} - D_i)}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} &= ??? \end{aligned} \quad (4-15)$$

$$\frac{m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} x \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \vdots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix} = ???$$

Temel eleman

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1+} + m_j x H_{1j} \\ \vdots \\ M_D \text{ kg} x D_{i+} + m_j x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \end{bmatrix} + \frac{m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} * \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \vdots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix}$$

Eğer üretim sonunda elde edilen ideal ölçülerdeki M_D kg kadar *MS 58* pirinç cinsine çeşitli genel sebeplerden dolayı m_j kg kadar H_j hurdasından eksik atılma durumunda ise;

$$M_D \text{ kg} x \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \end{bmatrix} - m_j \text{ kg} x \begin{bmatrix} H_{1j} \\ \vdots \\ H_{ij} \end{bmatrix} \quad (4-16)$$

elde edilir. Bu şekilde elde edilen yeni karışımın içindeki elementlerin kg cinsinden ağırlıkları şu şekilde bulunur.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1-m_j} x H_{1j} \\ \ddots \\ M_D \text{ kg} x D_{i-m_j} x H_{ij} \end{bmatrix} \quad (4-17)$$

Bu yeni durumda yeni üretilen pirinç cinsinin ağırlığı yukarıda yer alan matristeki elementlerin farkları kadardır ve aşağıda olduğu gibi gösterilir.

$$[M_D \text{ kg} x (D_{i+D_2+\dots+D_i}) - m_j x (H_{1j} + H_{2j} + \dots + H_{ij})] \quad (4-18)$$

Yukarıda yer alan denklemde parantez içinde olan ideal pirinç alaşımının ve hurdaların içinde bulunan element yüzde değerleri olduğu için bu yüzde değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Bu durumda üretim süreci sonunda elde edilen pirinç alaşımının toplam ağırlığı kg. cinsinden $M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}$ olmaktadır.

Üretim sonunda eksik atılan hurdayı da içine kaplayacak şekilde üretilen pirinç alaşımının yeni duruma göre yani yeni yüzdelik ölçüm değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1-m_j} x H_{1j} \\ \ddots \\ M_D \text{ kg} x D_{i-m_j} x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) \quad (4-19)$$

Bu duruma göre her bir boyutun elementlerin olduğu yedi boyutlu bir düzlem düşünecek olursak eksik atılan hurda cinsinin elementlerinin yüzde cinsinden oluşan yedi boyutlu vektörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1-m_j} x H_{1j} \\ \ddots \\ M_D \text{ kg} x D_{i-m_j} x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \ddots \\ D_i \end{bmatrix} + ??? \quad (4-20)$$

Yukarıda yer alan eşitlikte soru işareti ile gösterilen yüzdelik vektör çözümü ile elde edilecektir. Yani iki boyutlu bir iki vektörün toplamı düşünülecek olunursa gösterimi aşağıdaki kartezyen koordinat sisteminde olduğu gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_{1-m_j} x H_{1j} \\ \ddots \\ M_D \text{ kg} x D_{i-m_j} x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \ddots \\ D_i \end{bmatrix} x \frac{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} + ???$$

$$\frac{M_D \text{ kg} x D_{i-m_j} x H_{ij}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} - D_i x \frac{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} = ??? \quad (4-21)$$

$$\frac{-m_j x H_{ij} + D_i x m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{-m_j x(H_{ij} - D_i)}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{-m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} x \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \ddots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix} = ??? \quad \text{Temel eleman}$$

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} x D_1 - m_j x H_{1j} \\ \ddots \\ M_D \text{ kg} x D_i - m_j x H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \ddots \\ D_i \end{bmatrix} + \frac{-m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} x \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \ddots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix}$$

Yukarıda pirinç üretim sürecinde temel elemanların bulunması ile ilgili genelleştirilmiş bir formülasyon ortaya konulmaya çalışılmıştır. Konuyla ilgili olarak altı hata kaynağının temel elemanlarının oluşturulması **Tablo 4.14**'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14:Gruplama Sonrası Oluşturulan Altı Adet Gruba Ait Temel Elemanlarının Hesaplanması

Element	1.STTE	2.STTE	3.STTE	4.STTE	5.STTE	6.STTE
<i>Cu</i>	58-58	69.94-58	71-58	57.5-58	64-58	57.5-58
<i>Pb</i>	2-3	0.035-3	3-3	2-3	2.5-3	4-3
<i>Fe</i>	0.015-0.25	0.025-0.25	0.22-0.25	0.6-0.25	0.94-0.25	0.22-0.25
<i>Sn</i>	0.015-0.2	0.025-0.2	1.22-0.2	0.25-0.2	1.22-0.2	1.22-0.2
<i>Al</i>	0.025-0.05	0.005-0.05	0.025-0.05	0.1-0.05	0.125-0.05	0.1-0.05
<i>Ni</i>	0.015-0.25	0.025-0.25	0.22-0.25	0.125-0.25	0.27-0.25	0.22-0.25
<i>Sb</i>	0.01-0.01	0.0005-0.01	0.01-0.01	0.0013-0.01	0.03-0.01	0.0125-0.01
<i>Cu</i>	0	11.94	13	-0.5	6	-0.5
<i>Pb</i>	-1	-2.965	0	-1	-0.5	1
<i>Fe</i>	-0.235	-0.225	-0.03	0.35	0.69	-0.03
<i>Sn</i>	-0.185	-0.175	1.02	0.05	1.02	1.02
<i>Al</i>	-0.025	-0.045	-0.025	0.05	0.075	0.05
<i>Ni</i>	-0.235	-0.225	-0.03	-0.125	0.02	-0.03
<i>Sb</i>	0	-0.0095	0	-0.0087	0.02	0.0025

STTG yönteminden çalışmamızda kullanılan matematik modelde bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ne olacağı şu ana kadar yapılan hesaplamalar ile belirlenmiş durumdadır. Ancak şu ana kadar hangi bağımlı ve bağımsız değişkenlerin uygun olduğu ile ilgili herhangi bir analiz yapılmamıştır. Ancak regresyon temeline dayanan çok değişkenli yöntemlerin ilk adımı çalışmaya alınacak uygun bağımlı ve bağımsız değişkenlerin belirlenmesidir. Her iki tür değişkenin belirlenmesi kavramsal ve kuramsal temellere dayandırılmalıdır. Araştırmacıların kendi yargılarını ve bilgi birikimini ortaya koymadan belirleme yaptığı durumlarda model geliştirmenin bazı

temel ilkelerinin dikkate alınmadığı söylenebilir. Regresyon çözümlemesinde bağımlı değişkenin seçilmesinde önemli bir sorun değişkende ortaya çıkan sorun ölçüm hatası sorunudur. Ölçüm hataları, veri girişi hatalarından ölçümlerin kararsızlığına kadar birçok nedenle ortaya çıkabilir. Yapılan çalışmada bağımlı değişkende ölçüm hatasının yapılmadığı kabul edilmektedir. Bağımsız değişkenlerin seçiminde ise önemli sorun birçok değişken arasından ilgisiz değişkenlerin modele alınması ilgili değişkenlerin ise model dışı bırakılmasıdır.

Regresyon çözümlemesine başlamadan önce tüm değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin incelenmesinde yarar vardır. Böylece bağımsız değişkenler arasında kuvvetli ilişki olup olmadığı kolayca incelenebilir. Çünkü bağımsız değişkenler arasında yüksek ilişki olması çoklu regresyonun önemli sorunlarından biri olan çoklu bağlantı sorununa neden olmaktadır. Ayrıca bir değişkenin çoklu regresyon modelinde göreceli olarak neden önemsiz olduğu konusunda da bu matristen yararlanabilir. Önemsizliğin nedeni, ilgili değişkenin bağımlı değişken ile ilişkisinin olmaması olabileceği gibi bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek ilişki göstermesi de olabilir.

STTG yönteminin teorik kısmı ikinci bölümde anlatılırken söz konusu yöntemin istenilen en önemli özelliğinin temel elemanlar arasında ortogonallik olduğu belirtilmişti. Çünkü temel elemanlar arasında bu ortogonallik olması durumunda STTG katsayıları etkin olmakta ve yorumu kolaylaştırmaktadır. Değişkenler arasında ortogonalliğin bozulması yani ilişki olması durumunda çoklu bağlantı sorunu gündeme gelmektedir. Bu da kurulan regresyon modeli ile yapılacak çıkarsamalarda yanlış yönlendirmelere ve hatalara neden olur. Örneğin verilerde çok küçük bir değişiklik yapıldığında katsayılar da büyük değişiklikler olur.

Çoklu bağlantının değerlendirilmesi için literatürde mevcut ve en çok kullanılan göstergeler süreç tabanlı temel gösterimleri kısmında anlatılmıştır. Ancak söz konusu yöntemlerden kısaca bahsedecek olursak faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çoklu bağlantıyı saptayabilmek için literatürde farklı teknikler önerilmiştir. Bu yöntemler korelasyon matrisinin incelenmesi, varyans şişirme değerleri, $(A'A)$ 'nın özdeğer-özvektör analizi, $(A'A)$ 'nın determinantının hesaplanması, $(A'A)$ 'nın koşul sayısının ve indislerinin belirlenmesi, varyans ayrışım oranları, bazı durumlarda temel katsayıların işaretleri ve büyüklüklerinin incelenmesi gibi yöntemlerdir. Bu yöntemlerin

istenen özellikleri, çoklu bağlantı sorunun boyutunu gösterebilme ve hangi bağımsız değişkenleri dâhil olduğunu belirlemeye yardımcı olacak bilgi sağlayabilmedir.

Çoklu bağlantıyı saptamada kullanılan göstergelerden birincisi temel elemanlar arasındaki korelasyon katsayısıdır. En basit şekilde iki temel eleman arasındaki korelasyon katsayısının bire yakın olması (*yaklaşık 0.8'in üzerinde olması*) çoklu bağlantının yüksek olduğuna bir işarettir.

Çoklu bağlantıyı saptamada kullanılan göstergelerden ikincisi, varyans şişirme değerleridir. Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin tersinin köşegen öğelerine varyans şişirme değerleri denmektedir. Varyans şişirme değerleri, iki veya daha fazla çoklu bağlantının varlığını göstermede yararlı olabilecek en iyi ölçütlerden birisidir. Varyans şişirme değerinin, beşin altında olması zayıf çoklu bağlantının, beş ile otuzun arasında olması orta derecede çoklu bağlantının ve otuzun üzerinde olması ise çok güçlü çoklu bağlantının olduğunun göstergesidir (Padilla, 2005, Gujarati, 1995).

Çoklu bağlantıyı saptamada kullanılan göstergelerden üçüncüsü korelasyon matrisine ilişkin özdeğerlerinin incelenmesidir. Temel elemanlarda bir veya daha fazla yakın doğrusal bağımlılık olduğunda temel elemanlar korelasyon matrisinin özdeğerlerinin biri veya daha fazlasının değeri sıfır veya sıfıra yakın olur. Bu kapsamda geliştirilmiş çeşitli yöntemler olmasına rağmen sıklıkla kullanılan iki yöntem vardır. Bu yöntemlerden bir tanesi bulunan özdeğerlerinin terslerinin toplamının değişken sayısına eşit olmasıdır. Çoklu bağlantının olması durumunda bu değer çok büyük değerlere ulaşır. Diğer yöntem ise özdeğer yelpazesindeki yayılımın bir ölçüsü olan durum ya da koşul sayısı olarak adlandırılır. Bu değer temel elemanları korelasyon matrisinde elde edilen en büyük özdeğerin en küçük özdeğere bölünmesi ile bulunur. Bulunacak bu rakam eğer 100'ün altında olacak olursa çoklu bağlantının olmadığı, 100 ile 1000 arasında olması orta dereceli bir çoklu bağlantının olduğunu ve 1000'in üzerinde olması ise ciddi çoklu bağlantının olduğunun bir göstergesidir.

Buraya kadar literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Diğer tanılama yöntemleri de bu yöntemler kadar önemlidir. Bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgilere Montgomery, Peck ve Vining (2012) tarafından hazırlanan eserden ulaşılabilir.

Çoklu doğrusallığın varlığının saptanması aslında işin yarısıdır. İşin öbür yarısı ise çoklu bağlantının nasıl giderileceğidir. Tanılama yöntemlerinde olduğu gibi burada da kesin bir yöntem yoktur. Yalnızca bazı gevşek kurallar bulunmaktadır. Bu kurallardan bazıları, önsel bilgilerden yararlanmak, kesit ve zaman serilerini bir araya getirmek, yüksek ortak doğrusallık gösteren bir değişkeni dışlamak, verileri dönüştürmek, faktör analizi (Gujarati, 1995), ek veya yeni veri toplamak, ridge regresyonu ve temel bileşenler regresyonu (Montgomery, Peck ve Vining, 2012) gibi yöntemlerdir. Bu kurallardan hangisinin işe yarayacağı, kuşkusuz verinin niteliğine ve ortak doğrusallık sorununun ciddiliğine bağlıdır.(Gujarati, 1995)

Literatürde ridge regresyonu, temel bileşenler regresyonu ile faktör analizine yanlı kestiriciler denmektedir. Yanlı kestiricileri incelemek ve hangi işlemlerin en iyi şekilde işlediğini belirlemeye yönelik Monte Carlo benzetim çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda örnek olarak Hoerl ve Kennard (1970)'in en küçük kareler ve ridge regresyonunu karşılaştırdığı çalışma ve Gunst ve Mason (1977)'in ridge regresyonu, temel bileşenler regresyonu ve gizil kök yöntemini karşılaştırdığı çalışma verilebilir. Ancak yapılan bu çalışmalarda ortaya tek bir en iyi yöntem çıkmazken yanlı yöntemlerin en küçük karelerden üstün olduğu çok kez ortaya konmuştur. Ayrıca, Padilla (2005) tarafından yapılan çalışmada, yanlı tahmin tekniklerinden elde edilen STTG katsayıları karşılaştırılmıştır.

Daha önce belirtildiği üzere yukarıda anlatılan yöntemlerden bir tanesi değişkenler arasında korelasyona bakmaktır. En basit şekilde iki değişken arasındaki korelasyon katsayısının bire yakın olması (*yaklaşık 0.8'in üzerinde olması*) çoklu bağlantının olabileceğini düşündürür. Bu kapsamda altı temel eleman arasındaki korelasyon matrisi **Tablo 4.15'**de yer almaktadır.

Tablo 4.15:Altı Adet STTE Arasındaki Korelasyon Matrisi

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,497 & 0,309 & 0,694 & 0,402 & -0,67 \\ 0,497 & 1 & 0,976 & -0,12 & 0,982 & -0,65 \\ 0,309 & 0,976 & 1 & -0,31 & 0,984 & -0,50 \\ 0,694 & -0,12 & -0,31 & 1 & -0,16 & -0,29 \\ 0,402 & 0,982 & 0,984 & -0,16 & 1 & -0,52 \\ -0,67 & -0,65 & -0,50 & -0,29 & -0,52 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablo 4.15'de yer alan temel elemanlar arasındaki korelasyon matrisi incelendiğinde ikinci ve üçüncü hurda/hata kaynakları arasında (0,976), ikinci ve

beşinci hurda/hata kaynakları arasında (0,982) ve üçüncü ve beşinci hurda/hata kaynakları arasında (0,984) çok yüksek ilişki bulunmaktadır. Dolayısıyla bu hata kaynakları arasında bulunan bu yüksek ilişkiden kaynaklanan modelde bu değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin olduğuna dair bir delil elde edilmiştir.

Çoklu bağlantının göstergelerinden diğeri varyans şişme değerleridir. Varyans şişme değerleri (*VIF*), iki veya daha fazla çoklu bağlantının varlığını göstermede yararlı olabilecek en iyi ölçütlerden birisidir. Bu kapsamda altı temel eleman arasındaki korelasyon matrisinin cebirsel tersi, **Tablo 4.16**'da yer almaktadır.

Tablo 4.16:Altı Temel STTE Arasındaki Korelasyon Matrisinin Cebirsel Ters Matrisi

$$V = \begin{bmatrix} \mathbf{536} & -1611 & -1812 & -787 & 2844 & -337 \\ -1611 & \mathbf{6681} & 1714 & 1746 & -6734 & 1101 \\ -1812 & 1714 & \mathbf{14177} & 4014 & -13732 & 1005 \\ -787 & 1746 & 4014 & \mathbf{1385} & -4874 & 475 \\ 2844 & -6734 & -13732 & -4874 & \mathbf{17279} & -1741 \\ -337 & 1101 & 1005 & 475 & -1741 & \mathbf{221} \end{bmatrix}$$

Tablo 4.16'nın köşegen değerleri bize *VIF* değerlerini vermektedir. *VIF* değerleri incelendiğinde bütün değişkenlerin *VIF* değerinin otuzun üzerinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bütün değişkenler çok yüksek çoklu bağlantıdan etkilendiği sonucuna varılır. En az etkilenen değişken altıncı temel eleman en çok etkilenen ise üçüncü temel elemandır.

Çoklu bağlantının göstergelerinden diğeri korelasyon matrisine ilişkin özdeğerlerinin incelenmesidir. Bu kapsamda temel elemanlar korelasyon matrisinden elde edilen özdeğerler **Tablo 4.17** 'da yer almaktadır.

Tablo 4.17:Altı Adet STTE'lere Ait Özdeğerler

1.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.673
2.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	1.834
3.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.778*e-01
4.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	1.136*e-01
5.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	1.392*e-04
6.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.022e-05

Birinci yönteme göre hesaplanacak olunursa, $1/3.673+1/1.834+1/3.778*e-01+1/1.136*e-01+1/1.392*e-04+1/3.022e-05=40286.84$ değerine ulaşılır. Bu değer değişken sayısı olan 6 değerinin oldukça üzerindedir. Koşul indeksi ise $3.673/3.022e-05=121535$ şeklinde hesaplanır. Bu duruma bakıldığında beşinci ve altıncı

hurda/hata kaynaklarının değerlerinin sıfıra yakın olması, özdeğerlerinin terslerinin toplamı 6 değerinin çok üzerinde olması ve koşul indeksinin değerinin 1000'den büyük olması çoklu bağlantının var olduğunu bir diğer göstergesidir.

Bir diğer çoklu bağlantının ölçüsü değişkenler arasındaki korelasyon matrisinin determinantına bakılmasıdır. Elde edilen değer bire yakınsa çoklu bağlantının olmadığını ve sıfıra yakınsa çoklu bağlantının olduğunu ortaya koyar. Temel elemanlar korelasyon matrisinin determinanı alındığında **1.218114e-09** değeri elde edilir. Dolayısıyla modelimizde çoklu bağlantı olduğunu gösterir.

Çoklu bağlantının giderilmesi için önerilen birçok yöntem ile ilgili detaylı bilgiler çalışmanın ikinci bölümünde verilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları **veriye yeni gözlemlerin eklenmesi, modelin yeniden belirlenmesi** ve **en küçük kareler yöntemi dışında diğer kestirim yöntemlerinin kullanılmasıdır**.

Doğrusal bağlantının bulunduğu durumlarda değişken seçim yöntemleri çok önemlidir. Değişken seçimi çoklu bağlantının giderilmesini garanti etmez.

Çoklu bağlantının bağımsız değişkenler arasındaki gerçek ilişki nedeniyle ortaya çıktığı durumlarda diğer bir deyişle, sorunun bir örnekleme sorunu olmadığı durumlarda önerilen yöntemlerden birisi, çoklu bağlantılı değişkenlerden birisi veya daha fazlasını modelden çıkarmak başka bir deyişle değişken seçimi yapmaktır. Ancak modelden değişken çıkartma yönteminde örneklemin evreni temsil etmemesi nedeniyle ortaya çıkan durumlarda kullanılmamalıdır. Çünkü modele gerçekten katkı yapabilecek bir değişken çoklu bağlantı nedeniyle model dışı bırakılabilir. Bu kapsamda çalışmamızda ortaya konan modelde değişkenlerin *VIF* değerlerine, değişkenler arasındaki korelasyon yapısına ve özdeğerlere bakılarak yapılan değerlendirme sonucunda modelde ciddi çoklu bağlantı sorununun olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Tablo 4.15'de yer alan korelasyon matrisine göre modelden değişken çıkarma yöntemi uygulandığında yani modelden çoklu bağlantıya sebep veren ikinci ve beşinci hurda/hata kaynakları çıkartıldığında elde edilen korelasyon matrisi, *VIF* değerleri ve özdeğerler **Tablo 4.18**, **Tablo 4.19**, **Tablo 4.20** ve **Tablo 4.21**'de sunulmuştur.

Tablo 4.18:Dört Adet STTE'nin Arasındaki Korelasyon Değerleri

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,309 & 0,694 & -0,673 \\ 0,309 & 1 & -0,315 & -0,506 \\ 0,694 & -0,315 & 1 & -0,292 \\ -0,673 & -0,506 & -0,292 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablo 4.19:Dört Adet STTE'nin *VIF* Değerleri

$$V = \begin{bmatrix} 5.462 & -2.350 & -4.157 & 1.270 \\ -2.35 & 2.972 & 2.78 & 0.735 \\ -4.157 & 2.78 & 4.758 & 0.0007 \\ 1.27 & 0.735 & 0.0007 & 2.227 \end{bmatrix}$$

Tablo 4.20:Dört Adet STTE'nin Özdeğerleri

1.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	10.959
3.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.289
4.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	0.719
6.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	0.451

Tablo 4.21:Dört Adet STTE'nin Koşul İndeksi

1/10.959+1/3.289+1/0.719+1/0.451	4.003
----------------------------------	-------

Ayrıca yeni temel elemanlar korelasyon matrisinin determinantı ise **0.08538267** olarak bulunur. Bu değer altı temel elemanın bulunduğu korelasyon matrisi ile karşılaştırıldığında yeni oluşturulan temel elemanlar korelasyon matrisinin determinantı altı temel elemanlı korelasyon matrisinin determinantına ($1.218114e-09$) göre 1 değerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Temel elemanlar matrisinden iki adet temel eleman çıkartıldığında temel elemanlar arasında oluşan korelasyon matrisi elemanları arasında yüksek korelasyon değerlerinin olmadığı görülmüş ve bu kapsamda oluşan yeni STTE'ler **Tablo 4.22**'de sunulmuştur.

Tablo 22:Dört Adet STTE Matrisinin Elemanları ve Değerleri

STTE -1	MS 58 (Ara iş)
STTE -3	Hurda Radyatör
STTE -4	Reganya Toprak
STTE -6	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı Harici Pirinç ve Bronz Hurdası

Tablo 22 (Devamı): Dört Adet STTE Matrisinin Elemanları ve Değerleri

Element	1. STTE	2. STTE	3. STTE	4. STTE
<i>Cu</i>	0	13	-0.5	-0.5
<i>Pb</i>	-1	0	-1	1
<i>Fe</i>	-0.235	-0.03	0.35	-0.03
<i>Sn</i>	-0.185	1.02	0.05	1.02
<i>Al</i>	-0.025	-0.025	0.05	0.05
<i>Ni</i>	-0.235	-0.03	-0.125	-0.03
<i>Sb</i>	0	0	-0.0087	0.0025

4.3.10. Model Yeterliliğinin ve Geçerliliğinin Kontrolü

4.3.10.1. Model Yeterliliğinin Kontrolü

Çalışmamızda kullanılan STTG yöntemindeki ikinci matematiksel model basit sıfır noktasından yani orjinden geçen çoklu regresyon analizi temeline dayanmaktadır. Regresyon çözümlemesi sonucunda kurulan modelin doğru olduğu biliniyorsa daha ileri bir analize girilmeden sonlandırılabilir. Ancak, yine de elde edilen sonuçlar üzerinde dikkatli bir denetim yapmadan kurulan modeli kullanmamak gerekir. Dolayısıyla matematiksel modelin kurulmasından sonra modelin geçerliliğinin ve güvenilirliğinin regresyon analizinde uygulanan yöntemlere dayalı olarak yapılması gerekmektedir. Bu bölümde modelin eldeki veriye uyup uymadığını araştırmak için modelin yeterliliği ve modelin ölçmek istediği şeyi ölçüp ölçmediğini incelemek için modelin geçerliliği araştırılacaktır. Regresyon analizinde bir modelin yeterliliği için uygulanan yöntemler **açıklayıcılık katsayılarının bulunması, hata terimlerinin incelenmesi, değişen varyans sorunun olup olmadığının incelenmesi, hata teriminin normal dağılım gösterip göstermediğinin incelenmesi, çoklu bağlantı sorununun olup olmadığının saptanması, hata terimlerinin ilişkili olup olmadığının saptanması** ile ilgili yöntemlerdir ve bir modelin geçerliliğinin uygun şekilde yapılması **modelin katsayılarının büyüklük ve işaretlerinin beklenenler çerçevesinde olup olmadığının incelenmesi ve modelin kestirim performansı açısından incelenmesi** aşamalarını içerir. Modelin geçerliliğinin incelenmesi aşamasında *VIF* değerleri ile diğer çoklu bağlantı ölçüleri oldukça önemli rolleri vardır.

Çalışmamız kapsamında 334 adet çok değişkenli kalite vektörünün (**Ek 10**) olmasından dolayı STTE matrisi kullanılarak 334 adet model kurulmuştur. Regresyon çözümlemesine dayalı olarak kurulan modelin yeterliliğinin kontrol edilmesi gereken

incelemelerden birisi de önceki bölümlerde de belirtildiği üzere modellerin belirtme katsayılarına bakmaktır. Kurulan 334 adet modelin hesaplanan 334 adet belirtme katsayıları **Tablo 4.23**'dedir.

Tablo 4.23:STTG Katsayıları Faz II Aşaması Belirtme Katsayıları

R_1	0.995	R_{49}	0.986	R_{97}	0.996	R_{145}	0.990	R_{193}	0.939	R_{241}	0.993	R_{289}	0.992
R_2	0.988	R_{50}	0.868	R_{98}	0.998	R_{146}	0.995	R_{194}	0.999	R_{242}	0.995	R_{290}	0.971
R_3	0.976	R_{51}	0.723	R_{99}	0.979	R_{147}	0.986	R_{195}	0.998	R_{243}	0.999	R_{291}	0.984
R_4	0.965	R_{52}	0.995	R_{100}	0.961	R_{148}	0.993	R_{196}	0.993	R_{244}	0.999	R_{292}	0.943
R_5	0.996	R_{53}	0.993	R_{101}	0.988	R_{149}	0.995	R_{197}	0.999	R_{245}	0.998	R_{293}	0.820
R_6	0.999	R_{54}	0.996	R_{102}	0.639	R_{150}	0.988	R_{198}	0.946	R_{246}	0.979	R_{294}	0.973
R_7	0.995	R_{55}	0.996	R_{103}	0.972	R_{151}	0.986	R_{199}	0.997	R_{247}	0.996	R_{295}	0.927
R_8	0.999	R_{56}	0.994	R_{104}	0.650	R_{152}	0.965	R_{200}	0.974	R_{248}	0.999	R_{296}	0.971
R_9	0.999	R_{57}	0.997	R_{105}	0.957	R_{153}	0.995	R_{201}	0.997	R_{249}	0.976	R_{297}	0.189
R_{10}	0.266	R_{58}	0.993	R_{106}	0.948	R_{154}	0.991	R_{202}	0.995	R_{250}	0.999	R_{298}	0.222
R_{11}	0.984	R_{59}	0.984	R_{107}	0.417	R_{155}	0.955	R_{203}	0.993	R_{251}	0.966	R_{299}	0.206
R_{12}	0.999	R_{60}	0.933	R_{108}	0.471	R_{156}	0.963	R_{204}	0.981	R_{252}	0.994	R_{300}	0.991
R_{13}	0.995	R_{61}	0.996	R_{109}	0.995	R_{157}	0.990	R_{205}	0.992	R_{253}	0.973	R_{301}	0.953
R_{14}	0.989	R_{62}	0.989	R_{110}	0.991	R_{158}	0.999	R_{206}	0.999	R_{254}	0.944	R_{302}	0.950
R_{15}	0.953	R_{63}	0.518	R_{111}	0.941	R_{159}	0.989	R_{207}	0.997	R_{255}	0.982	R_{303}	0.987
R_{16}	0.966	R_{64}	0.973	R_{112}	0.403	R_{160}	0.987	R_{208}	0.994	R_{256}	0.999	R_{304}	0.962
R_{17}	0.999	R_{65}	0.973	R_{113}	0.967	R_{161}	0.998	R_{209}	0.999	R_{257}	0.995	R_{305}	0.959
R_{18}	0.992	R_{66}	0.974	R_{114}	0.974	R_{162}	0.999	R_{210}	0.997	R_{258}	0.997	R_{306}	0.987
R_{19}	0.994	R_{67}	0.940	R_{115}	0.991	R_{163}	0.985	R_{211}	0.985	R_{259}	0.985	R_{307}	0.989
R_{20}	0.994	R_{68}	0.401	R_{116}	0.985	R_{164}	0.992	R_{212}	0.995	R_{260}	0.957	R_{308}	0.981
R_{21}	0.964	R_{69}	0.992	R_{117}	0.975	R_{165}	0.993	R_{213}	0.992	R_{261}	0.997	R_{309}	0.997
R_{22}	0.990	R_{70}	0.995	R_{118}	0.998	R_{166}	0.996	R_{214}	0.992	R_{262}	0.995	R_{310}	0.999
R_{23}	0.993	R_{71}	0.998	R_{119}	0.878	R_{167}	0.991	R_{215}	0.915	R_{263}	0.999	R_{311}	0.980
R_{24}	0.978	R_{72}	0.996	R_{120}	0.994	R_{168}	0.980	R_{216}	0.996	R_{264}	0.994	R_{312}	0.988
R_{25}	0.992	R_{73}	0.992	R_{121}	0.965	R_{169}	0.971	R_{217}	0.998	R_{265}	0.993	R_{313}	0.990
R_{26}	0.993	R_{74}	0.992	R_{122}	0.975	R_{170}	0.993	R_{218}	0.993	R_{266}	0.997	R_{314}	0.984
R_{27}	0.991	R_{75}	0.952	R_{123}	0.982	R_{171}	0.991	R_{219}	0.999	R_{267}	0.996	R_{315}	0.983
R_{28}	0.999	R_{76}	0.957	R_{124}	0.992	R_{172}	0.995	R_{220}	0.999	R_{268}	0.979	R_{316}	0.985
R_{29}	0.996	R_{77}	0.797	R_{125}	0.941	R_{173}	0.985	R_{221}	0.997	R_{269}	0.964	R_{317}	0.985
R_{30}	0.971	R_{78}	0.958	R_{126}	0.997	R_{174}	0.993	R_{222}	0.986	R_{270}	0.223	R_{318}	0.961
R_{31}	0.990	R_{79}	0.956	R_{127}	0.998	R_{175}	0.992	R_{223}	0.991	R_{271}	0.952	R_{319}	0.934
R_{32}	0.988	R_{80}	0.999	R_{128}	0.999	R_{176}	0.937	R_{224}	0.934	R_{272}	0.212	R_{320}	0.964

R_{33}	0.999	R_{81}	0.993	R_{129}	0.999	R_{177}	0.994	R_{225}	0.981	R_{273}	0.753	R_{321}	0.997
R_{34}	0.996	R_{82}	0.993	R_{130}	0.990	R_{178}	0.999	R_{226}	0.994	R_{274}	0.999	R_{322}	0.982
R_{35}	0.998	R_{83}	0.937	R_{131}	0.958	R_{179}	0.998	R_{227}	0.993	R_{275}	0.988	R_{323}	0.972
R_{36}	0.992	R_{84}	0.810	R_{132}	0.968	R_{180}	0.931	R_{228}	0.997	R_{276}	0.998	R_{324}	0.988
R_{37}	0.937	R_{85}	0.993	R_{133}	0.945	R_{181}	0.952	R_{229}	0.999	R_{277}	0.958	R_{325}	0.925
R_{38}	0.999	R_{86}	0.992	R_{134}	0.955	R_{182}	0.997	R_{230}	0.997	R_{278}	0.180	R_{326}	0.940
R_{39}	0.992	R_{87}	0.968	R_{135}	0.979	R_{183}	0.999	R_{231}	0.998	R_{279}	0.642	R_{327}	0.829
R_{40}	0.995	R_{88}	0.972	R_{136}	0.972	R_{184}	0.994	R_{232}	0.949	R_{280}	0.976	R_{328}	0.716
R_{41}	0.992	R_{89}	0.275	R_{137}	0.998	R_{185}	0.988	R_{233}	0.857	R_{281}	0.978	R_{329}	0.976
R_{42}	0.926	R_{90}	0.945	R_{138}	0.998	R_{186}	0.953	R_{234}	0.936	R_{282}	0.982	R_{330}	0.999
R_{43}	0.975	R_{91}	0.999	R_{139}	0.994	R_{187}	0.936	R_{235}	0.998	R_{283}	0.980	R_{331}	0.976
R_{44}	0.994	R_{92}	0.991	R_{140}	0.997	R_{188}	0.999	R_{236}	0.999	R_{284}	0.982	R_{332}	0.486
R_{45}	0.999	R_{93}	0.970	R_{141}	0.985	R_{189}	0.997	R_{237}	0.993	R_{285}	0.999	R_{333}	0.950
R_{46}	0.988	R_{94}	0.984	R_{142}	0.988	R_{190}	0.994	R_{238}	0.994	R_{286}	0.938	R_{334}	0.937
R_{47}	0.993	R_{95}	0.995	R_{143}	0.995	R_{191}	0.939	R_{239}	0.835	R_{287}	0.948		
R_{48}	0.998	R_{96}	0.999	R_{144}	0.995	R_{192}	0.973	R_{240}	0.987	R_{288}	0.962		

Yukarıda yer alan belirtme katsayıları incelendiğinde 29 adet belirtme katsayıları dışındaki diğer katsayılar 0.9'un üzerindedir. Belirtme sayıları değerleri açısından önerilen matematiksel modelin pirinç fabrikası verilerinde oldukça uyduğunu göstermektedir.

Kurulan modelin yeterliliği ile ilgili diğer önemli konu hata teriminin ortalaması sıfır, sabit varyanslı ve bağımsız olmasıdır. Bu kapsamda hata terimlerinin ortalamasının sıfırdan farklı olup olmadığı ile ilgili 334 adet model için kurulan hipotez testleri aşağıda sunulmuştur.

$$H_0:\mu_1 = 0 \quad H_0:\mu_2 = 0 \quad \dots\dots\dots H_0:\mu_{334} = 0$$

$$H_1:\mu_1 \neq 0 \quad H_1:\mu_2 \neq 0 \quad \dots\dots\dots H_1:\mu_{334} \neq 0$$

Her bir hipotez testinin 7 serbestlik dereceli ve 0.05 anlamlılık seviyesinde t testi ile yapılan hesaplamalarda hesaplanan bütün test istatistiklerinin kritik değerlerden küçük değerler aldığı ve bu kapsamda H_0 hipotezlerinin reddedilemeyeceği yani anlamlı bulunduğu ve H_0 hipotezlerinin kabul edilebileceği tespit edilmiştir. Yani hata

terimlerinin ortalamasının sıfır ortalamalı olduğu ve regresyon analizinin varsayımlarından biri olan “*hata teriminin sıfır ortalamalı olduğu*” varsayımının sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Hata terimlerinin bağımsız olduğu ve normal dağıldığı ile ilgili testler ise Barton ve Gonzalez (1996) tarafından inceleme yöntemi ile test edilmiştir.

Kurulan modelin yeterliliği ile ilgili bakılacak göstergeler bir diğeri, **hata terimleri ile çok değişkenli kalite vektörlerinin korelasyon matrislerinin incelenmesidir**. Hata terimleri ile çok değişkenli kalite vektörlerinin korelasyon matrisleri **Tablo 4.24** ve **Tablo 4.25**'dedir.

Tablo 4.24:Kalite Vektörleri Korelasyon Matrisi

1	-0.042	0.025	0.054	-0.004	0.065	0.010
-0.042	1	0.147	0.207	-0.028	0.247	0.251
0.025	0.147	1	0.149	0.134	0.36	0.016
0.054	0.207	0.149	1	-0.003	0.412	0.296
-0.004	-0.028	0.134	-0.003	1	0.120	-0.014
0.065	0.247	0.36	0.412	0.120	1	0.378
0.010	0.251	0.016	0.296	-0.014	0.378	1

Tablo 4.25:Hata Terimi Korelasyon Matrisi

1	0.477	0.113	0.543	0.187	0.074	-0.020
0.477	1	0.28	-0.154	-0.315	0.405	0.010
0.113	0.28	1	0.016	-0.174	0.804	-0.182
0.543	-0.154	0.016	1	0.539	-0.174	0.010
0.187	-0.315	-0.174	0.539	1	-0.599	0.046
0.074	0.405	0.804	-0.174	-0.599	1	-0.131
-0.020	0.010	-0.182	0.010	0.046	-0.131	1

Yukarıda yer alan korelasyon matrisleri incelendiğinde bazı elementlerin değerleri arasında düşük düzeyde bir ilişkinin olduğunu (Alpar, 2012:48) göstermektedir. Diğerlerinin ise hemen hemen bağımsızlık düzeyinde değerlere sahip olduğunu görüyoruz. Hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığı ile ilgili olarak yapılan anlamlılık testleri aşağıda sunulmuştur.

Kalite vektörlerinin elemanları arasındaki korelasyon katsayıları ile ilgili olarak;

$$H_0: \rho_{CuPb} = 0 \quad H_0: \rho_{CuFe} = 0 \quad \dots\dots\dots H_0: \rho_{NiSb} = 0$$

$$H_1: \rho_{CuPb} \neq 0 \quad H_1: \rho_{CuFe} \neq 0 \quad \dots\dots\dots H_1: \rho_{NiSb} \neq 0$$

Hata terimlerinin elemanları arasındaki korelasyon katsayıları ile ilgili olarak;

$$H_0: \rho_{CuPb} = 0 \quad H_0: \rho_{CuFe} = 0 \quad \dots\dots\dots H_0: \rho_{NiSb} = 0$$

$$H_1: \rho_{CuPb} \neq 0 \quad H_1: \rho_{CuFe} \neq 0 \quad \dots\dots\dots H_1: \rho_{NiSb} \neq 0$$

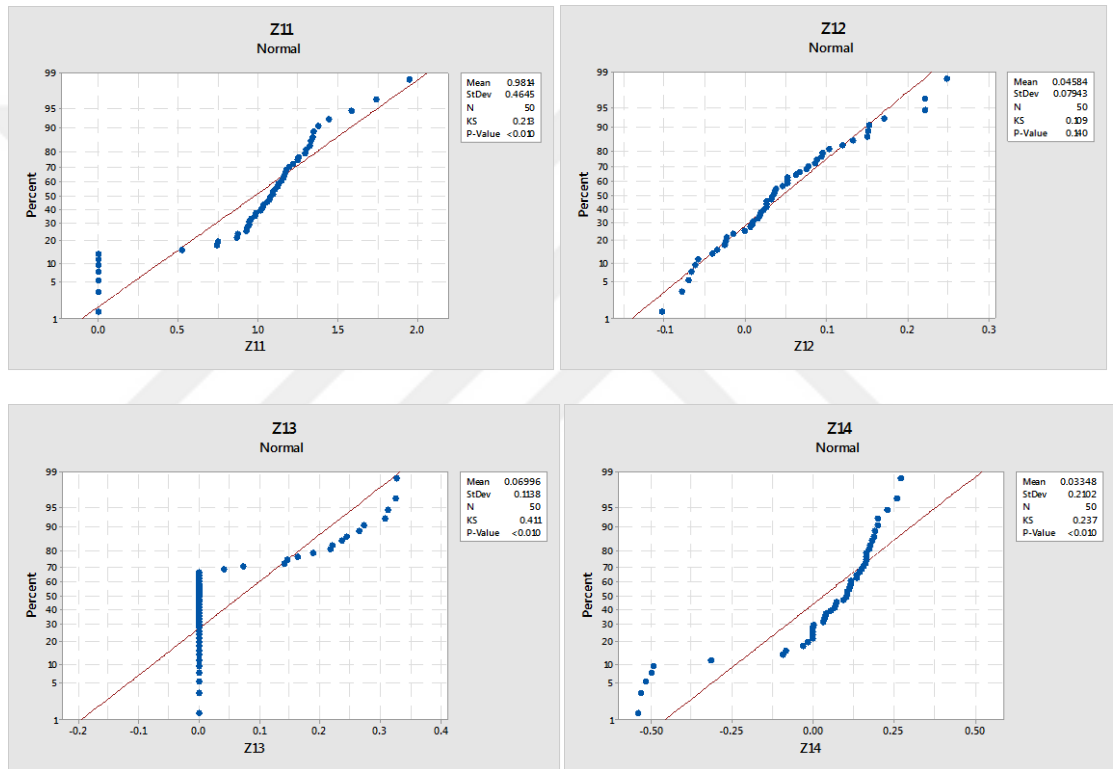
Hem kalite vektörlerinin elemanları arasındaki korelasyon katsayıları hem de hata terimlerinin elemanları arasındaki korelasyon katsayıları ile ilgili olarak kurulan her bir hipotez testinin 334 serbestlik dereceli ve 0.05 anlamlılık seviyesinde Z testi ile yapılan hesaplamalarda, hesaplanan bütün test istatistiklerinin kritik değerlerden küçük değerler aldığı ve bu kapsamda H_0 hipotezlerinin reddedilemeyeceği yani anlamlı bulunduğu ve H_0 hipotezlerinin kabul edilebileceği tespit edilmiştir.

4.3.10.2. Model Geçerliliğinin Kontrol Edilmesi

Regresyon analizinde model geçerliliği, amaçlanan çalışma ortamında modelin başarılı bir fonksiyon olup olmadığına karar vermeye yönlendiren bir incelemedir. Bu kapsamda STTG yöntemindeki en küçük kareler ile hesaplanan matematiksel modelin pirinç üretim süreci için uygun bir fonksiyon olup olmadığı kontrol edilecektir. Bu kapsamda ilk olarak katsayıların işaretleri incelendiğinde artı işareti o hurda cinsinden fazla atılmayı ve eksi işareti o hurda cinsinden eksik atılmayı simgelemektedir. Her bir hurda cinsinden çalışanlar şarja hurdalardan eksik veya fazla atabilme kabiliyetine sahip olmalarından dolayı katsayıların eksi veya artı olabilir. Dolayısıyla bu incelemenin, kurulan modelde çok anlamlı olmadığı görülmüştür. Modelin yeterliliği ile ilgili olarak diğer bir kıstas modeldeki STTE'ler arasındaki *VIF* değerlerine bakmaktır. Modelin yeterliliği ile ilgili olarak çoklu bağlantı problemi incelendiğinde, çoklu bağlantı problemi ortadan kaldırıldığından, yani *VIF* değerlerinin 5 ile 10 değerleri arasında olduğundan dolayı bu kriterlere göre modelin pirinç üretim süreci açısından geçerli bir model olduğuna karar verilir. Kurulan modelin amacı kestirim olmadığından dolayı söz konusu modelin geçerliliğin kontrolü için yapılması gereken diğer kontrollerden yeni gözlem verisi toplama ve modelin kestirim için test edilmesi ve verileri yarıya bölme işlemleri bu çalışmada yapılmamıştır.

4.3.11. STTG Katsayılarının I , MR , $EWMA$ ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri İle İzlenmesi

STTG katsayılarının hesaplanması amacıyla R dilinde yapılan kodlamalar Ek 11'dedir. Bu kodlar ile Faz I ve Faz II için elde edilen değerler ise Ek 12'de ve Ek 13'de yer almaktadır. STTG katsayılarının STTG katsayılarının kontrol grafiklerinde izlenebilmesi için öncelikle tek değişkenli normallik varsayımını sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda her bir katsayı için oluşturulan $Q-Q$ normallik grafikleri **Grafik 4.8**'dedir.



Grafik 4.8: STTG Katsayıları İçin Oluşturulan $Q-Q$ Grafikleri

Grafikler incelendiğinde STTG katsayılarının üçüncüsü hariç diğerlerinin bir çizginin etrafında uygun şekilde dağılım göstermesinden dolayı normal dağıldığı söylenir. Ancak üçüncü STTG katsayısının ise normal dağılım göstermesi için log dönüşüm uygulanmış ve tekrar $Q-Q$ grafiği çizilerek normal dağılım gösterdiği teyit edilmiştir. Müteakiben katsayıların çok değişkenli normallikle ilgili gerekli kontroller yapılmış ve katsayıların çok değişkenli normal dağıldığı teyit edilmiştir.

4.3.11.1. *I* ve MR Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi;

4.3.11.1.1. Faz I (*I* Kontrol Grafikleri)

STTG katsayılarının Faz I aşaması için düzenlenen *I* kontrol grafikleri ve bu kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyaller, **Ek 14**'dedir. *I* kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak STTG katsayılarının ortalama değerleri ile standart sapma değerleri ise **Tablo 4.26**'dadır.

Tablo 4.26:STTG Katsayıları için *I* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Parametreleri

$S_{Z_{11}}$	0.1683	$\bar{X}_{Z_{11}}$	1.1213
$S_{Z_{12}}$	0.081035	$\bar{X}_{Z_{12}}$	0.04584
$S_{Z_{13}}$	0.00001	$\bar{X}_{Z_{13}}$	0.000016
$S_{Z_{14}}$	0.08350	$\bar{X}_{Z_{14}}$	0.10361

4.3.11.1.2. Faz I (*MR* Kontrol Grafikleri)

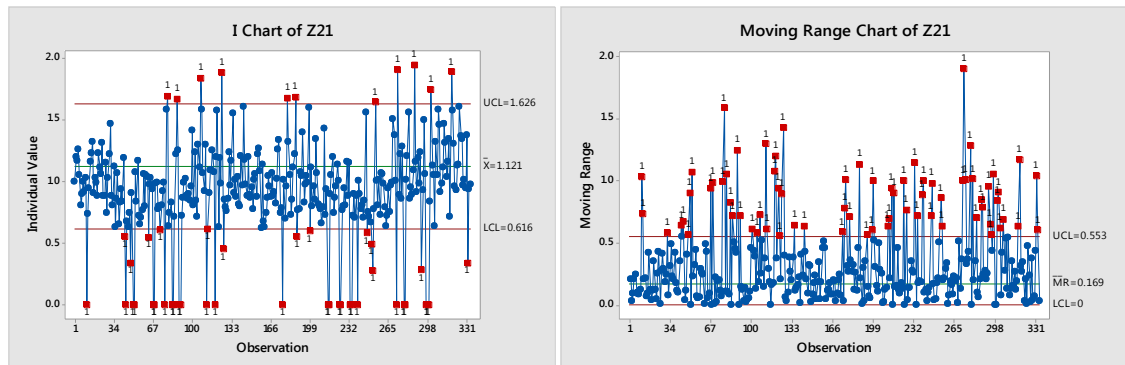
STTG katsayılarının Faz I aşaması için düzenlenen *MR* kontrol grafikleri ve bu kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyaller, **Ek 15**'dedir. *MR* kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak STTG katsayılarının standart sapma değerleri ise **Tablo 4.27**'dedir.

Tablo 4.27:STTG Katsayıları için *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Parametreleri

$S_{Z_{11}}$	0.15005
$S_{Z_{12}}$	0.08103
$S_{Z_{13}}$	0.000012
$S_{Z_{14}}$	0.101882

4.3.11.1.3. Faz II (*I* ve *MR* Kontrol Grafikleri)

4.3.11.1.3.1. Birinci STTG Katsayısı (Z_{21})

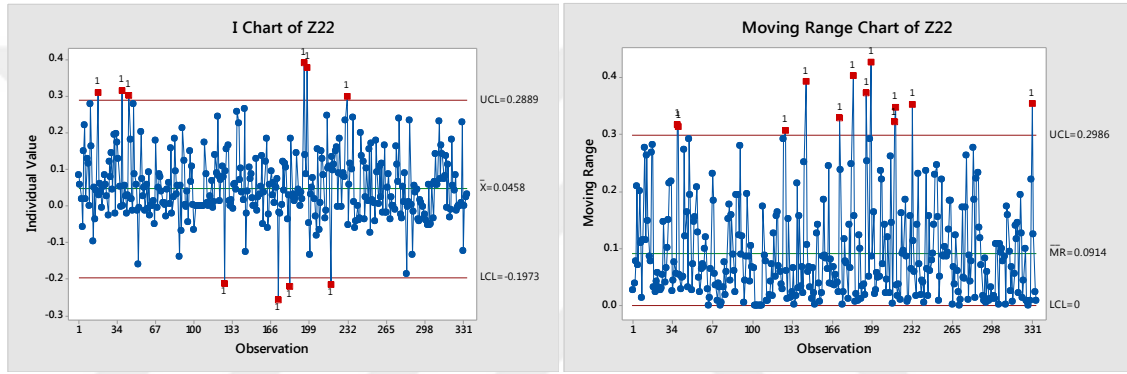


Grafik 4.9:Birinci STTG Katsayısı (Z_{21}) İçin Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

Birinci STTG katsayısı ile ilgili dizayn edilen I ve MR kontrol grafikleri **Grafik 4.9**'da yer almaktadır. I kontrol grafiği incelendiğinde, 51 adet kontrol dışı sinyalin, MR kontrol grafiği incelendiğinde, 72 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirilecek olunursa iki dönemde şarjın içine bu hurda grubundan eksik atıldığı şeklinde bir değerlendirmeye gidilebilir. Kontrol dışı durumlar ile ilgili olarak yorumlar, söz konusu katsayı için dizayn edilen $EWMA$ kontrol grafiğinin durumuna bakılarak müşterek olarak yapılmıştır.

4.3.11.1.3.2. İkinci STTG Katsayısı (Z_{22})

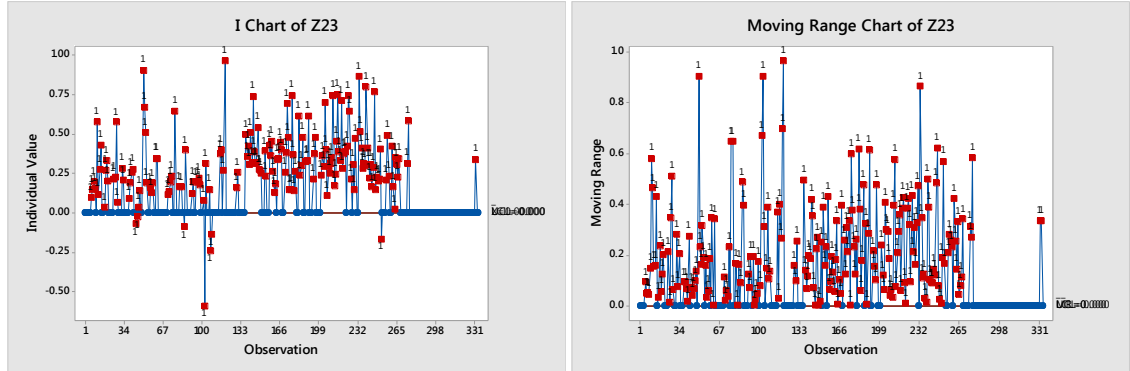


Grafik 4.10: İkinci STTG Katsayısı (Z_{22}) İçin Düzenlenen I ve MR Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

İkinci STTG katsayısı ile ilgili dizayn edilen I ve MR kontrol grafikleri **Grafik 4.10**'da yer almaktadır. I kontrol grafiği incelendiğinde, 10 adet kontrol dışı sinyalin, MR kontrol grafiği incelendiğinde, 54 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirilecek olunursa rastgele zamanlarda ve az sayıda kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol dışı durumlar ile ilgili yorumlar, söz konusu katsayı için dizayn edilen $EWMA$ kontrol grafiğinin durumuna bakılarak müşterek olarak yapılmıştır.

4.3.11.1.3.3. Üçüncü STTG Katsayısı (Z_{23})

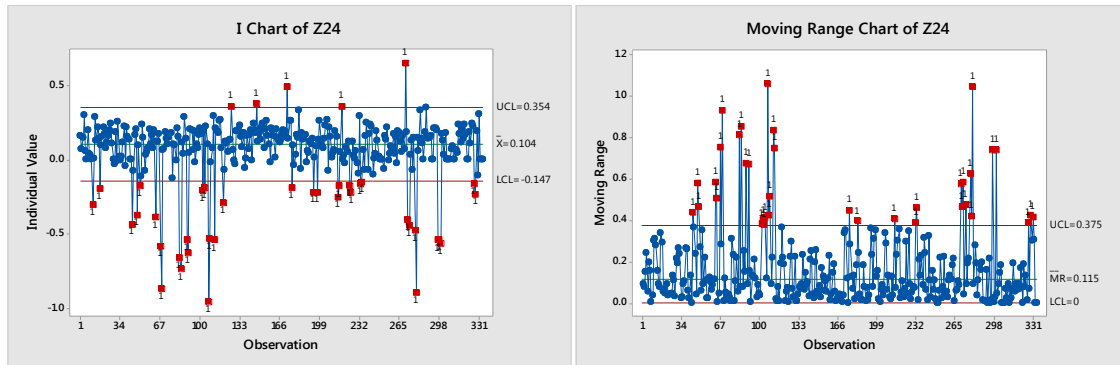


Grafik 4.11:Üçüncü STTG Katsayısı (Z_{23}) İçin Düzenlenen I ve MR Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

Üçüncü STTG katsayısı ile ilgili dizayn edilen I ve MR kontrol grafikleri **Grafik 4.11**'de yer almaktadır. I kontrol grafiği incelendiğinde, 169 adet kontrol dışı sinyalin, MR kontrol grafiği incelendiğinde, 205 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirilecek olunursa bu hurda grubundan şarjın içine devamlı olarak fazla atıldığı şeklinde bir değerlendirmeye gidilmiştir. Hata kaynağına yönelik olarak yapılan inceleme neticesinde ise bu hurda grubunda bulunan hurdaların ufak parçalara ayrılamamasından kaynaklandığı tespit edilmiş ve bu hurdaların dökümhaneye giden araca tam sığmadığı görülmüştür. Grafiğinin son bölümlerinde ise hiç kontrol dışı sinyalin olmamasının nedeni ise aynı grupta aynı özellikleri taşıyan başka hurda cinsinin kullanılmasından dolayı kontrol dışı sinyalin meydana gelmemesine neden olmuştur.

4.3.11.1.3.4. Dördüncü STTG Katsayısı (Z_{24})



Grafik 4.12:Dördüncü STTG Katsayısı (Z_{24}) İçin Düzenlenen I ve MR Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

Dördüncü STTG katsayısı ile ilgili dizayn edilen I ve MR kontrol grafikleri **Grafik 4.12**'de yer almaktadır. I kontrol grafiği incelendiğinde, 31 adet kontrol dışı sinyalin, MR kontrol grafiği incelendiğinde, 37 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirilecek olunursa bu hurda cinsinden şarj içine genel olarak eksik atılma durumunun olduğu tespit edilmiştir. Kontrol dışı durumlar ile ilgili olarak yorumlar, söz konusu katsayı için dizayn edilen $EWMA$ kontrol grafiğinin durumuna bakılarak müşterek olarak yapılmıştır.

4.3.11.2. $EWMA$ Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

STTG katsayılarının izlendiği I ve MR kontrol grafiklerine bakıldığında izlenen değişkenlerde kaymaların büyük olduğu ancak kontrol sınırlarına oldukça yakın fazla değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Kontrol sınırlarına yakın olan değerlerin davranışlarını tam olarak tespit etmek ve ufak kaymalarında durumlarını tam olarak görmek maksadıyla söz konusu katsayıların $EWMA$ kontrol grafikleri ile izlenmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla katsayıların çok değişkenli kontrol grafiklerinde izlemeden önce ve çok değişkenli kontrol grafiğinde meydana gelen kontrol dışı sinyalleri daha iyi yorumlamak için katsayılar $EWMA$ kontrol grafikleri ile izlenmiştir.

4.3.11.2.1. Faz I

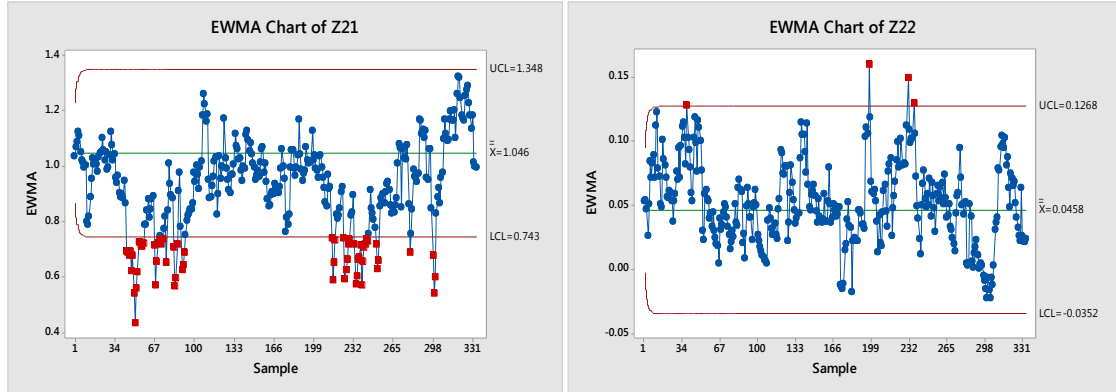
STTG katsayılarının Faz I aşaması için düzenlenen $EWMA$ kontrol grafikleri, **Ek 16**'dadır. $EWMA$ kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak STTG katsayılarının ortalama değerleri ile standart sapma değerleri **Tablo 4.28**'dedir.

Tablo 4.28: STTG Katsayılarının $EWMA$ Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

$S_{Z_{11}}$	0.30236	$\bar{X}_{Z_{11}}$	1.04579
$S_{Z_{12}}$	0.0810	$\bar{X}_{Z_{12}}$	0.04584
$S_{Z_{13}}$	0.0704	$\bar{X}_{Z_{13}}$	0.0495
$S_{Z_{14}}$	0.11192	$\bar{X}_{Z_{14}}$	0.076048

4.3.11.2.2. Faz II

4.3.11.2.2.1. Birinci ve İkinci STTG Katsayıları (Z_{21} ve Z_{22})

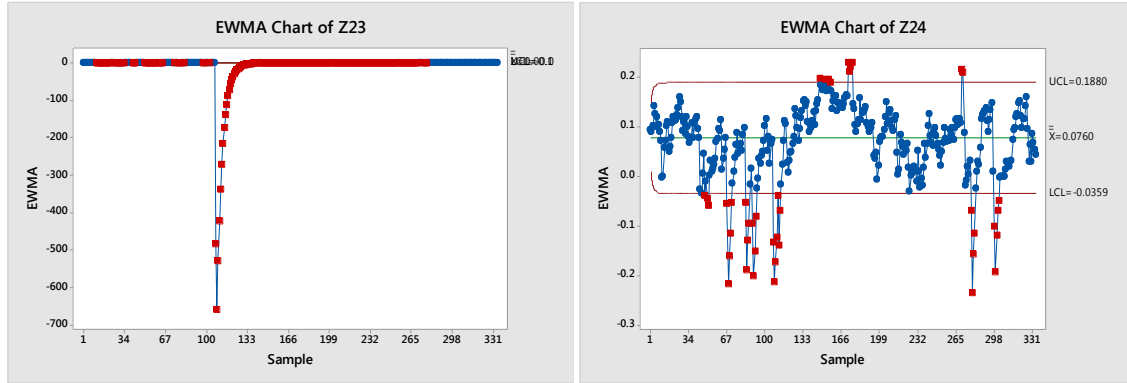


Grafik 4.13: Birinci ve İkinci STTG Katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}) İçin Düzenlenen *EWMA* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşaması

Değerlendirme:

Birinci ve ikinci STTG katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}) için dizayn edilen **Grafik 4.13**'de yer alan *EWMA* kontrol grafikleri incelendiğinde, birinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde 14 adet ve ikinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise üç adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol dışı sinyaller ile ilgili olarak hata kaynağının tespitine yönelik olarak yapılan inceleme sonucunda, ikinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde farklı zamanlarda az sayıda meydana gelen kontrol dışı sinyallerin personel hatasından (*çalışan personelin dikkatsizliği ve işine gerekli özen vermemesinden*) kaynaklandığı, birinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise belli dönemlerde oluşan kontrol dışı sinyallerin ise tartının arıza yapmasından (*birinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı*) ve personel hatası ile kullanılan hurda cinslerinden (*ikinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı*) kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ancak bu dönemlerde birinci STTG katsayısını temsil eden hurda grubunda belirlenen dönemde eksik atılma durumu ile karşı karşıya gelindiği ve *MS 58* cinsi pirinç üretimine neden olan bilinen hata kaynağı olarak karşımıza çıkmıştır.

4.3.11.2.2. Üçüncü ve Dördüncü STTG Katsayıları (Z_{23} ve Z_{24})



Grafik 4.14:Üçüncü ve Dördüncü STTG Katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}) İçin Düzenlenen *EWMA* Kontrol Grafiğinin Faz II Aşaması

Değerlendirme:

Üçüncü ve dördüncü STTG katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}) için dizayn edilen **Grafik 4.14**'de yer alan *EWMA* kontrol grafikleri incelendiğinde, birinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde 204 adet ve ikinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise 43 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol dışı sinyaller ile ilgili hata kaynağının tespitine yönelik olarak yapılan inceleme sonucunda, dördüncü STTG katsayısı kontrol grafiğinde belli dönemlerde oluşan kontrol dışı sinyallerin tartının arıza yapmasından (*birinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı*) ve personel hatası ile kullanılan hurda cinslerinden (*ikinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı*), üçüncü STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise bu hurda grubunda bulunan hurdaların ufak parçalara ayırlamamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ancak bu dönemlerde dördüncü STTG katsayısını temsil eden hurda grubunda eksik ve üçüncü STTG katsayısını temsil eden hurda grubunda ise fazla atılma durumu ile karşı karşıya gelindiği ve istenilen özelliklerde *MS 58* cinsi pirinç üretilmemesine neden olan bilinen hata kaynağı olarak karşımıza çıkmıştır.

4.3.11.3. STTG Katsayılarının *I*, *MR* ve *EWMA* Kontrol Grafikleri İle İzlenmesi Sonucunda Elde Edilen Sonuçlar

Birinci STTG katsayısının izlendiği *I* ve *MR* kontrol grafiklerinde hurdaların eksik ve fazla atıldığı ancak eksik atılma miktarının fazla atılma miktarına göre fazla olduğu görülmektedir. Ancak yorumlama konusunda durum ile ilgili net karara varmak için kesinlik sağlayacak bilgiler elde edilememektedir. Ancak *EWMA* kontrol grafiğine

bakıldığında eksik atılma durumu ile hangi dönemlerde bu durumun netleştiği net olarak görülmektedir. Konuyla ilgili olarak pirinç üretim sürecinde o esnada görevli kalite ve süreç uzmanları ile yapılan araştırmalar neticesinde dönemsel olarak eksik atılan hurda grubunun eksik atılmasının nedeni olarak tartıdan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

İkinci STTG katsayının izlendiği her üç kontrol grafiği birlikte değerlendirildiğinde bu hurda grubunda daha çok personelin anlık hatasından kaynaklandığı değerlendirilen çok az sayıda büyük kaymaların meydana geldiği tespit edilmiş ve süreci etkileyecek herhangi bir özel nedenin bulunmadığı düşünülmüştür. Konuyla ilgili olarak pirinç üretim sürecinde o esnada görevli kalite ve süreç uzmanları ile yapılan araştırmalar neticesinde öngörülen değerlendirmenin doğru olduğu teyit edilmiştir.

Üçüncü STTG katsayının izlendiği *I* ve *MR* kontrol grafiklerinde hurda gruplarında büyük kaymalar tespit edilmiş ancak yorumlama konusunda net bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak *EWMA* kontrol grafiğinde ise 100-130 sayılı hurda grubunda eksik atılma tespit edilmiş ve zamanla süreçte alınan tedbirler gereği sürecin kontrol altına alındığı düşünülmektedir. Konuyla ilgili olarak pirinç üretim sürecinde o esnada görevli kalite ve süreç uzmanları ile yapılan araştırmalar neticesinde kontrol dışı durumun terazinin 50-100 nolu ölçümlerde bir arıza geldiğini ve ancak yanlış teşhis sonunda tadilattan dolayı tartıda daha büyük bir arıza meydana geldiği belirtilmiştir. Tartıda meydana gelen bu büyük arıza nedeniyle ve görevli personelin hatasından dolayı bu hurda grubundan eksik atıldığı belirtilmiştir.

Dördüncü STTG katsayının izlendiği *I* kontrol grafiğinde bazı dönemlerde bu hurda grubunun eksik atıldığı görülmektedir ancak dönemler tam olarak belirgin değildir. *MR* kontrol grafiğinde ise kontrol dışı sinyallerin eksik atıldığı dönemler daha belirgindir. Ancak *EWMA* kontrol grafiğinde ise kontrol dışı sinyaller diğer kontrol grafiklerine göre hem daha belirgin hale gelmekte ve hem de hurdaların hangi dönemde eksik atıldığı kesin olarak daha iyi görülmektedir. Yapılan inceleme sonucunda eksik atılma dönemi olarak birinci STTG katsayılarının izlendiği 50-100 nolu ölçümlerde aynı zamanda meydana gelmiş olmasından dolayı bu eksik atılma nedeninin tartıdan meydana gelmiş olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ulaşılan bu sonuç görevli personel ile yapılan araştırma neticesinde teyit edilmiştir.

4.3.11.4. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

4.3.11.4.1. Faz I

STTG katsayılarının eş zamanlı olarak Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmesinde Faz I aşamasında her bir katsayıya ait 50 adet sayısal değer kullanılmıştır. Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz I aşaması elde edilen kontrol grafikleri Ek 17'dedir. Bu grafiklerden elde edilen parametreler diğer kontrol grafiklerinde açıklandığı gibi Faz II aşamasında kullanılacaktır. Bu kapsamda Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz I aşamasında elde edilen ortalama vektörü, varyans-kovaryans matrisi ile korelasyon matrisi aşağıda **Tablo 4.29**'de verilmiştir.

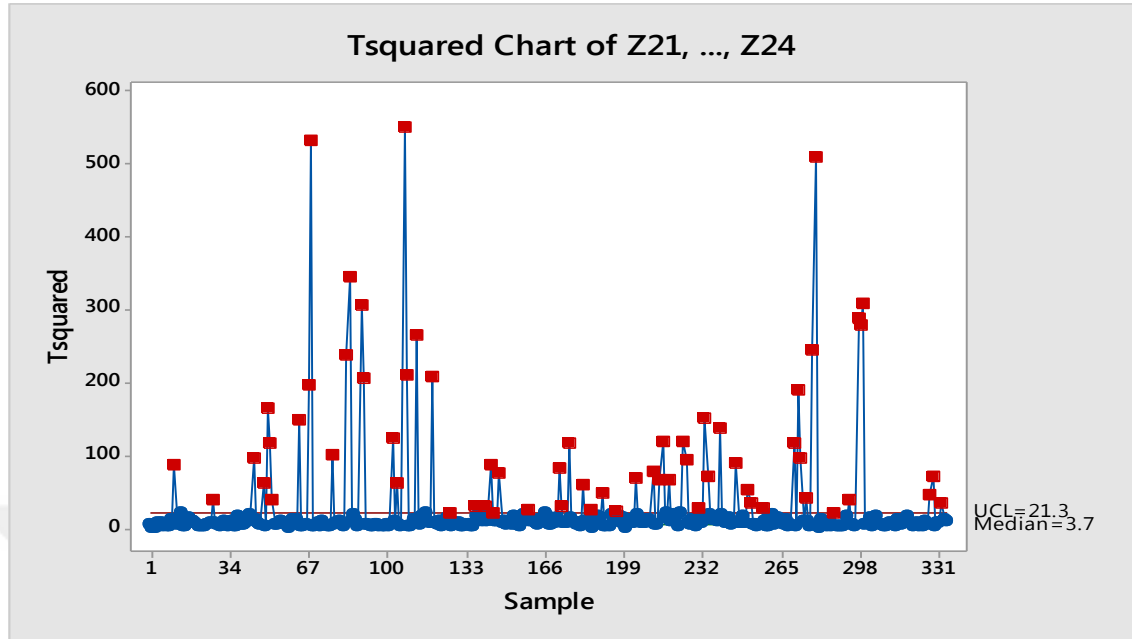
Tablo 4.29:Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Ortalama Vektörü, Varyans-Kovaryans Matrisi ile Korelasyon Matrisi

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{Z_{11}} \\ \bar{X}_{Z_{12}} \\ \bar{X}_{Z_{13}} \\ \bar{X}_{Z_{14}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.141 \\ 0.0539 \\ 0.0813 \\ 0.1060 \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} 0.065082 & -0.00260 & -0.00864 & 0.001087 \\ -0.00260 & 0.006472 & 0.001508 & -0.00538 \\ -0.00864 & 0.001508 & 0.014158 & -0.00178 \\ 0.001087 & -0.00538 & -0.00178 & 0.007507 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & -0.127 & -0.285 & 0.049 \\ -0.127 & 1 & 0.158 & -0.772 \\ -0.285 & 0.158 & 1 & -0.173 \\ 0.049 & -0.772 & -0.173 & 1 \end{bmatrix}$$

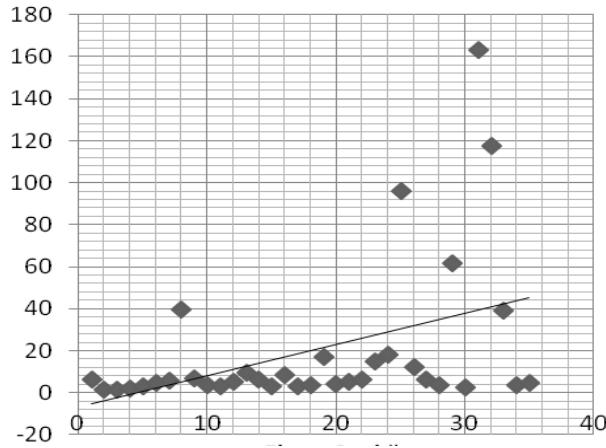
4.3.11.4.2. Faz II



Grafik 4.15: STTG Katsayıları İçin Düzenlenen Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinin Faz II Aşaması

Değerlendirme:

STTG katsayıları için düzenlenen Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz II aşaması gösterimi **Grafik 4.15**'de yer almaktadır. STTG katsayılarının eş zamanlı olarak Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmesinde sonucunda 54 adet kontrol dışı sinyal tespit edilmiştir. Bu sinyallerin yorumlanması hususu ile ilgili daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuş yolların bulunduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla tek değişkenli kontrol grafiklerinden yararlanılabileceği gibi kontrol grafiklerinde oluşan örüntü şekillerinin tanınması ile de yapılabilir. **Grafik 4.15**'de yer alan Hotelling T^2 kontrol grafiği incelendiğinde 20 ile 54 nolu T^2 sinyallerinin yukarı eğim örüntü tipini oluşturduğu görülmektedir. Konu ile ilgili oluşan örüntü tipinin grafiksel gösterimi **Grafik 4.16**'da ve sayısal değerleri ise **Tablo 4.30**'da yer almaktadır.



Grafik 4.16: STTG Katsayıları İçin Düzenlenen Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinde Oluşan Yukarı Eğim Örüntü Tipi

Tablo 4.30: STTG Katsayılarının İzlendiği Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinde Tespit Edilen Yukarı Eğim Örüntü Tipi T^2 Değerleri

T_{20}	T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{24}	T_{25}	T_{26}	T_{27}	T_{28}	T_{29}	T_{30}	T_{31}	T_{32}	T_{33}	T_{34}	T_{35}	T_{36}	T_{37}	T_{38}
6.38	1.61	1.48	2.21	3.06	4.85	6.04	40.1	7.26	4.08	3.48	5.54	9.6	6.75	3.21	8.64	3.2	3.64	17.1
T_{39}	T_{40}	T_{41}	T_{42}	T_{43}	T_{44}	T_{45}	T_{46}	T_{47}	T_{48}	T_{49}	T_{50}	T_{51}	T_{52}	T_{53}	T_{54}			
4.64	5.51	6.71	14.9	18.3	96.3	12.3	6.31	4.08	61.8	2.95	163	117	39.3	3.81	5.06			

Bu örüntü tipinin yorumlanmasında tek değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen tipik örüntülerde olduğu gibi süreç uzmanlarının deneyimleri ile literatürde yer alan araştırmalar kullanılmıştır ve bu konu ile ilgili yapılan literatür araştırması birinci bölümde yer almaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada tespit edilen bu örüntü tipinin oluşma nedeni ise birinci ve dördüncü STTG katsayıların yani bu grupta yer alan hurda cinslerinin şarja fazla atılmasından ve bir ve dört nolu hurda grubunun fazla atılmasına neden olan faktöründe personel hatasından ve yorgunluğundan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu esnada fabrikada üretim sürecinde oluşan bu örüntü tipinin tanınması maksadıyla objektif bazı yöntemlere ihtiyaç duyulduğu öğrenilmiştir. Dolayısıyla çalışma bu talep doğrultusunda araştırmalara devam edilmiştir.

Literatürde yapılan inceleme neticesinde örüntü tanıma sistemleri olarak;

- İstatistiksel örüntü tanıma sistemi,
- Yapısal örüntü tanıma sistemi,
- Zeki tekniklerle örüntü tanıma sistemi olmak üzere üç türlü yaklaşımın bulunduğu tespit edilmiştir.

İstatistiksel örüntü tanıma sisteminde, sınıflama algoritmaları istatistiksel analiz üzerine kurulur. Aynı sınıfa ait örüntüler, istatistiksel olarak tanımlanan benzer karakteristiklere sahiptirler. Bu yöntemde, özellik olarak nitelendirilen karakteristik ölçümler giriş örüntü örneklerinden çıkarılır. Her örüntü bir özellik vektörü ile tanımlanır (Türkoğlu, 2016).

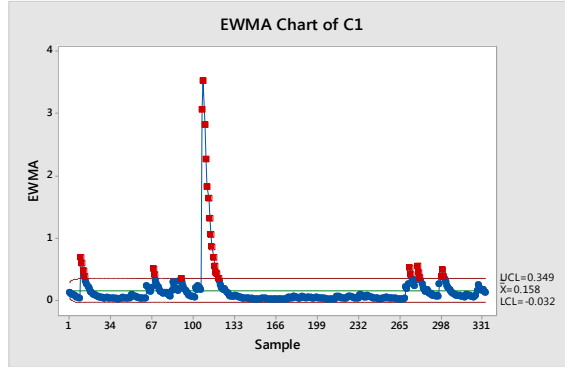
Yapısal örüntü tanıma sisteminde, verilen bir örüntü, şekilsel yapıdan temel karakteristik tanımlanmaya indirgenir. Genel olarak yapısal yöntemde daha basit alt örüntüler karışık örüntülerin hiyerarşik tanımlamalarını formüle eder ve her örüntü, bileşenlerinin bir kompozisyonu olarak ele alınır (Türkoğlu, 2016).

Örüntü tanıma sistemi, eğer önceden öğrendiklerini akılda tutabilecek bir hafızaya sahip, genelleme, belirli hata toleransı ile karar verebilme yeteneklerini içeriyorsa, bu örüntü tanıma sistemi **zeki tekniklerle örüntü tanıma sistemi** olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler, öğrenme tabanlı olup, karar aşamasında geçmiş tecrübelerinden sonuç üretmektedirler. Günümüzde, zeki tekniklerle örüntü tanıma sistemleri genellikle YSA merkezli olarak gelişmektedir (Türkoğlu, 2016).

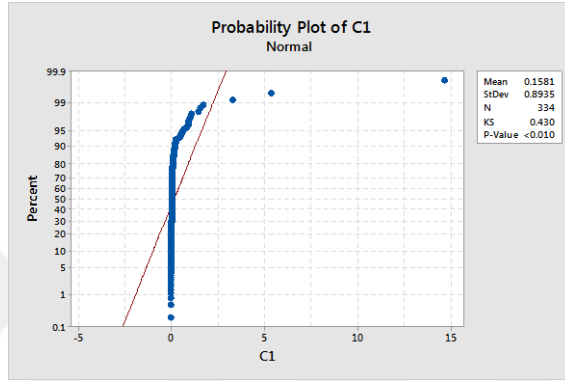
Tespit edilen bu örüntü tipi bundan sonraki bölümlerde kullanılacak YSA örüntü tanıyıcı olarak kullanılan ağ modellerinin geçerliliğinin test edilmesinde sentetik verilerden sonra kullanılacaktır.

4.3.11.5. STTG Yönteminin Hata Terimlerinin Karelerinin EWMA Kontrol Grafiği ile İzlenmesi ve Normallik Kontrolü

Söz konusu matematiksel modelin hata terimlerinin bağımsızlığı ile normalliğinin kontrol edilmesi amacıyla Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) tarafından yapılan çalışma da, hata terimlerinin karesinin ($|e^2|$) normal dağılıma uyup uymadığının kontrol edilmesi ve söz konusu değerlerin tek değişkenli EWMA kontrol grafiği ile takip edilmesi gerektiği yer almaktadır. Bu kapsamda başlangıçta kurulan her bir regresyon denkleminde ilk olarak 7 adet hata değerleri bulunmuş, her bir hata değerlerinin kareleri alınarak toplanmış ve en sonunda 334 adet hata terimlerinin karesi ($|e^2|$) değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin normallik kontrolü olasılık grafiği ile yapılmış ve EWMA kontrol grafiği ile takip edilmiştir. Bu değerlerle ilgili olarak kurulan EWMA kontrol grafiği **Grafik 4.17**'de ve olasılık grafiği ise **Grafik 4.18**'de yer almaktadır.



Grafik 4.17: $|e^2|$ Değerlerinin EWMA Kontrol Grafiği ile İzlenmesi



Grafik 4.18: $|e^2|$ Değerlerinin Olasılık Grafiği ile Normallik Kontrolü

Grafikler incelendiğinde $|e^2|$ değerlerinin bazı durumlarda EWMA kontrol grafiğinde kontrol sınırlarının dışında olduğu ve normal dağılım göstermediği görülmektedir. Ancak bu değerler gerçek verilerden oluşmasından dolayı karşılaşılan bu durumlar göz ardı edilebilir ve söz konusu matematik modelin pirinç üretim sürecinden elde edilen verilere uyduğu söylenebilir.

Ancak hata terimi vektörü bütün süreçlerde her zaman $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ve *i.i.d.* olmayabilir. Daha genel düşünüldüğünde regresyon yöntemiyle A hata matrisindeki sütunlarla modellenen özel nedenlerin etkisi kalite vektöründen arındırılrsa bile geriye kalan hata vektörünün başka özel ve genel nedenlerden etkilenmiş olabileceği de değerlendirilmelidir. Böyle durumlarda süreç tabanlı temel gösterimleri yöntemi ile ilgili lineer model $x = Az + \varepsilon$ $\varepsilon \sim (0, \sigma^2)$ ve *b.ö.d.* yerine $x_i = Az + \varepsilon_i$ $z \sim N(\mu_z, \Sigma_z)$ ve $\varepsilon_i \sim (0, \Sigma_\varepsilon)$ olacaktır. İkinci modele bakıldığında süreç tabanlı temel gösterimleri katsayılarının üzerinde hata teriminde bulunan kovaryansın etkisi vardır. Böyle karşılaşılan durumlar için STTG yönteminde yer alan ikinci matematiksel modelde

parametrelerin elde edilmesinde en küçük kareler yöntemi yerine genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi uygulanabilir.

4.3.12. Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Hotelling T^2 Kontrol Grafiği İle İzlenen Süreç Tabanlı Temel Gösterim Katsayılarının Yorumlanması

Son yıllarda çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyallerin yorumlanmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri YSA modelleridir. YSA modelleri; girdi ve çıktı değişkenleri arasında herhangi bir ön bilgiye ve varsayıma gerek duymadan tahminleme ve sınıflandırma yapabilmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenen STTG katsayılarının oluşturduğu örüntü tipinin YSA yaklaşımı ile sınıflandırılmasının nasıl yapıldığı gösterilmeye çalışılmıştır. Bir süreçteki kalite karakteristiklerin Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlendiği durumlarda oluşan örüntü tipleri ile ilgili teorik bilgiler, çalışmanın 1. bölümünde verilmiştir.

4.3.12.1. Yapay Sinir Ağı Modelinin Seçilmesi

Literatür incelendiğinde YSA modellerinin hem tek değişkenli, hem de çok değişkenli kontrol grafiklerinde genel olarak;

- Örüntü tanıma,
- Kontrol dışı sinyalin tespiti,
- Hata kaynağının teşhisi,
- Kaymanın büyüklüğünün tespiti konuları ile ilgili kullanıldığı tespit edilmiştir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde literatürde yaygın olarak kullanılan bir çok YSA modeli bulunmaktadır. YSA modelleri ile ilgili gruplama çeşitli araştırmacılar tarafından da çeşitli isimler altında yapılmaktadır. Bu kapsamda Masood ve Hassan (2010) tarafından yapılan gruplandırma **Tablo 4.31**'de sunulmuştur.

Tablo 4.31:YSA'ların Kalite Kontrol Grafiklerinde Kullanıma Göre Sınıflandırılması

Genel Yapı	Açıklama
İzole edilmiş/genelleştirilmiş YSA tanımlayıcı (<i>isolated/generalized ANN recognition</i>)	- İzole edilmiş/genelleştirilmiş YSA'lar, bütün örüntüleri tanımlamak için dizayn edilmiş genel YSA modelleridir. Çalışmada kullanılacak iki YSA'dan biri olan çok katmanlı YSA tipi bu sınıfa girmektedir.
Özelleştirilmiş YSA tanımlayıcı (<i>specialized ANN recognition</i>)	- Özelleştirilmiş YSA'lar sadece bir cins örüntünün tanımlanması için dizayn edilmiş YSA modelleridir. Her bir örüntü tipi için aynı veya farklı YSA mimarileri kullanılabilir.
Modüler/çoklu YSA tanımlayıcı (<i>Modular, multiple ANN recognition</i>)	- Bazı durumlarda çözülecek olan problem kendi içinde, daha ufak modüllere ayrılır. Her modülde problemin bir parçası çözülür. Bu kapsamda her modül için ayrı bir YSA eğitilir. Her modüle yönelik olarak özel olarak tasarlanmış bir özel YSA tanımlayıcısı modüler/çoklu YSA olarak adlandırılır. Çalışmada kullanılacak iki YSA'dan diğeri ise modüler YSA tipi olup bu sınıfa girmektedir. - Son karara, bütün modüllerin çıktıları birleştirilerek ulaşılır. Modüllerde örüntü tipi için aynı veya farklı YSA mimarileri kullanılabilir.
Hibrit, entegre edilmiş, sinerji yaratan, birleştirilmiş, toplanmış YSA tanımlayıcı (<i>hybrid, integrated, synergy, combination, composite ve ensemble ANN recognition</i>)	- Kompleks problemleri çözmek için birbirinin tamamlayan birden fazla YSA tanımlayıcı kullanılır. - Hedef, farklı tanımlayıcılar tarafından çözüme ulaştırılmış problemin en iyi çözümünü bulmak ve performansın artırılmasıdır.
Çok aşamalı/kademeli YSA tanımlayıcı (<i>multi-stage, cascade ANN recognition</i>)	- Ardarda gelen durumları formüle etmek maksadıyla birden çok YSA tanımlayıcıları kullanılır. - Bir tanımlayıcının çıktısı diğer tanımlayıcının girdisidir.

Kontrol grafiklerinde yaygın olarak kullanılanların YSA modelleri aşağıda sıralanmıştır.

- Çok katmanlı YSA modeli (Anagün, 1998; Barghash ve Santarisi, 2004; Guh, 2010; Guh, Zorriassatine, Tannock ve O'Brien, 1999; Kiran, Devi ve Lakshmi, 2010; Masood ve diğerleri, 2008; Hassan, Nabi Baksh, Shahraroun ve Jamaluddin, 2003; Niaki ve Abbasi, 2008; Perry, Spoerre ve Velasco, 2001; Sağiroğlu, Beşdok ve Erler, 2000),
- Doğrusal vektör kuantizasyon YSA modeli (Yılmaz ve Yücel, 2015),

- Çok katmanlı YSA modeli ile doğrusal vektör kuantizasyon YSA modeli (Gauri, 2010; Guh ve Shiue, 2008; Pham ve Öztemel, 1993),
 - Kendi kendini düzenleyen harita YSA modeli (Cheng ve Cheng, 2008),
 - Olasılık sinir ağı YSA modeli (Wu, 2010),
 - Çok katmanlı YSA modeli ile olasılık sinir ağı YSA modeli (Leger, Garland ve Phoehlman, 1996),
 - Çok katmanlı YSA modeli ile sezgisel teknikler (Pham ve Wani, 1997),
 - Modüler YSA modeli (Cheng, 1997),
 - Çok katmanlı YSA modeli ve karar ağaçları (Gauri ve Chakraborty, 2008),
 - Çok katmanlı YSA modeli ve bayes sınıflandırıcı (Olgun ve Özdemir, 2012)
- sayılabilir. Ancak en yaygın olarak kullanılan YSA modeli, çok katmanlı YSA modelidir. Çok katmanlı YSA modeli, özellikle sınıflandırma problemlerinin çözümünde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Pham ve Oztemel, 1993; Hwarng ve Hubele, 1993; Cheng, 1995, 1997; Guh, Zorriassatine, Tannock ve O'Brien, 1999; Guh ve Tannock, 1999; Guh ve Hsieh, 1999; Perry, Spoerre ve Velasco, 2001; Hassan, Nabi Baksh, Shaharoun ve Jamaluddin, 2003; Al-Assaf, 2004; Al-Assaf ve Assaleh, 2005; Gauri ve Chakraborty, 2006, 2008; Chen ve Wang, 2004).

Çalışmada kullanılacak olan YSA modelleri, **Tablo-4.33**'de YSA modelleri sınıflandırmasında yer alan izole edilmiş/genelleştirilmiş YSA tanımlayıcı sınıfında olan **çok katmanlı YSA modeli** ve modüler/çoklu YSA tanımlayıcı sınıfında olan **modüler YSA modelidir**.

Çok katmanlı YSA modeli, bir önceki paragrafta belirtildiği üzere çok katmanlı YSA modelinin sınıflandırma problemlerinin çözümündeki başarısından dolayı seçilmiştir. Modüler YSA modeli ise;

- Modüler YSA modelinin her bir modülünde çok katmanlı YSA modellerinin kullanılmasından dolayı karşılaştırmanın daha objektif olabileceğinden,
- Literatürde Cheng (1997) tarafından verilerin sınıflandırmada problemlerin çözümünde modüler YSA modellerinin diğer YSA modellerine göre daha başarılı sonuçlar verebileceğini belirtilmesinden,

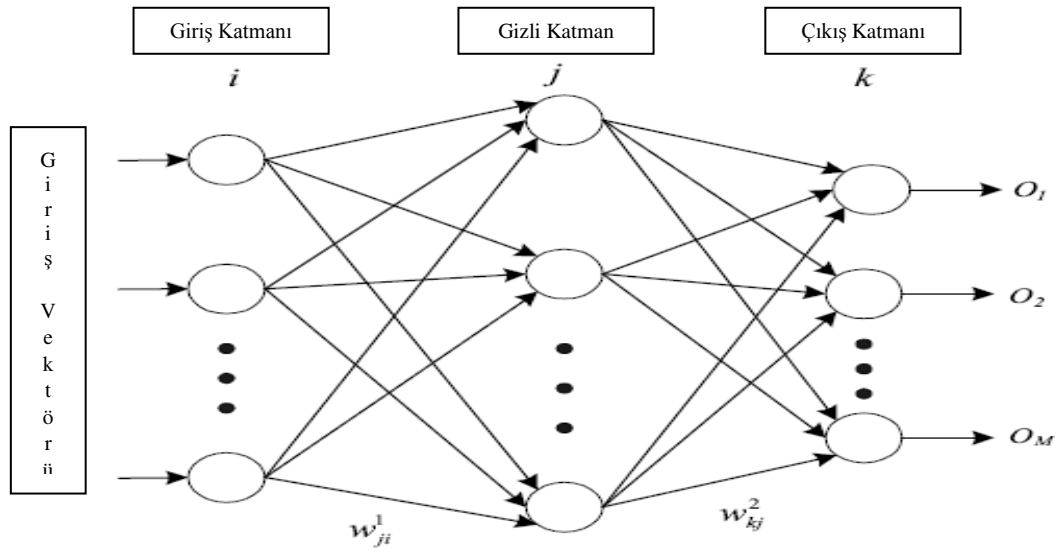
- Modüler YSA yapıları, sistem modelleme, zamana bağlı tahmin, sınıflandırma ve filtreleme uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmasından,
- Sağıroğlu, Beşdok ve Erler (2003) tarafından modüler YSA modellerinin çoğu kez diğer YSA algoritmalarının olumlu cevap vermediği birçok uygulamalarda çözüm sağlayabildiğini belirtmesinden ve modüler YSA modelinin kontrol grafiklerinde örüntü tanıma ile ilgili yerli ve yabancı literatürde kullanılmadığından dolayı seçilmiştir.

Çalışma da kullanılan çok katmanlı YSA modeli ile modüler YSA modeli ile ilgili detaylı bilgiler müteakip bölümlerde verilmiştir.

4.3.12.1.1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Çok katmanlı YSA modelleri, hayatın hemen hemen her alanında örnekleri görülen bir modeldir. Özellikle mühendislik problemlerinin çözümünde en çok kullanılan YSA yapısıdır. Birçok öğrenme algoritması, çok katmanlı YSA modelini eğitmede kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu durum çok katmanlı YSA modellerinin yaygın kullanılmasına sebep olmuştur. Çok katmanlı YSA modelleri sınıflandırma, tahmin etme, tanıma, yorumlama ve teşhis etme problemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kapsamda, çok katmanlı YSA modellerinin proses kontrolünde, proseslerin kalite kontrolünde ve prosesin çalışması sırasında prosesin davranışını sürekli gözetleyerek anormal davranışları olması durumunda operatörleri uyarda kullanıldığı görülmektedir (Öztürk, 2012).

Ayrıca, çok katmanlı YSA modelleri, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu modeller, bir giriş, bir veya daha fazla gizli ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Her katmanda bir veya daha fazla nöron bulunabilir. Katmanlardaki nöronların hepsi bir öndeki katmandaki nöronların hepsine bağlıdır. Çok katmanlı YSA modellerinde bilgi akışı ileriye yönelik olup geriye dönük değildir. Çok katmanlı YSA modelinin basit bir gösterimi **Şekil 4.10**'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Çok Katmanlı YSA Modelinin Basit Gösterimi

Çok katmanlı YSA modellerinin giriş katmanında bulunan nöronlarda herhangi bir işlem yapılmaz. Dış dünyadan veya başka bir sinir ağından gelen girişler aynen gizli katmana iletilir. İşlem gizli katman ile çıkış katmanında yapılır. Çok katmanlı YSA modellerinde kaç adet gizli katman ve bu gizli katmanlarda kaç adet nöronun bulunacağı deneme ve yanılma yöntemi ile bulunur (Rumelhart ve McClelland, 1986). Giriş katmanı ile çıkış katmanındaki nöron sayısı ise problemin durumuna göre şekillenir.

Çok katmanlı YSA modellerinde danışmanlı öğrenme yöntemi kullanılır. Yani ağa giriş olarak bir örnek gösterilir ve nasıl bir sonuç üreteceği bildirilir. Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimize edilinceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir. Dolayısıyla bu ağa hata yayma ağı da denmektedir. Çok katmanlı YSA modelleri, literatürde en fazla kullanılan YSA mimarilerindendir.

Çok katmanlı YSA modellerinin sınıflandırma ve örüntü tanıma problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanıldığı belirtilmişti. Ancak belirlenen alanlarda çok katmanlı YSA modellerinin eğitiminde literatürde yapılan araştırmalar çerçevesinde bazı problemlerin olduğu görülmüştür. Karşılaşılan bu problemler aşağıda sunulmuştur.

- Çok katmanlı YSA modellerinin katmanlarındaki düğüm sayısı, eğitime başlamadan önce belirlenmelidir. Seçilen düğüm sayısı sınıflama performansını

doğrudan etkileyecektir. Katmanlardaki düğüm sayısını belirleyecek bir yöntem de mevcut değildir.

- Geriye yayılma algoritması, çok katmanlı YSA modellerinin eğitiminde sıkça kullanılmaktadır. Ancak bu eğitim algoritması ağı, yerel çözümlere götürebilmektedir.

- Geriye yayılma algoritması, aynı amaçla kullanılan birçok öğrenme algoritmasından yavaş kalmaktadır.

- Çok katmanlı YSA modellerinin eğitiminde düğüm sayısını ihtiyaca göre büyütecek bir mekanizma bulunmamaktadır.

Geri yayılım algoritmasının zayıf yönleri düşünülerek, çok katmanlı YSA modellerinin eğitiminde başka yöntemlerin kullanılması ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

4.3.12.1.2. Modüler Yapay Sinir Ağı

Modüler YSA modelleri, birden fazla aynı cins veya farklı YSA modellerinden meydana gelen bir çeşit birleştirilmiş YSA modelidir.

Modüler YSA modellerinin en önemli amacı, yapısal bloklar gibi modüller kullanılarak daha büyük ağlar oluşturmaktır.

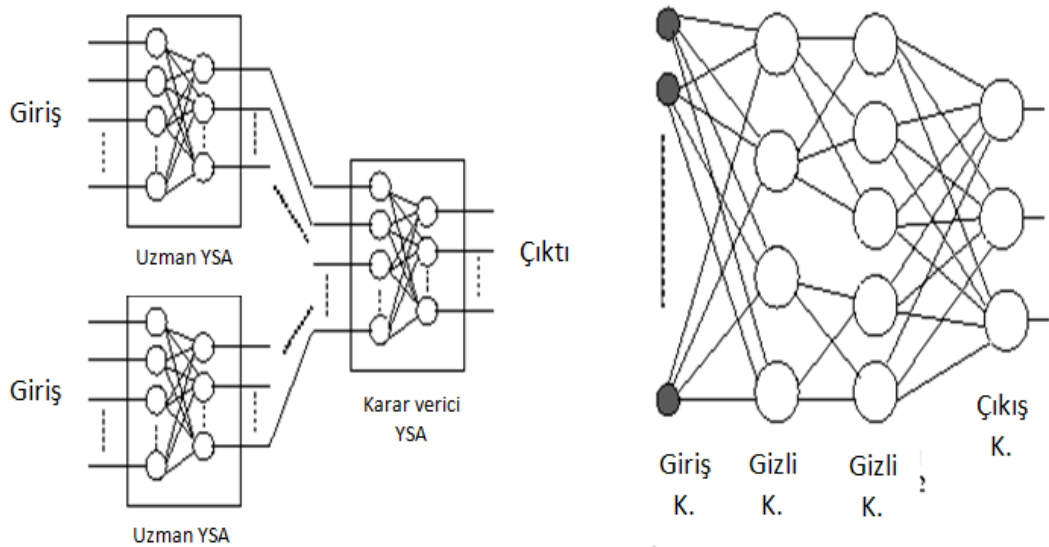
Modüler YSA modellerinin en önemli özelliği ise ağın tamamen bağlantılı olmamasıdır. Bu ağda, modüller arasında kesin bir bölünme yapılamaz. Ancak ağın bir parçası olarak görünen modül, kendi içinde tam olarak bağlantılıdır (Boers ve Kuiper, 1992).

Modüler YSA modellerinde, tüm modüller YSA'dır. Modüllerde yer alan YSA modellerinin yapısı monolitik ağlardan daha basittir ve küçüktür. Dolayısıyla bu ağların öğrenmesi tüm ağ yapısından daha kolaydır. Modüller nöronlardan ziyade modül ağına bağlıdır. Modüller, paralel çalışan sistemi sağlayan kesin seviye için bağımsızdır. Bu modüler yaklaşım, modüllerin birlikte çalışmasına imkân veren kontrol sistemi için daima gereklidir.

Modüler YSA modellerinde temel birimler sinaps blokları, nöron blokları ve kontrol bloğudur.

Modüler YSA modellerinde öğrenme iki aşamada meydana gelir. İlk olarak küçük modüllerdeki bağlantılar öğrenilir. Daha sonra modüler bağlantılar kurulur. Önceden bir fonksiyon olarak öğrenilen modüller ağ içinde başka bir yerde de kullanılabilir.

Modüler YSA modellerinin yapıları ile çoklu veya birleşik YSA (*multiple neural network*) modellerinin yapıları çoğunlukla birbirine karıştırılmaktadır. Çoklu veya birleşik YSA terimi kesin olarak ayrıştırılmış sistemler için kullanılır. Her bir ağ kendi alanında bağımsız olarak çalışır. Tek bir ağ kendi özel işi için oluşturulur ve eğitilir. Karar verilirken tek tek ağların sonuçlarına bakılır. Karar sistemi, probleme bağlı olarak diğer bir ağ veya kural tabanlı uzman sistem kullanılarak farklı şekillerde yapılabilir. Modüler YSA modellerinin yapılarında ise modüllerde yer alan her bir YSA modeli sisteme bağlı bir alt sistemin gereklerini yapar ve bu alt sistemlerin birleşimi tüm sistemi meydana getirir. Çoklu ve modüler YSA modellerinin bazı topolojilerinin gösterimi **Şekil 4.11**'de gösterilmiştir.

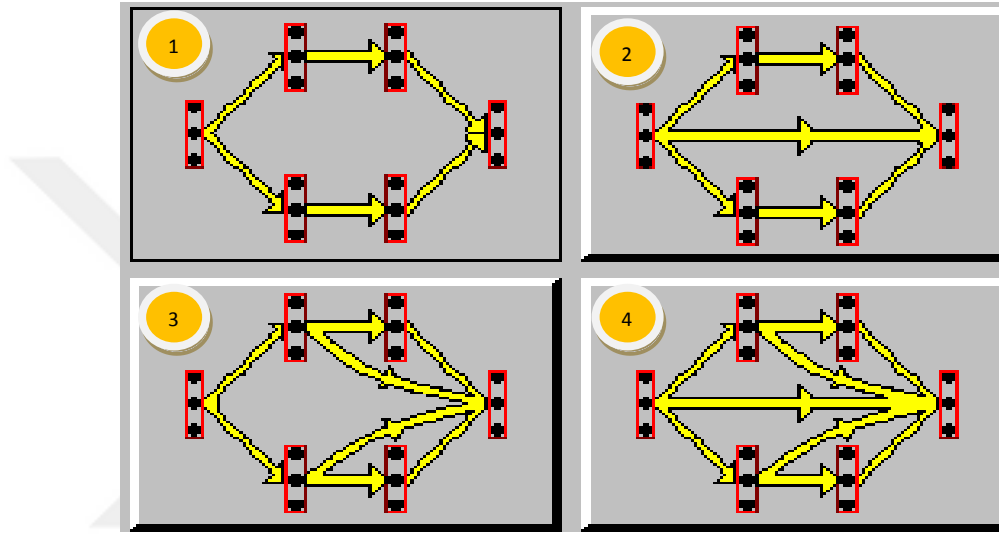


Şekil 4.11:Çoklu ve Modüler YSA Topolojisi

İleri beslemeli modüler YSA modelleri, çok katmanlı YSA modellerinin özel bir sınıfıdır. Çok katmanlı YSA modellerinde katmanlarda bulunan proses elemanları arasındaki bağlantılar tam bağlantılıdır. Modüler YSA modellerinde ise bu bağlantılar, çok katmanlı YSA modellerine aksine kısmi bağlantılıdır. Bu yüzden çok katmanlı YSA modelleri ile aynı büyüklükte olan modüler YSA modellerinde daha küçük ağırlık

değerleri ile çalışılır. Bu durum kullanıcı açısından eğitim zamanını kısaltır ve eğitimde kullanılması gereken örneklem sayısını azaltır.

Literatürde modüler YSA modellerinin nasıl oluşturulacağı çok açık değildir. Çalışmada paket program olarak kullanılan NeuroSolution paket programında dört adet modüler YSA topolojisi bulunmaktadır. Bu topolojiler **Resim 4.11**'de yer almaktadır ve çok katmanlı YSA modelleri ile performans değerlendirmesi karşılaştırılmasında dört nolu topoloji kullanılmıştır.



Resim 4.11:NeuroSolution Paket Programındaki 4 adet Modüler YSA Topolojisi

NeuroSolution paket programında modüler YSA modelleri ile çok katmanlı YSA modellerinin toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve öğrenme kuralları aynıdır. Her bir modülde farklı sayıda proses elemanı ile aynı öğrenme kuralı ve transfer fonksiyonu kullanılabileceği gibi aynı sayıda proses elemanı ile farklı öğrenme kuralı ve transfer fonksiyonu da kullanılabilir.

4.3.12.2. Çalışmada Kullanılacak Veri Seti

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan örüntülerin tespiti için YSA modellerinin eğitimi ve test aşamaları için çok sayıda örnek örüntü gerekmektedir. İdealde, örüntüler için gözlem verileri gerçek bir üretim sürecinden alınmalıdır. Ancak pratikte bu durum hem ekonomik olmamaktadır, hem de endüstrilerde büyük miktarlarda gerçek verilere ulaşılması her zaman mümkün değildir. Karşılaşılan bu problemin çözümü için literatürde simülasyon yolu ile veriler elde edilmektedir. Literatürde çeşitli araştırmacılar (Gauri, 2010; Gauri ve Chakraborty, 2006; Kiran, Devi

ve Lakshmi, 2010; Masood ve Hassan, 2008; Olgun, 2011; Öztemel, 2012; Perry, Sporre ve Velasco, 2001; Sağiroğlu, Beşdok ve Erler, 2000; Wu, 2010; Yang ve Yang, 2005) kontrol grafiklerinde örüntü tanıma için simülasyon yoluyla örüntüler oluşturmuşlardır.

Hotelling T^2 kontrol grafiğinde oluşan doğal olmayan örüntüler ile ilgili teorik bilgiler çalışmanın 1. bölümünde verilmiştir. Çalışmamızda Mason, Young ve Tracy (1997) tarafından Hotelling T^2 kontrol grafiğinde olduğu belirtilen doğal olmayan örüntüler olarak aşağı eğim, yukarı eğim, aşağı kayma, yukarı kayma, karışım, tekrarlayan çevrim ve normal olmak üzere yedi çeşit doğal olmayan örüntü araştırılacaktır. Söz konusu örüntülerin oluşturulmasında Cheng ve Cheng (2010), Cheng (1997) ve Guh ve Hsieh (1999) tarafından önerilen ve her şekli üreten matematiksel fonksiyonlar ve parametreler ile bu fonksiyonlara ilişkin R dilinde bu çalışma kapsamında geliştirilen programda kullanılan parametre değerleri **Tablo 4.32**'de gösterilmiştir.

Tablo 4.32:Örüntüleri Üreten Fonksiyonlar, Fonksiyonlara İlişkin Parametreler ve Parametre Değerleri

Örüntü Tipi	Örüntü Parametreleri	Parametre Değerleri	Örüntü Formülü
Normal	Ortalama Vektörü ($\bar{Z}$) Varyans-Kovaryans Matrisi (Σ_Z)		$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z})$
Aşağı Eğim	Aşağı Eğim (θ)	$\theta = (-0.5 \leq \theta \leq -0.4)$	$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z}) + \theta * t$
Yukarı Eğim	Yukarı Eğim (θ)	$\theta = (0.4 \leq \theta \leq 0.5)$	$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z}) + \theta * t$
Aşağı Kayma	Kayma pozisyonu (u) Kayma Miktarı (δ)	$u = 0, u = 1$ $2 \leq \delta \leq 3$	$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z}) - u * \delta$
Yukarı Kayma	Kayma pozisyonu (u) Kayma Miktarı (δ)	$u = 0, u = 1$ $2 \leq \delta \leq 3$	$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z}) + u * \delta$
Tekrarlayan Çevrim (Cyclic)	Periyodik değişim değeri (κ) Periyot (Ω)	$k = (5.0 \leq k \leq 5.02),$ $\Omega = 0.09$	$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z}) \pm \kappa \sin\left(\frac{2\pi t}{\Omega}\right)$
Karışım (Mixtures)	Süreç dalgalanma büyüklüğü (a)	$a = (6.0 \leq a \leq 7.0)$	$T_t^2 = (Z_i - \bar{Z})' \Sigma_Z (Z_i - \bar{Z}) + a * (-1)^t$

Tablo 4.32 incelendiğinde $t=(1,...,n)$ bir örüntü için oluşturulan gözlem verisi sayısını; T_t^2 ; $\bar{Z}$, süreç tabanlı temel gösterimleri katsayılarının ortalama vektörünü; Σ_Z , süreç tabanlı temel gösterimleri katsayıları arasındaki varyans-kovaryans matrisini; θ parametresi, oluşturulacak eğilimin hangi aralıklarla değişeceğini; u katsayısı, kayma pozisyonunu (*bu katsayı kayma pozisyonundan önce 0, kayma pozisyonundan sonra 1 değerini almaktadır*); δ , kayma miktarını; κ , periyodik değişim değerini; Ω , periyot değerini; a , süreç dalgalanma büyüklüğünü temsil etmektedir. Söz konusu temsili değişkenlerin alacağı değerler yukarıda yer alan tabloda verilmiştir.

T_t^2 'nin normal örüntü değerleri hesaplanırken $\bar{Z}$ ortalama vektörünün değerleri olarak STTG katsayıları için Hotelling T^2 kontrol grafiği kurulurken Faz I aşaması sonunda her bir katsayı için elde edilen ortalama değerleri yani (1.141, 0.0539, 0.0813, 0.106) değerleri ve Σ_Z varyans-kovaryans matrisi olarak yine STTG katsayıları için Hotelling T^2 kontrol grafiği kurulurken Faz I aşaması sonunda elde edilen varyans-kovaryans matrisi yani,

$$R_Z = \begin{bmatrix} 0.065082 & -0.0026 & -0.00864 & 0.001087 \\ -0.0026 & 0.006472 & 0.001508 & -0.00538 \\ -0.00864 & 0.001508 & 0.014158 & -0.00178 \\ 0.001087 & -0.00538 & -0.00178 & 0.007507 \end{bmatrix}$$

değerleri kullanılmıştır.

YSA modellerinin eğitimi, çapraz geçerlilikte ve test aşamasında kullanılmak üzere her örüntü cinsinden benzetim yolu ile üretilmiş 500 adet veri seti (kalite vektörü) olmak üzere toplam da 3500 adet veri seti kullanılmıştır. Ayrıca, hem ham ve hem de özellikli giriş verileri için en uygun çok katmanlı ve modüler YSA modelleri seçildikten sonra test için kullanılan benzetim yolu ile üretilmiş olan sentetik verilerin yanında gerçek veriler de kullanılmıştır.

4.3.12.3. Modelde Eğitim, Çapraz Geçerlilik ve Test Veri Setlerinin Seçimi Aşaması

Çalışmada kullanılan veri setinin %60'lık bölümü eğitim veri seti, %20'lik bölümü çapraz geçerlilik veri seti ve %20'lik bölümü ise test veri seti olarak kullanılmıştır. Bu

kapsamda benzetim yolu ile üretilmiş 3500 adet veri setinin 2100 adedi eğitim veri seti, 700 adedi çapraz geçerlilik veri seti ve 700 adedi test veri seti olarak kullanılmıştır.

4.3.12.4. Giriş ve Çıktılarının Gösteriminin Belirlenmesi

Literatür incelendiğinde çok değişkenli kontrol grafiklerinde giriş veri gösterim tekniği olarak üç çeşit gösterim tekniği kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla **ham veri tabanlı**, **özellik tabanlı** ve **wavelet-denoise tabanlı** veri giriş gösterim teknikleridir. Çalışmamızda STTG katsayılarının izlendiği Hotelling T^2 kontrol grafiğinde oluşan örüntülerin yorumlanmasında; oluşturulmaya çalışılan ağa sunulacak verilerde **ham veri ve özellik tabanlı giriş verisi gösterim teknikleri** kullanılmıştır.

Ham veri tabanlı giriş gösterim tekniğinde kullanılan giriş verilerine standartlaştırılma işleminden başka herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Literatür incelendiğinde **giriş verisi sayısı olarak değişik sayıda giriş sayısı kullanıldığı** ve bu sayının **deneme yanılma yolu ile elde edildiği** tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışmamızda tasarlanacak ağda literatürde yaygın olarak kullanılan standartlaştırılmış **35 adet değerden oluşan giriş verisi vektörü** kullanılacaktır. Diğer bir değişle tasarlanan ağın giriş katmanında 35 adet nöron bulunacaktır.

Özellik tabanlı giriş verisi gösterim tekniğinde ise girdi vektörünün boyutunu azaltarak verileri iyi temsil eden istatistiksel özellikler kullanılır. Çalışmamızda Guh (2010)'un çalışmasında ortaya konan altı adet istatistiksel özellik kullanılacaktır. Bunlar; **ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı, basıklık katsayısı, regresyon doğrusu eğimi ve basit korelasyon katsayısıdır.**

- Ortalama ve standart sapma, normal ve tekrarlayan çevrim örüntüleri,
- Basıklık katsayısı, yukarı ve aşağı eğilim gösteren örüntüleri,
- Regresyon doğrusu eğimi ve basit korelasyon katsayısı, artan ve azalan eğilim, normal örüntüleri sınıflandırmayı kolaylaştırır (Anagün, 1998).

Özellik tabanlı giriş verisi gösterim tekniğinde ise giriş verisi olarak yukarıda 35 adet ham giriş verisine ait elde edilen istatistiksel değerler kullanılmaktadır. Dolayısıyla çalışmamızda tasarlanacak ağda 6 adet istatistiksel değerden oluşan giriş verisi vektörü kullanılacaktır. Diğer bir değişle tasarlanan ağın giriş katmanında 6 adet nöron bulunacaktır.

Hotelling T^2 kontrol grafiğinde oluşan örüntüler ile ilgili teorik bilgiler çalışmanın 1. bölümünde verilmişti. Çalışmamızda kullanılan örüntüler **Normal (NOR)**, **Aşağı Eğim (AE)**, **Yukarı Eğim (YE)**, **Aşağı Kayma (AK)**, **Yukarı Kayma (YK)**, **Tekrarlayan Çevrim (TÇ)** ve **Karışım (Mixtures) (K)** örüntü tipleridir. Bu örüntü çeşitlerinin kodlanmış hali **Tablo 4.33**'de yer almaktadır. Tablo 4.33 incelendiğinde hedef örüntü çıktılarından sadece birisi 1, diğerleri 0 değeri almaktadır. Çıktı değerinin 1 olması, girdinin ilgili çıktının temsil ettiği sınıfa ait olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde tasarlanan ağın yedi adet çıktısı bulunmaktadır.

Tablo 4.33:Tasarlanan Ağın Çıktıları ve Oluşturulan Örüntü Sınıflarının Gösterimi

Örüntü	Çıktılar						
NOR	1	0	0	0	0	0	0
AE	0	1	0	0	0	0	0
YE	0	0	1	0	0	0	0
AK	0	0	0	1	0	0	0
YK	0	0	0	0	1	0	0
TÇ	0	0	0	0	0	1	0
K	0	0	0	0	0	0	1

4.3.12.5. Giriş Verileri ve Giriş Verilerinin Model İçin Hazırlanması

Ağın eğitimi ve testi, R programlama dilinde benzetim yolu ile üretilmiş veriler ile yapılmıştır. Verilerin üretilmesi için yazılan kodlar, Ek 18'de sunulmuştur. Verilerin üretilmesinde STTG katsayılarının çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol grafiğinin izlenmesinde uygulanan Faz I aşamasında elde edilen varyanslar ve ortalamalar kullanılmıştır.

Test verilerinin ağın eğitime etkisi yoktur. Test verileri, ağın daha önce hiç görmediği verilerden oluşur ve ağın daha önce hiç görmediği verilere tepkisini ölçmek için kullanılır. Oluşturulan modelin geçerliliğinin kontrol edilmesinde, hem benzetim yolu ile elde edilmiş sentetik veriler, hem de Pirinç Fabrikası Müdürlüğünden elde edilen gerçek veriler kullanılmıştır.

Ham ve özellik tabanlı giriş verisi gösterim tekniğinde kullanılan veriler NeuroSolution paket programına girilmeden önce, yani model kurulmadan önce R Programlama Dili yardımıyla normalleştirilme işlemine tabi tutulmuştur. Veri normalleştirme veya standartlaştırma işlemi eğitim sürecinden önce gerçekleştirilir.

Veriler [0-1] aralığına indirgenmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi standartlaştırma aşağıdaki şekilde hesaplanır (Barghash ve Santarisi, 2004).

$$[0-1] \text{ aralığına doğrusal dönüşüm } Z_{ijn} = \frac{Z_{ijt} - Z_{ijmin}}{Z_{ijmax} - Z_{ijmin}} \quad (4-22)$$

Formülde Z_{ijn} , giriş verilerindeki i . STTG katsayısının n . normalleştirilmiş değerini, Z_{ijt} , giriş verilerindeki STTG katsayısının t . gerçek değerini, Z_{ijmax} giriş verilerindeki maximum değeri, Z_{ijmin} giriş verilerindeki minimum değeri ifade etmektedir.

Normalleştirme işleminden sonra, veriler programa girilerek gerçekleşen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkı en aza indiren farklı ağ mimarilerinin tasarlanması aşamasına geçilir. Bu aşamada farklı ağ türleri, öğrenme algoritmaları, gizli katman sayısı, gizli katman/katmanlardaki nöron sayısı ve transfer (*aktivasyon*) fonksiyonları denenerek çıktı olarak elde edilen değerlerin uygun sınıflandırma işleminin yapılmasına çalışılır.

4.3.12.6. Örneklerin Ağa Sunulma Şekli

Giriş verilerinin hazırlanması kadar örneklerin YSA ağına sunulma şekli de önemlidir. Çünkü bu öğrenme performansını etkilemektedir. Örneklerin YSA ağına sunulma şekilleri ile ilgili teorik bilgiler çalışmanın üçüncü bölümünde anlatılmış olup iki adet sunulma şeklinin olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda bunlardan rastgele sunum şekli kullanılmıştır. Rastgele sunum şeklinde örnekler eğitim seti içinden rastgele seçilir.

4.3.12.7. Yapay Sinir Ağları Mimarisini Belirleme Denemeleri

Bir YSA tasarımı temel amaç, YSA sisteminin mümkün olduğunca basit bir yapıda tasarlanmasına dikkat etmektir. Bu karmaşıklığın artması öğrenme sürecini doğrudan artırmakta ve yapının performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

YSA'nın mimarisini belirleme denemelerinde tasarlanan YSA ağında;

- Kaç tane gizli katman bulunacağı ve bu gizli katmanlarda nöron sayısının ne olacağı,
- Gizli katman ile çıktı katmanındaki transfer fonksiyonların ne olacağı,

- Hangi öğrenme algoritmasının kullanılacağı ve bu öğrenme algoritmalarının öğrenme katsayısı ile başlangıç parametrelerinin değerlerinin ne olacağını,
- Ağın performansının hangi kriterlere göre ölçüleceği ile ilgili hususlar bulunmaya çalışılır.

YSA'nın tasarlanmasında, en uygun sayıdaki katman ve bu katmanlardaki nöron sayısını bulmak için herhangi bir kuralın olmadığı daha önce ifade edilmişti. Başlangıçta YSA modeli için bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanı seçilir. Daha sonra gizli katman sayısı ve bu katmandaki nöron sayısı artırılır. Dolayısıyla çalışmada, çok katmanlı ve modüler YSA modellerinin eğitilmesinde bir gizli katman ve bu gizli katmanda beş nöron olacak şekilde uygulamaya başlanmıştır. Ancak yine daha önce belirtildiği üzere literatürde gizli katmanın bir veya en fazla iki olması konusunda çeşitli önerilerin olmasından dolayı çalışmada sadece bir gizli katmanın denemesi yapılmış ve her iki ağda bu şekilde uygulanmıştır.

4.3.12.7.1. Modelde Gizli ve Çıktı Katmanlarında Transfer Fonksiyonların Seçimi Aşaması

Çalışma kullanılan Neurosolution paket programında hem çok katmanlı YSA modelinde hem de modüler YSA modelinde mevcut bütün öğrenme algoritmalarında kullanabileceğimiz sekiz adet transfer fonksiyonu bulunmaktadır. Bu transfer fonksiyonları **TanhAxon**, **SigmoidAxon**, **LinearTanhAxon**, **LinearSigmoidAxon**, **SoftMaxAxon**, **BiasAxon**, **LinearAxon** ve **Axon** transfer fonksiyonlarıdır.

Çok katmanlı ve modüler YSA modellerinde çıktı değerleri vektörel olarak sıfır ve bir değerleri arasında kodlanmasından dolayı çıkış katmanında transfer fonksiyonu olarak [0-1] arasında değerler üreten SigmoidAxon transfer fonksiyonu seçilmiştir.

Çok katmanlı ve modüler YSA modellerinde gizli katman için kullanılan transfer fonksiyonu ise kalite kontrol grafiklerinde YSA'ların kullanımı ile ilgili yapılan literatür çalışması sonucunda belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmada her iki YSA modelinde TanhAxon ve SigmoidAxon fonksiyonları belirlenmiş ve yine çıktı katmanında olduğu gibi iteratif olarak denenerek her bir ağ için en uygun transfer fonksiyonunun hangisi olduğuna karar verilmiştir. Gizli katmanında transfer fonksiyonu olarak kullanılmak üzere seçilen iki adet transfer fonksiyonu ile ilgili yapılan iteratif denemelerin sonuçları ise bu çalışmada verilmiştir.

4.3.12.7.2. Modelde Öğrenme Algoritmasının Seçimi Aşaması

Yapılan çalışmada, kullanılan Neurosolution paket programında hem çok katmanlı YSA modelinde hem de modüler YSA modelinde kullanılabilen beş adet öğrenme algoritması **Step**, **Momentum**, **DeltaBarDelta**, **Hızlı Yayılım** (*Quick Propagation-QuickProp*), **Levenberg-Marquardt** ve **Conjugate Gradient** öğrenme algoritmalarıdır. Bu öğrenme algoritmaları YSA ağ topolojilerinin oluşturma aşamalarında duruma uyan en iyi öğrenme algoritmaların seçiminde kullanılmıştır. Neurosolution paket programında yer alan bu öğrenme algoritmaları ile ilgili teorik bilgiler müteakip paragraflarda yer almaktadır. Ancak öğrenme algoritmaları ile ilgili teorik bilgilerin verilmesi aşamasında matematiksel formülasyona girilmemiştir ve teori genel olarak ne olduğu verilmiştir.

4.3.12.7.2.1. DeltaBarDelta Öğrenme Algoritması

DeltaBarDelta (DBD) öğrenme algoritması, çok katmanlı YSA'da bağlantı ağırlıklarının yakınsama hızını artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu algoritmanın dayandığı temel fikir, geri yayılım algoritmasında kullanılan öğrenme katsayısının, her ağırlık değeri için farklı olabileceğidir. Bir ağırlık değeri için uygun olan öğrenme katsayısı, diğeri için uygun olmayabilir. Öğrenme katsayısının her ağırlık için ayrı belirlenmesi ve iterasyonlarda güncellenmesi hata fonksiyonunun en küçük değerine yaklaşmayı kolaylaştıracaktır (Pham ve Sağiroğlu, 2001).

4.3.12.7.2.2. Hızlı Yayılım (*Quick Propagation-QuickProp*) Öğrenme Algoritması

Hızlı yayılım (*Quick Propagation-QuickProp*) öğrenme algoritması, çok katmanlı YSA modellerinin eğitilmesinde kullanılan sezgisel bir öğrenme algoritmasıdır. Newton metoduna dayanan söz konusu olan ağ, Fahlman (1988) tarafından geliştirilmiştir (Patterson, 1996). Bu algortmada Geri Yayılma Algoritmasında hesaplanan hata, hata yüzeyinin eğiminden faydalanılarak daha hızlı küçültölmeye çalışılır (Pham ve Sağiroğlu, 2001). Hızlı yayılım (*Quick Propagation-QuickProp*) öğrenme algoritmasının performansı, diğör öğrenme algoritmaları ile karşılaştırıldığında literatürde oldukça iyi olduğu belirtilmektedir. Özellikle gürültü

seviyesi az olan problemlerde, Genişletilmiş DBD (*Extended DBD (EDBD)*) öğrenme algoritması kadar iyi sonuç vermektedir.

4.3.12.7.2.3. Levenberg Marquardt Öğrenme Algoritması

Levenberg Marquardt öğrenme algoritması, en küçük kareler metodu ile hesaplanan maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir öğrenme algoritmasıdır. Levenberg Marquardt öğrenme algoritması, Gauss-Newton algoritması ile Steepest-Descent algoritmasının en iyi özelliklerinden oluşur. Bu metot yavaş yakınsama probleminden etkilenmez.

4.3.12.7.2.4. Conjugate Gradient Öğrenme Algoritması

Conjugate Gradient öğrenme algoritması, her bir iterasyonda doğrultu aratma işlemi gerektirmektedir. Arama doğrultusu, periyodik olarak eğimin negatifi olarak oluşturulur. Bu algorithmada, eğimin azaltma yöntemindeki doğrultulardan genellikle daha hızlı yakınsayan eşleştirme doğrultularında bir arama işlemi yapılır. Literatürde Conjugate Gradient öğrenme algoritmasının farklı çeşitleri bulunmaktadır.

Hem çok katmanlı YSA modelinde hem de modüler YSA modelinde kullanılan öğrenme algoritması deneme yanılma yolu ile seçilmiştir. Öğrenme algoritmasının seçilmesi için yapılan deneme çalışmaları ile elde edilen sonuçlar **Tablo 4.35**, **Tablo 4.36**, **Tablo 4.37** ve **Tablo 4.38**'de yer almaktadır.

4.3.12.7.3. Modelde Öğrenme Katsayısının, Performans Fonksiyonunun Seçimi Aşaması

Çalışmamızda kullanılacak olan çok katmanlı ve modüler YSA modellerinin performanslarının değerlendirilmesinde;

- Öğrenme katsayısı veya eşik değeri olarak 0.01 değeri,
- Öğrenme fonksiyonu olarak ortalama karesel hata (*Mean Square Error (MSE)*), belirlilik katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak yüzde hata (*mean absolute percentage error (MAPE)*) performans fonksiyonları kullanılmıştır.

MSE, değişen miktarların büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan bir istatistiksel ölçüttür ve istenen çıkışın, ağ çıkışına ne kadar iyi uyup uymadığına karar vermek için

kullanılan bir değerdir (Greger, Andersson ve Kaufmann, 2000). Özellikle *MSE* değeri öğrenme katsayısı veya eşik değeri olarak seçilen 0,01 değerinin altına inmelidir.

Korelasyon katsayısı (r) YSA çıkışının iyi eğitilip eğitilmediğine karar vermek için kullanılan bir büyüklüktür. Korelasyon katsayısı istenen ağ çıkışı ile hedeflenen çıkış arasında farka bağlı olarak elde edilen bir katsayıdır. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında değişir. $r=1$ olması durumunda ağ çıkışı ile hedeflenen çıkış arasında mükemmel bir benzerlik olduğu kabul edilir. $r=-1$ olduğunda ağ çıkışı ile hedeflenen çıkış arasında ters yönde bir ilişki olduğu kabul edilir. $r=0$ olduğunda ise ağ çıkışı ile hedeflenen çıkış arasında herhangi bir benzerlik bulunmamaktadır.

Öğrenme fonksiyonlarından ortalama karesel hata ile ortalama mutlak yüzde hata değerlerinden en küçük değere ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri olarak $+1$ değerine en yakın değere sahip model en iyi çözüm veren modeldir. Dolayısıyla çalışmamızda en iyi ağ modelini seçerken bu genel kural uygulanacaktır.

4.3.12.7.4. Ham ve Özellikli Verili Çok Katmanlı ve Modüler YSA Parametre Başlangıç Değerleri

YSA'larda kullanılan öğrenme algoritmalarında uygun parametre değerlerinin seçimi ağ tasarımında oldukça önemli bir yere sahiptir. Öğrenme algoritmalarından Momentum öğrenme algoritmasında iki adet parametre, QuickProp öğrenme algoritmasında iki adet parametre ve DeltaBarDelta öğrenme algoritmasında dört adet parametre bulunmaktadır. Conjugate Gradient ve Levenberg Marquardt öğrenme algoritmalarında ise herhangi bir parametre bulunmamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli husus, parametre sayısı farklı olan algoritmaların doğru değerlerinin belirlenebilme güçlüğüdür.

Çok katmanlı ve modüler YSA modellerini eğitmede kullanılan farklı öğrenme algoritmaları için en uygun parametre değerlerinden bazıları deneysel olarak elde edilmiş ve bazıları ise literatür taramasında bazı çalışmalarda kullanılan değerlerden alınmıştır. Ancak daha çok deneysel olarak elde edilme yolu tercih edilmiştir. Bu kapsamda öğrenme algoritmalarının parametre değerleri ile ilgili deneysel olarak elde edilmiş değerler **Tablo 4.34'**de yer almaktadır.

Tablo 4.34:Deneyisel Olarak Elde Edilen Öğrenme Algoritmalarının Parametre Değerleri

Öğrenme Algoritması	Adım sayısı (Step size)	Additive	Multiplicative	Düzleştirme (Smoothing)	Momentum	Açıklama
Momentum	0.1	-	-	-	0.7	
Conjugate Gradient	-	-	-	-	-	Parametresi yoktur
Levenberg Marquardt	-	-	-	-	-	Parametresi yoktur
Hızlı Yayılım (QuickProp)	0.1	-	-	-	0.1	
DeltaBarDelta	0.1	0.01	0.1	0.5	-	

Çok katmanlı ve modüler YSA modelleri hem ham giriş verili hem de özellikli giriş verileri için tek ara veya gizli katmanlı olarak dizayn edilmiştir. Zaten literatür incelemesinde belirtildiği üzere gizli katman sayısının bir veya en çok iki olması önerilmektedir. Ayrıca ara katman sayısının bir seçilmesinin diğer nedeni sınıflandırma problemlerinde farklı sonuçlar elde edilmesidir.

Yukarıda belirtilen hususlar dâhilinde çalışmamız için çok katmanlı ve modüler YSA modellerinin hem ham giriş hem de özellikli giriş verileri için uygun ağ modellerini seçmek için yapılan denemeler **Tablo 4.35**, **Tablo 4.36**, **Tablo 4.37** ve **Tablo 4.38**'de yer almaktadır.

Tablo 4.35:Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA, Gizli Katman Sayısı:1

Öğrenme Algoritması	Transfer Fonksiyonu	GKNS	Epoch	MSE	NMSE	r	R^2	% Hata
Momentum	Tanh Axon	15	462	0.0199	0.2009	0.8965	0.80371	3.309
		20	419	0.0199	0.2010	0.8973	0.80515	3.2604
		25	428	0.0199	0.2028	0.8964	0.80353	3.1352
		30	305	0.0198	0.2003	0.8992	0.80856	3.1628
		35	299	0.0198	0.2005	0.8959	0.80264	3.1407
		40	297	0.0198	0.2006	0.8964	0.80353	3.1363
		45	295	0.0198	0.2006	0.8937	0.7987	3.075
	Sigmoid Axon	15	1000	0.0549	0.5542	0.6934	0.4808	7.6604
		20	1000	0.0511	0.5161	0.7139	0.50965	7.2222
		25	1000	0.0465	0.4707	0.7569	0.5729	6.8166
		30	1000	0.0423	0.4376	0.7679	0.58967	6.4245
		35	1000	0.0404	0.4084	0.7685	0.59059	6.1340
		40	1000	0.0401	0.4056	0.7856	0.61717	6.1089
		45	1000	0.0383	0.3866	0.7988	0.63808	5.8617
Conjugate Gradient	Tanh Axon	15	31	0.0177	0.1789	0.9109	0.82974	2.8872
		20	24	0.0137	0.1382	0.9304	0.8656	1.5542
		25	27	0.0171	0.1733	0.9135	0.83448	2.5672
		30	23	0.0167	0.1694	0.9151	0.83741	2.6656
		35	35	0.0181	0.1832	0.9028	0.81505	2.7127
		40	21	0.0173	0.1754	0.9091	0.82646	2.7826
		45	23	0.0168	0.1699	0.9119	0.83156	2.5830
	Sigmoid	15	91	0.0194	0.1965	0.9167	0.84034	3.4409

	Axon	20	217	0.0197	0.1931	0.9025	0.81451	3.4278
		25	124	0.0185	0.1874	0.9225	0.85101	3.4448
		30	205	0.0173	0.1752	0.9224	0.85082	3.3157
		35	1000	0.0421	0.4257	0.6757	0.45657	5.8942
		40	340	0.0199	0.2008	0.8959	0.80264	3.3880
		45	1000	0.0188	0.1903	0.9156	0.83832	3.1256
Levenberg Marquardt	Eğitmek için çok fazla bilgisayar belleği ve zaman gerekmektedir. Bundan dolayı tercih edilmemiştir.							
Hızlı Yayılım (QuickProp)	Tanh Axon	15	1000	0.0267	0.2701	0.8671	0.75186	4.1075
		20	1000	0.0247	0.2501	0.8722	0.76073	3.8615
		25	1000	0.0231	0.2339	0.8758	0.76703	3.5786
		30	1000	0.0199	0.2013	0.9006	0.81108	3.2860
		35	1000	0.0204	0.2063	0.8919	0.79549	3.1964
		40	1000	0.0199	0.2014	0.8968	0.80425	3.2083
		45	898	0.0199	0.2013	0.8962	0.80317	3.0761
	Sigmoid Axon	15	1000	0.0810	0.8175	0.5916	0.34999	10.4202
		20	1000	0.0818	0.8263	0.5754	0.33109	10.5850
		25	1000	0.0790	0.7974	0.6144	0.37749	10.2686
		30	1000	0.0749	0.7560	0.6686	0.44703	9.9113
		35	1000	0.0693	0.6993	0.6591	0.43441	9.2929
		40	1000	0.0730	0.7366	0.6435	0.41409	9.6662
		45	1000	0.0662	0.6681	0.6850	0.46923	9.002
DeltaBarDelta	Tanh Axon	15	106	0.0191	0.1931	0.9031	0.81559	3.2042
		20	97	0.0192	0.1939	0.9032	0.81577	3.1746
		25	87	0.0190	0.1918	0.9054	0.81975	3.1613
		30	88	0.0192	0.1942	0.8992	0.80856	3.0608
		35	85	0.0192	0.1944	0.8998	0.80964	3.0445
		40	84	0.0191	0.1928	0.9022	0.81396	3.0743
		45	77	0.0192	0.1945	0.8996	0.80928	3.0268
	Sigmoid Axon	15	313	0.0196	0.1978	0.9040	0.81722	3.4343
		20	285	0.0196	0.1983	0.9030	0.81541	3.4982
		25	289	0.0197	0.1991	0.8999	0.80982	3.3285
		30	272	0.0196	0.1987	0.9064	0.82156	3.4171
		35	268	0.0196	0.1986	0.9024	0.81433	3.3933
		40	268	0.0197	0.1994	0.8969	0.80443	3.3229
		45	259	0.0197	0.1996	0.8979	0.80622	3.3861

Tablo 4.36:Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA, Gizli Katman Sayısı:1

Öğrenme Algoritması	Transfer Fonksiyonu	GKNS	Epoch	MSE	NMSE	r	R^2	% Hata
Momentum	Tanh Axon	15	1000	0.0361	0.364	0.7839	0.6145	5.3192
		20	1000	0.0326	0.329	0.8121	0.65951	4.8754
		25	1000	0.0335	0.338	0.7946	0.63139	4.9864
		30	1000	0.0318	0.321	0.8061	0.6498	4.7432
		35	1000	0.0295	0.2983	0.8294	0.6879	4.4685
		40	1000	0.0308	0.3112	0.8132	0.66129	4.5874
		45	1000	0.0301	0.3036	0.8233	0.67782	4.482
	Sigmoid Axon	15	1000	0.092	0.9293	0.4897	0.23981	11.5729
		20	1000	0.0825	0.8333	0.5146	0.26481	10.664
		25	1000	0.0845	0.8507	0.5074	0.25745	10.822
		30	1000	0.0886	0.8942	0.4639	0.2152	11.228
		35	1000	0.077	0.7771	0.5419	0.29366	10.089
		40	1000	0.0811	0.8188	0.4911	0.24118	10.4866
		45	1000	0.0799	0.8063	0.5287	0.27952	10.3974
Conjugate Gradient	Tanh Axon	15	123	0.0184	0.186	0.9076	0.8237	3.1957
		20	160	0.0198	0.2002	0.8946	0.80031	3.0673
		25	1000	0.0773	7.8094	0.9	0.81	0.79
		30	128	0.0196	0.1983	0.8951	0.8012	3.122
		35	523	0.0196	0.1987	0.8966	0.80389	3.102
		40	141	0.0192	0.1943	0.8967	0.80407	2.766
		45	1000	0.0237	0.239	0.5597	0.31326	2.88

	Sigmoid Axon	15	1000	0.0345	0.348	0.773	0.59753	4.992
		20	1000	0.0398	0.402	0.735	0.54023	5.684
		25	367	0.0188	0.18	0.904	0.82416	3.862
		30	786	0.0199	0.2016	0.8903	0.79263	3.049
		35	1000	0.0361	3.651	0.2973	0.08839	3.994
		40	1000	0.0329	0.3328	0.802	0.6432	4.731
		45	684	0.0199	0.2014	0.887	0.78677	2.864
Levenberg Marquardt	Eğitmek için çok fazla bilgisayar belleği ve zaman gerekmektedir. Bundan dolayı tercih edilmemiştir.							
Hızlı Yayılım (QuickProp)	Tanh Axon	15	1000	0.062	0.6257	0.6205	0.38502	8.191
		20	1000	0.0617	0.622	0.6	0.36	8.072
		25	1000	0.0546	0.5511	0.6488	0.42094	7.324
		30	1000	0.0596	0.6023	0.6098	0.37186	7.919
		35	1000	0.0514	0.5196	0.6744	0.45482	7.063
		40	1000	0.0473	0.4777	0.7101	0.50424	6.632
		45	1000	0.0486	0.491	0.7032	0.49449	6.737
	Sigmoid Axon	15	1000	0.0968	0.9771	0.4317	0.18636	12.018
		20	1000	0.0971	0.98	0.3744	0.14018	12.046
		25	1000	0.0971	0.9799	0.3825	0.14631	12.043
		30	1000	0.0972	0.9815	0.2565	0.06579	12.063
		35	1000	0.0967	0.9767	0.26	0.0676	12.018
		40	1000	0.0943	0.9522	0.4718	0.2226	11.784
		45	1000	0.0958	0.9676	0.3451	0.11909	11.931
DeltaBarDelta	Tanh Axon	15	257	0.0195	0.1975	0.8978	0.80604	3.132
		20	235	0.0195	0.1976	0.8953	0.80156	3.137
		25	250	0.0196	0.1983	0.8943	0.79977	3.122
		30	224	0.0195	0.1974	0.8963	0.80335	3.155
		35	230	0.0196	0.1984	0.8944	0.79995	3.141
		40	228	0.0195	0.1977	0.8942	0.79959	3.113
		45	232	0.0196	0.1985	0.8937	0.7987	3.104
	Sigmoid Axon	15	711	0.0198	0.2003	0.8934	0.79816	3.106
		20	706	0.0198	0.2004	0.893	0.79745	3.099
		25	713	0.0198	0.2003	0.8928	0.79709	3.084
		30	800	0.0198	0.2003	0.8905	0.79299	3.006
		35	742	0.0198	0.2003	0.8921	0.79584	3.063
		40	759	0.0198	0.2004	0.8921	0.79584	3.043
		45	1000	0.0405	0.4094	0.8972	0.80497	5.0

Tablo 4.37:Ham Giriş Verili Modüler YSA, Gizli Katman Sayısı:1

Öğrenme Algoritması	Transfer Fonksiyonu	GKNS	Epoch	MSE	NMSE	r	R^2	% Hata
Momentum	Tanh Axon	15	389	0.0198	0.2012	0.8971	0.80479	3.0477
		20	275	0.0198	0.2009	0.8961	0.803	2.99
		25	279	0.0198	0.2009	0.8961	0.803	2.8876
		30	263	0.0198	0.2010	0.8949	0.80085	2.9372
		35	217	0.0198	0.2009	0.8956	0.8021	2.9532
		40	210	0.0198	0.2005	0.8960	0.80282	2.8890
		45	189	0.0198	0.2007	0.8953	0.80156	2.8635
	Sigmoid Axon	15	1000	0.0288	0.2916	0.8532	0.72795	4.7400
		20	1000	0.0201	0.2850	0.8568	0.73411	4.6420
		25	1000	0.0274	0.2779	0.8593	0.7384	4.5351
		30	1000	0.028	0.2717	0.8625	0.74391	4.4722
		35	1000	0.0263	0.2663	0.8648	0.74788	4.3681
		40	1000	0.0258	0.2613	0.8675	0.75256	4.3077
		45	1000	0.0247	0.2499	0.8727	0.76161	4.1427
Conjugate Gradient	Tanh Axon	15	28	0.0185	0.1874	0.9031	0.81559	2.5378
		20	218	0.0550	0.1520	0.9320	0.86862	1.6139
		25	205	0.0156	0.1579	0.9394	0.88247	1.3514
		30	1000	0.1043	1.0552	0.3198	0.10227	10.6211
		35	157	0.0161	0.1633	0.9205	0.84732	1.9393
		40	40	0.0165	0.1669	0.9178	0.84236	2.0837

	Sigmoid Axon	45	173	0.0103	0.1042	0.9577	0.9172	1.8665
		15	222	0.0198	0.2011	0.8963	0.80335	3.3184
		20	1000	0.3763	3.8059	-1.0001	1E+08	5.9982
		25	1000	0.1311	1.3261	0.0032	1E-05	15.0793
		30	1000	0.2110	2.1345	0.3104	0.09635	11.61
		35	1000	0.0660	0.6653	0.7924	0.6279	7.93
		40	252	0.0199	0.2016	0.8961	0.803	3.351
		45	344	0.0199	0.2017	0.8953	0.80156	3.2477
Levenberg Marquardt	Eğitmek için çok fazla bilgisayar belleği ve zaman gerekmektedir. Bundan dolayı tercih edilmemiştir.							
Hızlı Yayılım (QuickProp)	Tanh Axon	15	1000	0.0207	0.2098	0.8937	0.7987	3.183
		20	899	0.0199	0.2018	0.8961	0.803	3.011
		25	753	0.0199	0.2018	0.8959	0.80264	2.975
		30	691	0.0199	0.2017	0.8971	0.80479	2.956
		35	713	0.0199	0.2014	0.8965	0.80371	2.953
		40	552	0.0199	0.2015	0.8971	0.80479	2.947
		45	604	0.0199	0.2016	0.8962	0.80317	2.906
	Sigmoid Axon	15	1000	0.0488	0.4940	0.7572	0.57335	7.064
		20	1000	0.049	0.4955	0.7463	0.55696	7.047
		25	1000	0.0456	0.4611	0.7770	0.60373	6.801
		30	1000	0.0443	0.4480	0.7770	0.60373	6.632
		35	1000	0.0443	0.4480	0.7691	0.59151	6.570
		40	1000	0.0437	0.4427	0.7806	0.60934	6.595
		45	1000	0.0471	0.4771	0.7472	0.55831	6.92
DeltaBarDelta	Tanh Axon	15	87	0.0191	0.194	0.9011	0.81198	2.97
		20	76	0.0190	0.192	0.9027	0.81487	2.97
		25	81	0.0194	0.196	0.8579	0.73599	2.88
		30	72	0.0191	0.193	0.9003	0.81054	2.83
		35	69	0.0190	0.192	0.9002	0.81036	2.82
		40	67	0.0193	0.194	0.8995	0.8091	2.83
		45	66	0.0192	0.1943	0.9013	0.81234	2.78
	Sigmoid Axon	15	251	0.0198	0.2009	0.8963	0.80335	3.314
		20	243	0.0198	0.2008	0.8962	0.80317	3.305
		25	231	0.0198	0.2007	0.8964	0.80353	3.31
		30	238	0.0198	0.2007	0.8965	0.80371	3.286
		35	430	0.199	0.2009	0.8920	0.79566	3.2454
		40	396	0.0199	0.2009	0.8921	0.79584	3.2627
		45	393	0.0198	0.2007	0.8920	0.79566	3.2390

Tablo 4.38:Özellikli Giriş Verili Modüler YSA, Gizli Katman Sayısı:1

Öğrenme Algoritması	Transfer Fonksiyonu	GKNS	Epoch	MSE	NMSE	r	R^2	% Hata
Momentum	Tanh Axon	15	1000	0.0311	0.3146	0.7982	0.63712	4.656
		20	1000	0.0291	0.2947	0.822	0.67568	4.397
		25	1000	0.0293	0.295	0.827	0.68393	4.3864
		30	1000	0.0290	0.2935	0.827	0.68393	4.3416
		35	1000	0.0281	0.2838	0.8348	0.69689	4.2296
		40	1000	0.0285	0.2876	0.83	0.6889	4.2374
		45	1000	0.0277	0.2802	0.8349	0.69706	4.1152
	Sigmoid Axon	15	1000	0.0676	0.6825	0.5984	0.35808	9.1017
		20	1000	0.0688	0.6946	0.578	0.33408	9.201
		25	1000	0.0662	0.6689	0.5956	0.35474	8.9433
		30	1000	0.0644	0.6503	0.6060	0.36724	8.7305
		35	1000	0.0651	0.6577	0.5899	0.34798	8.7643
		40	1000	0.0637	0.6432	0.6065	0.36784	8.6241
		45	1000	0.0623	0.6291	0.6209	0.38552	8.4913
Conjugate Gradient	Tanh Axon	15	285	0.0198	0.1999	0.8945	0.80013	3.2334
		20	147	0.0195	0.1974	0.8944	0.79995	2.9325
		25	541	0.0199	0.2010	0.8906	0.79317	3.0797
		30	465	0.0198	0.1999	0.8936	0.79852	3.122
		35	670	0.0199	0.2009	0.8908	0.79352	3.064

	Sigmoid Axon	40	162	0.0198	0.2006	0.8902	0.79246	3.036
		45	232	0.0183	0.185	0.9036	0.8164	2.5377
		15	482	0.0196	0.1983	0.8914	0.79459	2.9132
		20	1000	0.0308	0.3109	0.8075	0.65206	4.4783
		25	820	0.0197	0.1992	0.8903	0.79263	2.9709
		30	1000	0.0216	0.2181	0.8739	0.7637	2.9076
		35	1000	0.0289	0.2925	0.8181	0.66929	4.088
		40	1000	0.0	0.	0.	0	
		45	1000	0.0291	0.2941	0.8182	0.66945	4.224
Levenberg Marquardt	Eğitmek için çok fazla bilgisayar belleği ve zaman gerekmektedir. Bundan dolayı tercih edilmemiştir.							
Hızlı Yayılım (QuickProp)	Tanh Axon	15	1000	0.0545	0.5508	0.6657	0.44316	7.381
		20	1000	0.0471	0.4753	0.7144	0.51037	6.586
		25	1000	0.0456	0.4607	0.7059	0.49829	6.405
		30	1000	0.0438	0.4426	0.7394	0.54671	6.218
		35	1000	0.043	0.4349	0.7438	0.55324	6.112
		40	1000	0.0441	0.4458	0.7235	0.52345	6.216
		45	1000	0.042	0.4242	0.7482	0.5598	5.946
	Sigmoid Axon	15	1000	0.084	0.8481	0.5093	0.25939	10.81
		20	1000	0.0875	0.8836	0.5372	0.28858	11.136
		25	1000	0.0832	0.8404	0.5138	0.26399	10.73
		30	1000	0.0843	0.8512	0.4973	0.24731	10.832
		35	1000	0.0866	0.8744	0.4986	0.2486	11.043
		40	1000	0.0812	0.82	0.4912	0.24128	10.525
		45	1000	0.0845	0.853	0.5306	0.28154	10.836
DeltaBarDelta	Tanh Axon	15	244	0.0196	0.1984	0.8937	0.7987	3.099
		20	232	0.0196	0.1978	0.8943	0.79977	3.106
		25	226	0.0196	0.1985	0.8949	0.80085	3.099
		30	224	0.0196	0.1987	0.8925	0.79656	3.097
		35	231	0.0197	0.1992	0.8909	0.7937	3.078
		40	235	0.0197	0.1995	0.8932	0.79781	3.189
		45	232	0.0197	0.1995	0.8901	0.79228	3.048
	Sigmoid Axon	15	819	0.0198	0.2005	0.8908	0.79352	3.048
		20	1000	0.0303	0.3060	0.8944	0.79995	4.1474
		25	1000	0.0301	0.3046	0.8771	0.7693	3.583
		30	1000	0.0313	0.3163	0.8849	0.78305	4.283
		35	1000	0.0412	0.4161	0.8376	0.70157	5.073
		40	1000	0.0413	0.4175	0.8346	0.69656	5.09
		45	1000	0.0412	0.4164	0.8301	0.68907	5.075

4.3.12.7.5. Çok Katmanlı ve Modüler YSA Modellerin Performanslarının Değerlendirilmesi

4.3.12.7.5.1. Genel:

Uygun ağ modellerini seçmek için yapılan denemeler **Tablo 4.35**, **Tablo 4.36**, **Tablo 4.37** ve **Tablo 4.38**'de sunulmuştur. Tabloların birinci sütununda denemesi yapılan öğrenme algoritmaları, ikinci sütununda denemesi yapılan gizli katmandaki transfer fonksiyonları, üçüncü sütununda denemesi yapılan gizli katman nöron sayısı, dördüncü sütununda örneklerin ağa gösterilme sayısı olan epoch sayısı, beşinci sütununda ağların performans fonksiyonlarından ortalama karesel hata (MSE), altıncı sütunda ortalama karesel hata (MSE)'nin normalize edilmiş değerleri, yedinci

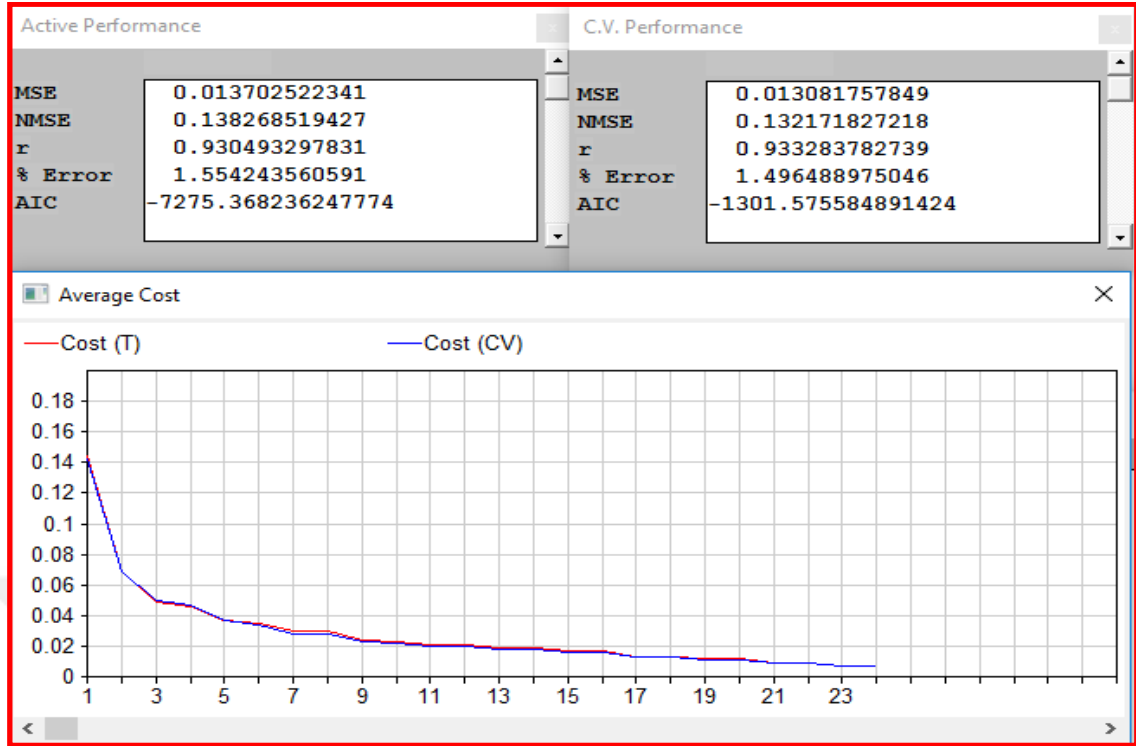
sütununda ağırların çıktı değerleri ile beklenen değerleri arasındaki korelasyon katsayısı değerleri, sekizinci sütununda belirlilik katsayısı değerleri ve dokuzuncu sütununda ise yanlış tahmin yüzdesi değerleri yer almaktadır. Yapılan seçim sonucunda ağırların en küçük ortalama karesel hata (MSE) değerine, en büyük belirlilik katsayısına ve en küçük yanlış tahmin yüzdesi değerlerine sahip olması beklenmektedir. Bu kapsamda yapılan denemeler sonucunda en uygun çok katmanlı YSA modeli ile modüler YSA modelinin seçimi konusunda elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

4.3.12.7.5.2. Çok Katmanlı YSA Modeli

4.3.12.7.5.2.1. Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli

Ham giriş verili çok katmanlı YSA modeli için gizli katmanda kaç tane nöron bulunacağı, gizli katmanda hangi transfer fonksiyonunun kullanılması gerektiği ve hangi öğrenme algoritmasının ağa en fazla fayda sağladığını bulmak için ortalama karesel hata, ortalama mutlak yüzde hata ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri dikkate alınarak yapılan denemeler sonucunda 35 x 20 x 7 ağ modelinin en uygun olduğu tespit edilmiştir. Seçilen modelde ortalama karesel hata yöntemine göre hata payı 0.0137 olarak elde edilmiştir. Elde edilen mutlak yüzde hata yöntemine göre yanlış tahmin yüzdesi 1.5542 ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri 0.8656 olarak gerçekleşmiştir. Test setine ilişkin hata payı 0.0137, yanlış tahmin yüzdesi 1.527 ve doğru sınıflandırma yüzdesi 98.473'dür. Ayrıca sınıflandırma başarısı ölçümünün grafiksel olarak yapılabilmesi için test sonucu elde edilen çıkış verileri analiz edilerek ROC (*Receiver Operating Characteristic*) eğrisi hesaplanır. Doğru ve yanlış sınıflama bilgisine bakılarak belirlilik ve duyarlılık arasındaki ilişki bu grafikte görülebilir. Ayrıca ROC eğrisi altında kalan alan da hesaplanarak sinir ağının performansı ölçülebilir.

Active Confusion Matrix								
	ÇIKTI1	ÇIKTI2	ÇIKTI3	ÇIKTI4	ÇIKTI5	ÇIKTI6	ÇIKTI7	
ÇIKTI1	88.495575221239	0.884955752212	0.884955752212	6.194690265487	1.769911504425	0.000000000000	1.769911504425	
ÇIKTI2	0.000000000000	95.327102803738	0.000000000000	4.672897196262	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	
ÇIKTI3	0.000000000000	0.000000000000	97.402597402597	0.000000000000	2.597402597403	0.000000000000	0.000000000000	
ÇIKTI4	0.000000000000	1.075268817204	0.000000000000	98.924731182796	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	
ÇIKTI5	1.010101010101	0.000000000000	4.040404040404	0.000000000000	94.949494949495	0.000000000000	0.000000000000	
ÇIKTI6	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	100.000000000000	0.000000000000	
ÇIKTI7	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	100.000000000000	



Şekil-4.12:Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları

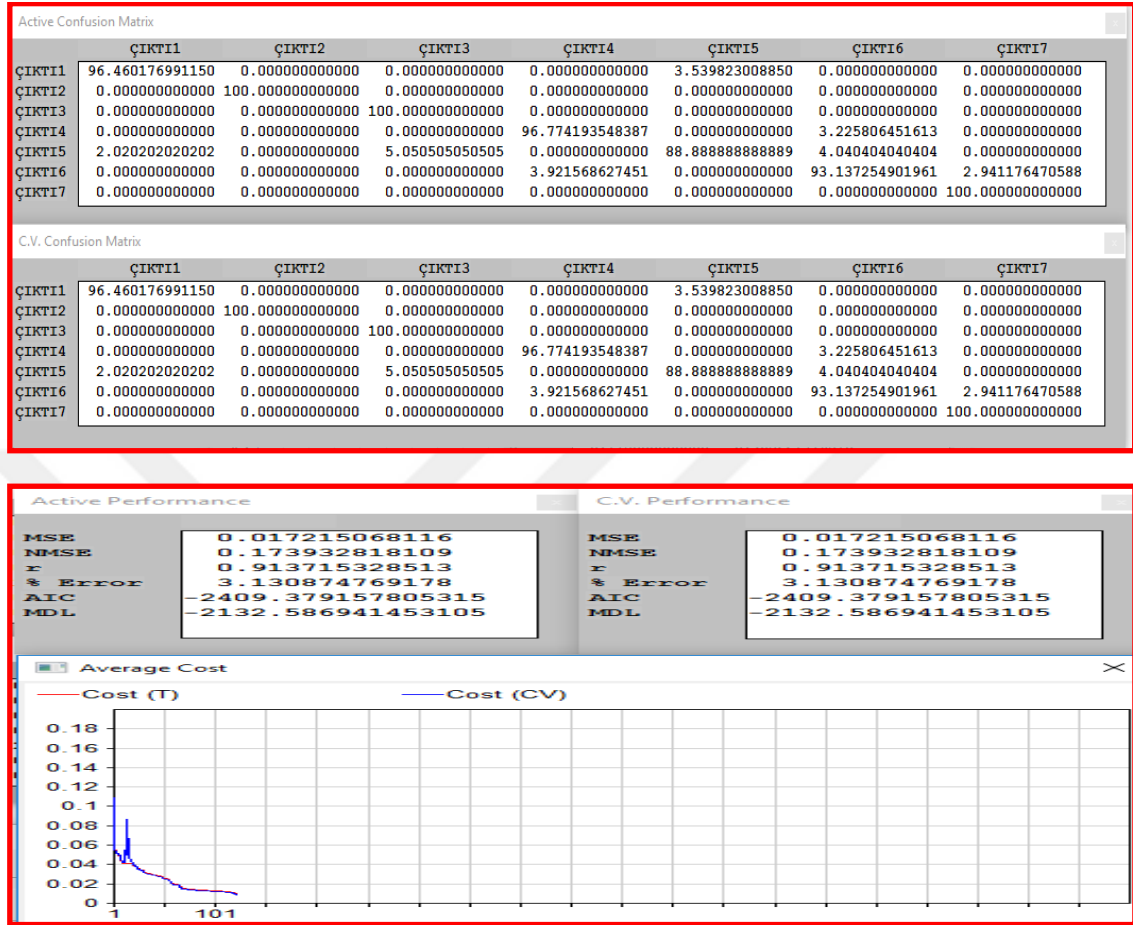
Active Confusion Matrix								Active Performance	
	ÇIKTI1	ÇIKTI2	ÇIKTI3	ÇIKTI4	ÇIKTI5	ÇIKTI6	ÇIKTI7		
ÇIKTI1	84.269662921348	4.494382022472	3.370786516854	5.617977528090	1.123595505618	0.000000000000	1.123595505618	MSE	0.013348772176
ÇIKTI2	0.000000000000	97.247706422018	0.000000000000	2.752293577982	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	NMSE	0.135068774619
ÇIKTI3	0.000000000000	0.000000000000	98.913043478261	0.000000000000	1.086956521739	0.000000000000	0.000000000000	r	0.926541167276
ÇIKTI4	2.272727272727	2.272727272727	0.000000000000	95.454545454545	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	% Error	1.527069046328
ÇIKTI5	7.228915662651	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	92.771084337349	0.000000000000	0.000000000000	AIC	-1287.431609134447
ÇIKTI6	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	100.000000000000	0.000000000000	MDL	-181.538283893131
ÇIKTI7	0.869565217391	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	99.130434782609		

Şekil 4.13:Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Test Sonuçları

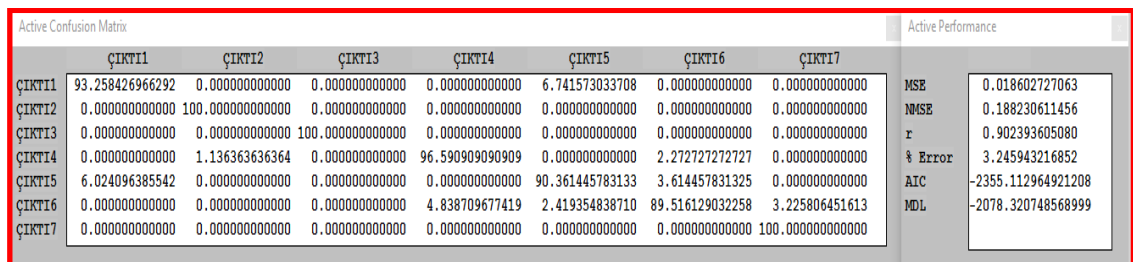
4.3.12.7.5.2.2. Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli

Özellikli giriş verili çok katmanlı YSA modeli için gizli katmanda kaç tane nöron bulunacağı, gizli katmanda hangi transfer fonksiyonunun kullanılması gerektiği ve hangi öğrenme algoritmasının ağa en fazla fayda sağladığını bulmak için ortalama karesel hata, ortalama mutlak yüzde hata ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri dikkate alınarak yapılan deneyler sonucunda 6 x 15 x 7 ağ modelinin en uygun olduğu tespit edilmiştir. Seçilen modelde ortalama karesel hata yöntemine göre hata payı 0.0186 olarak elde edilmiştir. Elde edilen mutlak yüzde hata yöntemine göre yanlış tahmin yüzdesi 3.13 ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri 0.8237 olarak gerçekleşmiştir. Test setine

ilişkin hata payı 0.0186, yanlış tahmin yüzdesi 3.24 ve doğru sınıflandırma yüzdesi 96.76'dır.



Şekil 4.14:Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları



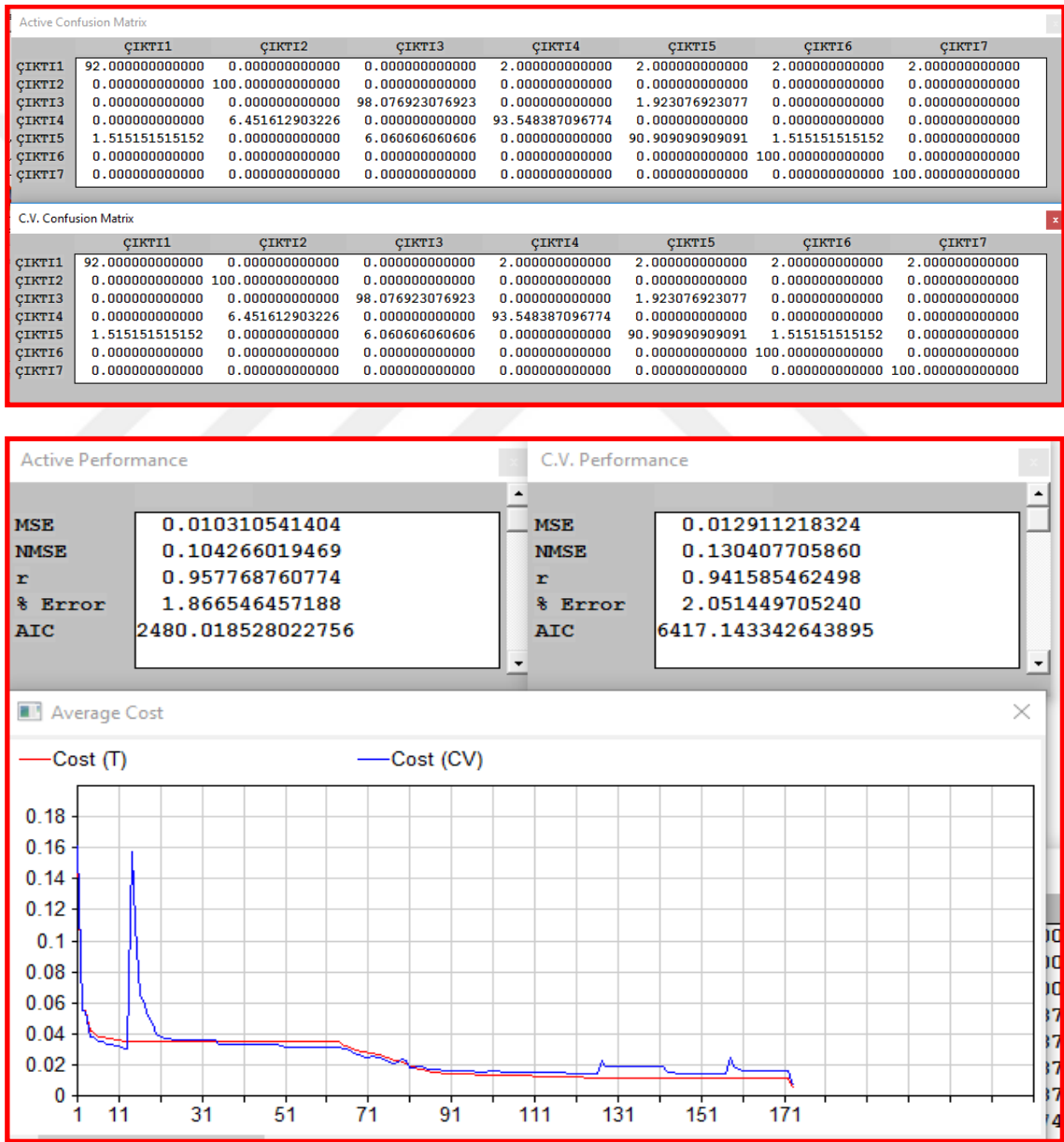
Şekil 4.15:Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli Test Sonuçları

4.3.12.7.5.3. Modüler YSA Modeli

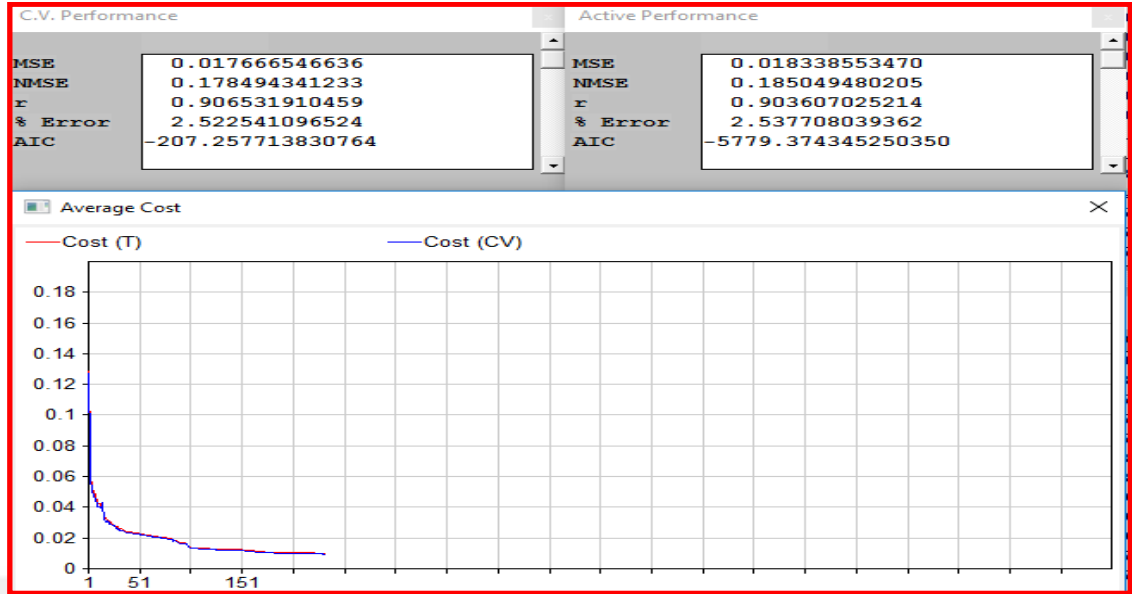
4.3.12.7.5.3.1. Ham Giriş Verili Modüler YSA Modeli

Ham giriş verili modüler YSA modeli için gizli katmanda kaç tane nöron bulunacağı, gizli katmanda hangi transfer fonksiyonunun kullanılması gerektiği ve

hangi öğrenme algoritmasının ağa en fazla fayda sağladığını bulmak için ortalama karesel hata, ortalama mutlak yüzde hata ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri dikkate alınarak yapılan denemeler sonucunda 35 x 45 x 7 ağ modelinin en uygun olduğu tespit edilmiştir. Seçilen modelde ortalama karesel hata yöntemine göre hata payı 0.0103 olarak elde edilmiştir. Elde edilen mutlak yüzde hata yöntemine göre yanlış tahmin yüzdesi 1.8665 ve belirlilik katsayısı (R^2) değeri 0.9172 olarak gerçekleşmiştir. Test setine ilişkin hata payı 0.0141, yanlış tahmin yüzdesi 2.08 ve doğru sınıflandırma yüzdesi 97.92'dir.



Şekil 4.16: Ham Giriş Verili Modüler YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları



Şekil 4.18:Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modeli Eğitim ve Çapraz Geçerlilik Sonuçları

Active Confusion Matrix								Active Performance	
	ÇIKTI1	ÇIKTI2	ÇIKTI3	ÇIKTI4	ÇIKTI5	ÇIKTI6	ÇIKTI7	MSE	
ÇIKTI1	95.505617977528	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	4.494382022472	0.000000000000	0.000000000000	0.017671665900	
ÇIKTI2	0.000000000000	100.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.178809723250	
ÇIKTI3	0.000000000000	0.000000000000	100.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	r	0.900773575473
ÇIKTI4	0.000000000000	1.136363636364	0.000000000000	92.045454545455	0.000000000000	6.818181818182	0.000000000000	% Error	2.512338587599
ÇIKTI5	4.819277108434	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	85.542168674699	9.638554216867	0.000000000000	AIC	-207.054903071879
ÇIKTI6	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	2.419354838710	96.774193548387	0.806451612903	MDL	1462.627176214029
ÇIKTI7	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	100.000000000000		

Şekil 4.19:Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modeli Test Sonuçları

Bu kapsamda yapılan değerlendirme sonucunda seçilen dört adet YSA modeli ile ilgili özet bilgiler, **Tablo 4.39** ve **Tablo 4.40**'da yer almaktadır.

Tablo 4.39:Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli ile Modüler YSA Modeli İle İlgili Özet Bilgiler

	Çok Katmanlı YSA Modeli	Modüler YSA Modeli
Çıktı Sayısı	7	7
Girdi Sayısı	35	35
Gizli Katman Sayısı	1	1
Gizli Katman Nöron Sayısı	20	45
Gizli Katman Transfer Fonksiyonu	TanhAxon	TanhAxon/TanhAxon
Çıktı Katmanı Transfer Fonksiyonu	SinhAxon	SinhAxon
Öğrenme Algoritması	Conjugate Gradient	Conjugate Gradient
Öğrenme Katsayısı	0.01	0.01
Girdilerin Ölçeklendirilmesi	[0-1]	[0-1]

Tablo 4.40:Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modeli ile Modüler YSA Modeli İle İlgili Özet Bilgiler

	Çok Katmanlı YSA Modeli	Modüler YSA Modeli
Çıktı Sayısı	7	7
Girdi Sayısı	6	6
Gizli Katman Sayısı	1	1
Gizli Katman Nöron Sayısı	15	45
Gizli Katman Transfer Fonksiyonu	TanhAxon	TanhAxon/TanhAxon
Çıktı Katmanı Transfer Fonksiyonu	SinhAxon	SinhAxon
Öğrenme Algoritması	Conjugate Gradient	Conjugate Gradient
Öğrenme Katsayısı	0.01	0.01
Girdilerin Ölçeklendirilmesi	[0-1]	[0-1]

Tablo 4.39 ve **Tablo 4.40**'da yer alan ham ve özellikli giriş verili çok katmanlı ve modüler YSA modelleri karşılaştırıldığında; örüntülerin ham verilerle oluşturulduğu YSA modelinin eğitim ve test doğru sınıflandırma oranlarının, özellikli veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin eğitim ve test doğru sınıflandırma oranlarına göre daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür. Her bir YSA modeli için elde edilen doğru sınıflandırma yüzde değerleri **Tablo 4.41**'de sunulmuştur.

Tablo 4.41:Oluşturulan YSA Modelleri İçin Elde Edilen Doğru Sınıflandırma Yüzde Değerleri

YSA Modeli	Ham Veri Gösterim Tekniği	Özellikli Veri Gösterim Tekniği
Çok Katmanlı YSA Modeli	%98.473	%96.76
Modüler YSA Modeli	%97.92	%97.49

4.3.12.8.Seçilen Ham ve Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı ve Modüler YSA Modellerinin Geçerliğinin Gerçek Veriler İle Test Edilmesi

Dört adet STTG katsayısının izlendiği Hotelling T^2 kontrol grafiğinde bir adet örüntü tespit edilmiştir. Bu örüntü tipi yukarı ani kayma örüntü çeşididir. Bu örüntü cinsini oluşturan Hotelling T^2 kontrol grafiğinden elde edilen **Tablo 4.30**'da yer alan 35 adet T^2 değerlerine ait istatistiksel değerler **Tablo 4.42**'de sunulmuştur.

Tablo 4.42: Tablo 4.30'da Yer Alan T^2 Değerlerine Ait İstatistiksel Değerler

Gözlem Değerlerin İstatistikî Özellikleri	Gözlem Değerlerin İstatistiksel Değerleri
$T_{20}-T_{54}$ Ortalama	19.4
$T_{20}-T_{54}$ Standart Sapma	36.43
$T_{20}-T_{54}$ Basıklık	8.16
$T_{20}-T_{54}$ Çarpıklık	2.84
$T_{20}-T_{54}$ Eğim	377.89
$T_{20}-T_{54}$ Korelasyon	0.54

Tablo 4.30'da yer alan T^2 değerleri YSA modellerinde ham giriş verisi olarak ve **Tablo 4-43'**de yer alan **Tablo 4.30'**daki T^2 değerlerinden elde edilen istatistiksel değerler ise YSA modellerinde özellikli giriş verileri olarak kullanılacaktır. Pirinç alışımlı üretim sürecinde yapılan inceleme neticesinde bu örüntü tipinin personel ve tartıda meydana gelen arızadan kaynaklandığı süreç uzmanları ile kalite mühendisleri ile yapılan görüşmeler sonunda fabrikanın kayıtları incelenerek bulunmuştur.

4.3.12.8.1. Seçilen Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinin Geçerliğinin Gerçek Veriler İle Test Edilmesi

Yapılan deneme sonucunda ortalamada yukarı eğim örüntü tipi kurulan YSA modelinde doğru olarak sınıflandırılmıştır. Denemenin sonunda YSA modelinden çıktı olarak istenen ve elde edilen değerler **Şekil 4.20'**de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde üst satır YSA modelinde istenen çıktı ve alt satır ise YSA modelinde elde edilen çıktı değerler gözükmemektedir. İstenen değerler ile çıktı değerler birbirine oldukça yakın elde edilmiştir.

Desired and Output

Des ÇIKTI1	Des ÇIKTI2	Des ÇIKTI3	Des ÇIKTI4	Des ÇIKTI5	Des ÇIKTI6	Des ÇIKTI7
0.000000000000	0.000000000000	1.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
Out ÇIKTI1	Out ÇIKTI2	Out ÇIKTI3	Out ÇIKTI4	Out ÇIKTI5	Out ÇIKTI6	Out ÇIKTI7
-0.003599067337	-0.038330255378	1.027423701140	-0.007455006492	0.095597678477	-0.045269918664	-0.046343240139

Şekil 4.20:Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri

4.3.12.8.2. Seçilen Özellikli Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler İle Test Edilmesi

Yapılan deneme sonucunda ortalamada yukarı eğim örüntü tipi, kurulan YSA modelinde doğru olarak sınıflandırılmıştır. Denemenin sonunda YSA modelinden çıktı olarak istenen ve elde edilen değerler **Şekil 4.21**'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde üst satır YSA modelinde istenen çıktı ve alt satır ise YSA modelinde elde edilen çıktı değerler gözükmemektedir. İstenen değerler ile çıktı değerler birbirine oldukça yakın elde edilmiştir.

Desired and Output

Des ÇIKTI1	Des ÇIKTI2	Des ÇIKTI3	Des ÇIKTI4	Des ÇIKTI5	Des ÇIKTI6	Des ÇIKTI7
0.000000000000	0.000000000000	1.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
Out ÇIKTI1	Out ÇIKTI2	Out ÇIKTI3	Out ÇIKTI4	Out ÇIKTI5	Out ÇIKTI6	Out ÇIKTI7
-0.055410407605	0.032533133658	1.042282087858	-0.024801358186	-0.046152888094	0.054191839629	0.188772535241

Şekil 4.21:Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri

4.3.12.8.3. Seçilen Ham Giriş Verili Modüler YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler İle Test Edilmesi

Yapılan deneme sonucunda yukarı eğim örüntü tipi kurulan YSA modelinde doğru olarak sınıflandırılmıştır. Denemenin sonunda YSA modelinden çıktı olarak istenen ve elde edilen değerler **Şekil 4.22**'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde üst satır YSA modelinde istenen çıktı ve alt satır ise YSA modelinde elde edilen çıktı değerler gözükmemektedir. İstenen değerler ile çıktı değerler birbirine oldukça yakın elde edilmiştir.

Desired and Output

Des ÇIKTI1	Des ÇIKTI2	Des ÇIKTI3	Des ÇIKTI4	Des ÇIKTI5	Des ÇIKTI6	Des ÇIKTI7
0.000000000000	0.000000000000	1.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
Out ÇIKTI1	Out ÇIKTI2	Out ÇIKTI3	Out ÇIKTI4	Out ÇIKTI5	Out ÇIKTI6	Out ÇIKTI7
-0.009590321398	-0.051252756579	0.936688604953	0.048025610585	0.166308650239	-0.054025064269	-0.051342485053

Şekil 4.22:Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri

4.3.12.8.4. Seçilen Özellikli Giriş Verili Modüler YSA Modelinin Geçerliliğinin Gerçek Veriler İle Test Edilmesi

Yapılan deneme sonucunda yukarı eğim örüntü tipi, kurulan YSA modelinde doğru olarak sınıflandırılmıştır. Denemenin sonunda YSA modelinden çıktı olarak istenen ve elde edilen değerler **Şekil 4.23**'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde üst satır

YSA modelinde istenen çıktı ve alt satır ise YSA modelinde elde edilen çıktı değerler gözükmemektedir. İstenen değerler ile çıktı değerler birbirine oldukça yakın elde edilmiştir.

Desired and Output

Des ÇIKTI1	Des ÇIKTI2	Des ÇIKTI3	Des ÇIKTI4	Des ÇIKTI5	Des ÇIKTI6	Des ÇIKTI7
0.000000000000	0.000000000000	1.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000	0.000000000000
Out ÇIKTI1	Out ÇIKTI2	Out ÇIKTI3	Out ÇIKTI4	Out ÇIKTI5	Out ÇIKTI6	Out ÇIKTI7
-0.003599067337	-0.038330255378	1.027423701140	-0.007455006492	0.095597678477	-0.045269918664	-0.046343240139

Şekil 4.23:Gerçek Verilerin Kullanıldığı Ham Giriş Verili Çok Katmanlı YSA Modelinde İstenen ve Elde Edilen Çıktı Değerleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Genel

Döküm üretim süreçlerinde çeşitli kalite kontrolü uygulamaları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bütün üretim süreçlerinde olduğu gibi döküm üretim süreçlerinde de uygulanan kalite kontrolü uygulamalarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde döküm üretim süreçlerinde kaliteyi büyük ölçüde erimiş metalin içine döküldüğü kalıpların türü ve hazırlanışındaki gösterilen özen belirlemektedir ve uygulamada genellikle çap, parlaklık ve uzunluk gibi üretilen nihai ürünün özellikleri (*döküm hataları (casting defects)*) kalite değişkenleri olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla üretim sürecinin değişkenliği de genellikle bu kalite karakteristikleri kullanılarak belirlenmektedir. Ancak literatür araştırması sonucunda eriyik halde bulunan karışımdan alınan numunelerin spektral analiz sonucunda eriyiğin içindeki element oranlarının da kalite karakteristiği olarak ele alınabileceği görülmüş ve bu kalite karakteristikleri istatistiksel kalite kontrol grafikleri ile izlenebileceği tespit edilmiştir. Bu kapsamda MKE Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde halen uygulanan kalite geliştirme çabalarını geliştirmek amacıyla bir istatistik kalite kontrolü uygulaması yapılmıştır.

MKE Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde eriyik halde bulunan metalin içindeki element oranlarına dayalı halen uygulanan bir kalite kontrolü yöntemi bulunmaktadır. Yapılan çalışmada, kalite geliştirme kapsamında bu element oranları, uygulanan yöntemden farklı olacak şekilde tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiş ve kontrol dışı sinyaller tespit edilmiştir. İstatistiksel süreç kontrol grafikleri, son yıllarda yabancı ve yerli literatürde büyük önem arz etmektedir. Kontrol grafikleri, döküm sanayisinde üretim sürecindeki değişimin görsel olarak sürekli izlenebilmesini sağladığından ve kolay uygulanmasından tercih edilmektedir. Tespit edilen kontrol dışı sinyal/sinyallerin hata kaynağı/kaynaklarının izlenen değişken ya da değişkenlere bağımlı olarak süreç uzmanlarına ve literatürde yer alan yöntemlere dayalı olarak yorumlama çalışmaları ile ilgili olumlu sonuçlara ulaşamamıştır.

Hata kaynaklarının yorumlanması ile ilgili karşılaşılan duruma karşı STTG yöntemine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen modelde, çok değişkenli kontrol

grafiklerinden Hotelling T^2 kontrol grafiği, STTG yöntemi ve yapay sinir ağlarından (YSA) modüler YSA veya çok katmanlı YSA modelleri kullanılmıştır. Önerilen model, pirinç, demir ve alüminyum döküm süreçlerinde kullanılabilecek genel bir modeldir. Bu model, bütün döküm süreçlerinde kullanılabilir ancak problemin durumuna göre özelleştirilmesi gerekir. Yapılan çalışmada, önerilen model kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

- Literatürde yapılan çalışmalarda gerçek verilerin yönetsel veya teknik sebeplerden dolayı elde edilmesi zor ve maliyetli olmasından genellikle benzetim yolu ile üretilmiş veriler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, aynı anda hem gerçek hem de benzetim yolu ile üretilmiş sentetik veriler kullanılmıştır.

- STTG yönteminin, imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanıldığı, ancak bunun proses (*kimya, petrokimya, döküm vb.*) endüstrilerinde ve birbiriyle ilişki içinde olan kalite karakteristiklerin bulunduğu çok değişkenli endüstriyel üretim süreçlerinde uygulamasının olmadığı görülmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışma ile söz konusu yöntemin yeni bir endüstri alanında uygulaması yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonunda;

* STTG yönteminin imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesi dışında pirinç üretim sürecinde de hatta benzer alüminyum ve demir döküm süreçlerinde uygulanabileceği,

* Söz konusu yöntemin STTE'lerin pirinç üretim sürecinde nasıl elde edilebileceği ve matematiksel modelin nasıl oluşturulabileceği,

* Literatürde kurulan modellerde STTE'ler her zaman tam olarak ele alınmıştır, ancak bazı üretim süreçlerinde bu durumun tam olmadığı ve eksikte olabileceği ve bu durumda da söz konusu STTG yönteminin uygulanabileceği,

* STTG yönteminde hata vektörü olan A 'nın kalite değişken sayısının hata kaynağı sayısına eşit veya fazla olması durumlarına karşı matematiksel modeller önerilmiştir, Ancak eksik olması durumunda hata kaynağı sayısının azaltılması konusunda çeşitli istatistiksel yöntemlerinde (*adimsal regresyon yöntemi, genelleştirilmiş ters matris yöntemi, değişken azaltma yöntemleri*) uygulanabileceği,

* STTG katsayılarının literatürde tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenebileceği belirtilmesine rağmen çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenebileceği görülmüştür.

- Literatürde tek değişkenli kontrol grafiklerinde süreçteki hatayı veya özel sebepleri simgeleyen bazı tipik örüntüler oluşmaktadır ve bu örüntüler ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır. Literatür araştırması sonucunda bu örüntülerin çok değişkenli kontrol grafiklerinde de kullanılabileceği belirtilmekte ve bu tipik örüntüler ile ilgili kısmi araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiklerinde bu örüntüler bir arada kullanılarak sistemleştirilmeye çalışılmıştır. Bu çabalar kapsamında Hotelling T^2 kontrol grafiğinde aşağı ve yukarı eğim, aşağı ve yukarı ani kayma, sistematik ve dairevi örüntü tipleri aynı anda kullanılmıştır.

- Tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan tipik örüntülerin tanınmasında YSA modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde kalite kontrol grafiklerinde en yaygın olarak kullanılan YSA modeli çok katmanlı YSA modelidir. Fakat 2007 yılından itibaren birleşik YSA'ların hatta YSA'ların diğer sınıflandırıcılar ile hibrit bir şekilde bu alanda oldukça başarılı bir şekilde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise, STTG katsayılarını temsil eden ve Hotelling T^2 kontrol grafiğinde izlenen T^2 istatistiğinde oluşan örüntülerin tespit edilmesi amacıyla çok katmanlı YSA modeli ile birleşik YSA olan modüler YSA modeli denenmiş ve ayrıca hem ham hem de özellikli giriş verileri kullanılarak bu ağların performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

* Modellerin geçerliliği hem sentetik veriler hem de gerçek veriler ile test edilmiş ve modellerin başarılı bir şekilde kullanılabileceği,

* Modüler YSA ile çok katmanlı YSA modellerinin yüksek sınıflandırma performansı nedeniyle gerçek zamanlı örüntü tanıma uygulamalarında kullanılabileceği;

* Ham veri örüntüleriyle oluşturulan çok katmanlı YSA ile modüler YSA modellerinin eğitim ve test sürecindeki doğru sınıflandırma oranlarının (%98.473, %97.92), özellikli veriler kullanılarak oluşturulan modüler YSA ile çok katmanlı YSA modellerinin eğitim ve test sürecindeki doğru sınıflandırma oranlarına (%96.76, %97.49) göre daha yüksek performans gösterdiği,

* Modüler YSA ile çok katmanlı YSA modellerinin, kalite kontrol problemlerinin çözümünde geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabileceği ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan örüntüleri başarıyla sınıflandırabileceği sonucuna varılmıştır.

* Modüler YSA ile çok katmanlı YSA modellerinin çok değişkenli kontrol grafiklerinde örüntü tanıma kullanımı ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar açısından literatürde yapılan diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında ise;

✓ Muluneh (2014) tarafından yapılan çalışma da, Hotelling T^2 kontrol grafiğinde oluşan söz konusu örüntülerin tanınması için ham özellikli giriş verili çok katmanlı YSA modeli kullanılmış ve test verileri ile %94.1 performans değeri elde edilmiştir. Çalışmamızda kurulan ağın performans değerinin, Muluneh (2014) tarafından yapılan çalışma da kurulan ağın performans değerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

✓ El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed (2010) tarafından yapılan çalışmada, aşağı ve yukarı ani kayma örüntü tiplerinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır ve bu örüntü tiplerini seçmek amacıyla ham özellikli giriş verili çok katmanlı YSA modeli kullanılmış ve test verileri ile %97.6 performans değeri elde edilmiştir. Ancak araştırmacılar tarafından kurulan model iki aşamalı bir modeldir. Çalışmamızda kurulan ağın performans değerinin, El-Midany, El-Baz ve Abd-Elwahed (2010) tarafından yapılan çalışmada kurulan ağın performans değerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

2. Yöntemi Geliştirmeye Dair Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan çalışmada çok değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyallerin yorumlanması konusunda STTG yöntemine dayalı bir adet model önerilmiştir. Söz konusu önerilen modelin geliştirilmesi ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- STTG yöntemi lineer çoklu regresyon yöntemine dayanmaktadır. Regresyondaki klasik varsayımlarından bir tanesi gözlem sayısının tahmin edilecek anakütle katsayılarından fazla olmalıdır. Yani gözlem sayısı açıklayıcı değişken sayısından büyük olmalıdır. Eğer bu varsayım sağlanmazsa en küçük kareler yöntemi uygulansa bile katsayılar yanlı olmaktadır. Bu kapsamda STTG yöntemi değerlendirildiğinde eğer hataların gözlem sayısı hata kaynağı sayısından küçük olması

durumuyla ilgili olarak literatürde herhangi bir yöntem önerilmemiştir. Yapılan çalışmada böyle bir durum ile karşılaşmış ve değişken sayısı indirme yöntemlerinden olan **“modelin yeniden belirlenmesi”** yöntemi kullanılmış ve değişken sayısı indirgenerek söz konusu model tekrar tanımlanarak uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Ayrıca böyle durumlarda adımsal (*stepwise*) regresyon modeli/modelleri de kullanılabilir.

- Regresyon analizinde regresyon katsayıları, sıradan en küçük kareler yöntemi ile elde edilmektedir. Ancak bir matrisin determinantı sıfıra eşit olduğunda yani matris tekil bir matris olduğunda tersi alınamamaktadır. Bu kapsamda sıradan en küçük kareler yönteminde $(X'X)$ in tekil olduğunda tersi alınamamaktadır. Çalışmada öyle bir durum ile karşılaşmamıştır. Ancak böyle durumlarda genelleştirilmiş ters matris (*the generalized inverse matrix*) yöntemi ile söz konusu eksiklik giderilebilir.

- STTG yönteminde kurulan ikinci modelde hata terimi bulunmaktadır. Hata terimi regresyonun varsayımlarından biri olan $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ şeklindedir. Ancak pirinç üretim sürecinde de görüldüğü gibi gerçek dünya koşullarında bu koşul sağlanamamaktadır. Yani çoğunlukla hata terimi sabit varyanslı ve bağımsız değil kovaryansa sahip olmaktadır. Dolayısıyla bu kapsamda yapılacak çalışmalarda kurulacak modellerde hata teriminin kovaryanslı olarak incelemelerde bulunabilinir ve katsayıların elde edilmesinde genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılabilir. Bu konu ile ilgili detaylar Orçanlı, Birgören ve Oktay (2017) tarafından yapılan çalışmada bulunmaktadır.

- STTG katsayıları, yapılan çalışmada, Hotelling T^2 kontrol grafiği ile takip edilmiştir. Bu katsayılar Hotelling T^2 kontrol grafiği dışında *MEWMA* kontrol grafiği ile de izlenebilir ve kontrol dışı sinyaller literatürde mevcut olan temel bileşenler analizi (Fuchs ve Kennett, 1998) veya *MYT* ayırıştırma (Mason, Tracy ve Young, 1997) yöntemlerinden birisi kullanılarak çözüm getirilebilir.

- STTE ortogonal olmaması durumunda oluşabilecek çoklu bağlantı problemi çalışmada aralarında korelasyonu yüksek olan değişkenlerin birinin çıkartılması ile yeniden tanımlanmış ve çoklu bağlantı problemi giderilmiştir. Ancak bu yöntemin dışında STTG katsayıları ridge regresyonu, temel bileşenler analizi gibi tekniklerle elde edilebilir ve bu katsayıların anlamlılığının karşılaştırılması yapılabilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyallere neden olan değişken veya değişken gruplarını ortaya koymak için lineer olmayan modeller de uygulanabilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan doğal olmayan tipik örüntülerin tanıma için çok katmanlı ve modüler YSA modelleri kullanılmıştır. Bu örüntüleri tanıma için diğer YSA modelleri kullanılarak performans değerleri karşılaştırılabilir veya yeni YSA modelleri önerilebilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan doğal olmayan tipik örüntüleri tanıma için YSA modelleri ile diğer sınıflandırma modelleri (*destek vektör makineleri ve veri madenciliğinde kullanılan diğer sınıflandırma modelleri gibi*) hibrit olarak kullanılabilir ve uygun modeller oluşturulabilir. Ayrıca, oluşturulan bu modellerin performans değerleri karşılaştırılabilir.

3. Uygulamaya Yapılan Katkılar

Pirinç Fabrikası üretim sürecinde önerilen modelin uygulanması esnasında pirinç alaşımının kalitesine, uygulama tekniklerine ve fabrika personeline sağladığı katkılar aşağıda sunulmuştur.

- Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde kalite kontrolü faaliyetleri kapsamında kısmi olarak uygulanan istatistiksel kalite kontrolü yöntemleri yüzde yüz olmaması da uygulanmaya başlanmıştır.

- Üretim sürecinde üretilen pirinç alaşımında değişimin varyansı düşmüştür ve kalitenin gelişmesi sağlanmıştır.

- Hurdaların harmanlanmasında ölçümleme işleminde daha hassas kantarın fabrika yönetimi tarafından satın alınarak kullanılması sağlanmıştır.

- Pirinç üretim sürecinde çalışan işçilerin farkındalıkları artmıştır.

- İşçiler tarafından vezinhaneye gelen hurdaların daha özenli olarak gruplara ayrılması sağlanmıştır.

- İşçiler ve diğer çalışanlar için eğitim programları yapılmış, uygulanmaya başlanmış ve başarılı uygulamaların yapılmaya başlandığı görölmüştür.

- Ölçümleme işleminde kullanılan stokiometrik tablolardaki değerler tekrar gözden geçirilmiş ve hatalı olarak değerlendirilen değerlerde düzeltme işlemleri yapılmıştır.

- Üretimde işletmelerin asıl amacı kaliteyi yükseltmek ve kar elde etmektir. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde halen uygulanmakta olan kalite kontrolü uygulamasında hurda malzemeler ile saf malzemeler kullanılmaktadır. Ancak saf malzemelerin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı fabrika açısından maliyetli idi. Önerilen modelin uygulanması ile birlikte üç ay boyunca fabrikanın kalite ve mali uzmanları ile yapılan görüşmeler neticesinde fabrikanın pirinç alışımlı satış gelirlerinde %0.4'lük bir artışın yakalandığı belirtilmiştir.

4. Gelecekte Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler

Yapılan çalışma kapsamında veya benzer konular ile ilgili gelecekte yapılabileceği değerlendirilen konular aşağıya çıkarılmıştır.

- Yapılan çalışmada, STTG katsayıları Hotelling T kontrol grafiği ile izlenmiştir. Ancak söz konusu katsayılar MEWMA kontrol grafiği ile de izlenebilir. Katsayıların MEWMA kontrol grafiği ile izlenmesi durumunda MEWMA kontrol grafiği yönsel olarak FEWMA kontrol grafiğinde olduğu gibi **“directionally invariant”** özelliğine sahip olmaktadır. Dolayısıyla STTG katsayılarının izlendiği MEWMA kontrol grafiği ile FEWMA kontrol grafiğinin arasında varolabilecek ortak özelliklerinin tespitine yönelik çalışmalar yapılabilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan doğal olmayan tipik örüntülerde, tek değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan doğal olmayan tipik örüntülerde olduğu gibi bir standartlık mevcut değildir. Bu kapsamda çok değişkenli kontrol grafiklerinde oluşan doğal olmayan tipik örüntülerde standartlığın sağlanması için detaylı çalışmalar yapılabilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde doğal olmayan tipik örüntüler literatürde ağırlıklı olarak tek tek ele alınmaktadır. Ancak bir çok üretim sürecinde doğal olmayan tipik örüntüler değişkenler arasındaki korelasyondan dolayı ardışık olacak şekilde oluşabilmektedir (*concurrent pattern*). Literatürde bu çeşit ardışık örüntüler ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur, ancak yeterli değildir. Bu

nedenle ardışık örüntülerin tespit edilmesi ile ilgili araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılabilir ve uygun sınıflandırıcı modelleri önerilebilir.



KAYNAKLAR

- Adeoti, O.A. ve Afolabi, R.F. (2012). "Pattern recognition of process mean shift using combined ANN recognizer", *International Journal for Computer Application*, 55(10), 23-34.
- Ahmadzade, F. (2010). "Change point detection with multivariate control charts by artificial neural network", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2, 34-38.
- Ahmadzade, F., Lundberg, J. ve Strömberg, T. (2013). "Multivariate process parameter change identification by neural network", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69, 2261–2268.
- Akgün, O. (2000). *Pirinç Alaşımlarının Hazırlanmasında Flaksların Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkurt, M. (2002). *Kalite Kontrol Excel Destekli*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Al-Assaf, Y. (2004). "Recognition of control chart patterns using multi-resolution wavelets analysis and neural networks", *Computer and Industry Engineering*, 47, 17–29.
- Al-Ghanim, A.M. (1997). "An unsupervised learning neural algorithm for Identifying process behaviour on control charts and a comparison with supervised learning approaches", *Computers and Industrial Engineering*, 32, 627-639.
- Alkan, Ö. (2013). *Türkiye'de İhracatın İthalatı Karşılama Oranlarının Spline Regresyon Modelleri Yardımıyla Araştırılması*, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Alpar, R. (2012). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler*, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Alt, F.B. (1985). *Multivariate Quality Control*, The Encyclopedia of Statistical Sciences, Wiley, New York, 110-122.
- Anagun, A. S. (1998). "A neural network applied to pattern recognition in statistical process control", *Computers and Industrial Engineering*, 35(1-2), 185-188.
- Aparisi, F. ve Sanz, J. (2010). "Interpreting the out-of-control signals of multivariate control charts employing neural networks", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 61, 226-230.
- Aparisi, F., Jabaloyes, J. ve Carrion, A. (2001). "Generalized variance chart design with adaptive sample sizes", *The Bivariate Case, Communications in Statistics Theory and Methods*, 30, 931-948.
- Aparisi F, Avendano G. ve Sanz J. (2006). "Techniques to interpret T² control chart signals", *IIE Transactions*, 38, 647-657.

- Aparisi, F., Sanz, J. ve Avendano, G. (2007). "Neural networks to identify the out-of-control variables when a MEWMA chart is employed", *In Applied Simulation and Modeling Conference*, Palma De Mallorca, 29-31, Spain.
- Apley, D.W. ve Ding, Y. (2005). "A characterization of diagnosability conditions for variance components analysis in assembly operations", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2(2), 101-110.
- Apley, D.W. ve Lee, H.Y. (2010). "Simultaneous identification of premodeled and unmodeled variation pattern", *Journal of Quality Technology*, 42(1), 36.
- Apley, D.W. ve Shi, J. (1998). "Diagnosis of multiple fixture faults in panel assembly", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 120, 793-801.
- Apley, D. W. and Shi, J. (2001). "A factor-analysis method for diagnosing variability in multivariate manufacturing processes". *Technometrics*, 43, 84–95.
- Aran, A. (2007). *Döküm Teknolojileri İmal Usulleri Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Arkat, J., Niaki, S.T.A. ve Abbasi, B. (2007). "Artificial neural networks in applying MCUSUM residual charts for AR(1) processes", *Applied Mathematics and Computation*, 189, 1889-1901.
- Assaleh, K. ve Al-Assaf, Y. (2005). "Features extraction and analysis for classifying causable patterns in control charts", *The Journal of Computer and Industrial Engineering*, 49, 168–181.
- Atashgar, K., ve Noorossana, R. (2011). "An integrating approach to root cause analysis of a bivariate mean vector with a linear trend disturbance", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52, 407-420.
- Atienza, O.O., Ching L.T. ve Wah, B.A. (1988). "Simultaneous monitoring of univariate and multivariate SPC information using boxplots", *International Journal of Quality Science*, 3(2), 23-34.
- Bahreimejad, A.M., Naseri, R.A., Salehi, M. ve Salmasnia, A. (2010). "On-line analysis out-of-control signals for multivariate control chart using neural network", *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 4 (3), 27-36.
- Baily, D. ve Thomson, D. (1990). "Developing neural network application", *AI Expert*, 33-41.
- Bakır, M.A. ve Karaca, S. (2002). "Çok değişkenli kalite kontrol yaklaşımlarının bir değerlendirmesi", *İstatistik Araştırma Dergisi*, 1, 67-85.
- Barghash, M.A. ve Santarisi, N.S. (2004). "Pattern recognition of control charts using artificial neural networks-Analyzing the effect of the training parameters", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(5), 635-644.
- Barton, R.R., ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1996). "Process oriented basis representations for multivariate process diagnostics", *Quality Engineering*, 9, 107-118.
- Barton, R.R. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1999). "Process-oriented basis representations: linking manufacturing process design and diagnosis", *Proc. Euro. Conf. Con. Eng.*, 9, 109–114.

- Beeley, P. (2001). *Foundry Technology*, Butterworth-Heinemann, USA.
- Belsley, D.A., Kuh, E. ve Welsch, R.E. (1980). "Regression diagnostics", *Quality and Reliability Engineering International*, 13(1), 17-43.
- Bendel, R.B. ve Afifi, A.A. (1977). "Comparison of stopping rules in forward "stepwise" regression", *Journal of the American Statistical Association*, 72(357), 46-53.
- Bersimis, S., Psarakis, S. ve Panaretos, J. (2007). "Multivariate statistical process control charts: an overview", *Quality and Reliability Engineering International*, 23(5), 517-543.
- Bezener, M. ve Qiu, P. (2011). MNSPC: Multivariate Nonparametric Statistical Process Control, R Package Version 1.01, <http://CRAN.r-project.org/package=mnspec>.
- Birgören, B. (1998). *Multivariate Statistical Process Control for Quality Diagnostics and Applications to Process Oriented Basis Representations*, (Ph.D. Thesis), PennState University, Pennsylvania.
- Birgören, B. (2000). "Çok boyutlu kalite kontrolde T^2 sinyallerinin scheffe tipi aralıklarla yorumlanması", *İstatistik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 347-358.
- Birgören, B. (2004), "A method for problem diagnosis in multivariate quality control: constrained solution spaces for process oriented basis representations", *Teknoloji*, 7(1), 19-28.
- Birgören B. (2009). "Diagnosing quality problems on a complex CNC machine via process-oriented basis representations". *International Journal of Engineering, Research and Development*, 12, 34-47.
- Birgören, B. (2015). *İstatistiksel Kalite Kontrolü*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Blazek, L.W., Novic, B. ve Scott, D.M. (1987). "Displaying multivariate data using polyplots", *Journal of Quality Technology*, 19(2), 69-74.
- Boers, E.J. ve Kuiper, H. (1992). "Biological metaphors and the design of modular artificial neural networks," *Citeseer*, 9(6), 49-64.
- Brady, G.S. (1991). *Materials Handbook: An Encyclopedia for Purchasing Managers, Engineers, Executives, and Foremen*, McGraw-Hill Book Company INC, New York.
- Burmaoğlu, S. (2009). *Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Beşeri Kalkınma Endeksi Verilerini Kullanarak Diskriminant Analizi, Lojistik Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırma Başarılarının Değerlendirilmesi*, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Burr, I.J. (1967). "The effect of nonnormality on constants for $\bar{X}$ and R charts", *Industrial Quality Control*, 23, 11, 563-569.
- Busby, J.S. (2001). "Error and distributed cognition in design", *Design Studies*, 22(3), 233-254.

- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F., (2010). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri*, PEGEM Akademi. Ankara.
- Campbell, J. (2003). *Castings*, Butterworth-Heinemann, USA.
- Ceglarek, D., Shi, J. ve Wu, S.M. (1994). "A knowledge-based diagnostic approach for the launch of the auto-body assembly process", *Journal of Engineering for Industry*, 116(4), 491-499.
- Chan, L.K. ve Li, G.Y. (1994), "A multivariate control chart for detecting linear trends", *Computers and Industrial Engineering*, 23(4), 997-1012.
- Cheng, C.S. (1995). "A multi-layer neural network model for detecting changes in the process mean", *Computers and Industrial Engineering*, 28(1), 51-61.
- Cheng, C.S. (1997). "A neural network approach for the analysis of control chart patterns", *International Journal of Production Research*, 35(3), 667-697.
- Cheng ve Cheng (2007). "Identifying the source of variance shifts in the multivariate process using neural networks and support vector machines", *Expert Systems with Applications*, 35, 198-206.
- Cheng, C.S. ve Cheng, H.P. (2010). "Using neural networks to detect the bivariate process variance shifts pattern", *Computers and Industrial Engineering*, 35(2), 367-397.
- Cheng, Z. ve Ma, Y. (2010). "Source(s) identification of variance shifts in bivariate process using LS-SVM based pattern recognition model", *Advanced Materials Research*, 129-131, 891-896.
- Cheng, H., Han, J., Xin, D. ve Yan, X. (2007). "Frequent pattern mining: Current status and future directions", *Data Mining and Knowledge Discovery*, 15(1), 55-86.
- Cheng, C.S. ve Cheng, H.P. (2008). "Identifying the source of variance shifts in the multivariate process using neural networks and support vector machines", *Expert Systems with Applications*, 35, 198-206.
- Chen, Z., Lu, S. ve Lam, S. (2007). "A hybrid system for SPC concurrent pattern recognition.", *Advanced Engineering Informatics*, 21, 303-310.
- Cheng, L.H. ve Wang, T.Y. (2004). "Artificial neural networks to classify mean shifts from multivariate χ^2 chart signals", *Computers and Industrial Engineering*, 47, 195-205.
- Chua, M.K. ve Montgomery, D.C. (1992). "Investigation and characterization of a control scheme for multivariate quality control", *Quality and Reliability Engineering International*, 8(1), 37-44.
- Clarke G.M. ve Cooke, D. (1983). *A Basic Course in Statistics (Second Edition)*, Edward Arnold, London.
- Classen, A. (1995). *The German Volksbuch: A Critical History of a Late-Medieval Genre*, Lewiston, NY: Edwin Mellen Press, USA.
- Cohen, L., Manion, L. ve Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education (6th Edition)*, Routledge Falmer, London.

- Cook, D.F. ve Chiu, C.C. (1998). "Using radial basis function neural networks to recognize shifts in correlated manufacturing process parameters", *IIE Transactions*, 30(3), 227–234.
- Cook, D.F., Zobel, C.W. ve Nottingham, Q.J. (2001). "Utilization of neural networks for the recognition of variance shifts in correlated manufacturing process parameters", *International Journal of Production Research*, 39(17), 3881–3887.
- Cura, J.L. (2008). "Ultrasound-guided therapeutic procedures in the musculoskeletal system", *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 37(5), 203-218.
- Çetin, S. ve Birgören B. (2007). "Çok değişkenli kalite kontrol çizelgelerinin döküm sanayiinde uygulanması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4), 809-818.
- Çilan, A.Ç. (2015). "Latent class analysis for measuring Turkish People's future expectations for Turkey", *Journal of Applied Statistics*, 41(3), 519-529.
- Çolak, M. (2011). Döküm endüstrisinde ergitme endüksiyon ocakları ve spektral analiz hesaplamaları, <http://www.demircelikstore.com/-1-3842-dokum-endustrisinde-ergitme-enduksiyon-ocaklari-ve-spektral-analiz-hesaplamalari.html>, Erişim Tarihi:12.10.2016.
- Dalkey, N.C. ve Helmer, O. (1963). "An experimental application of the delphi method to the use of experts", *Management Science*, 9(3), 458-467.
- Dempster, A.P., Schatzoff, M. ve Wermuth N. (1977). "A situmulation study of alternatives to ordinary least squares", *Journal of the American Statistical Association*, 72, 77-90.
- Devor, R., Sutherland, J. ve Chang, T. (1992). "Statistical quality design and control", *International Journal of Research*, 42(22), 54-55.
- Ding, Y. ve Apley, D.W. (2007). "Guidelines for placing additional sensors to improve variation diagnosis in assembly processes", *International Journal of Production Research*, 45(23), 5485-5507.
- Ding, Y., Ceglarek, D. ve Shi, J. (2002). "Diagnosability analysis of multi-station manufacturing processes", *Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control*, 124(1), 1-13.
- Ding, Y., Gupta, A. ve Apley, D. (2004). "Singularity issues in fixture fault diagnosis for multi-station assembly systems", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126, 200–210.
- Doganaksoy, N., Faltin, F.W. ve Tucker, W.T. (1991), "Identification of out of control quality characteristics in a multivariate manufacturing enviroment", *Communications in Statistics–Theory and Methods*, 20(9), 27-75.
- Doig, G. (1998). "Interpreting and using clinical trials", *Critical Care Clinics*, 14(3), 513-524.
- Doig, G. (1999). *Severity of Illness Scoring in the Intensive Care Unit: A Comparison of Logistic Regression and Artificial Neural Networks*, (Ph.D. Thesis), The University of Western Ontario, USA.

- Draper, N.R., Guttman, I. ve Kanemasu H. (1971), "The distribution of certain regression statistics", *Biometrika*, 58(2), 1, 295–298.
- Du, S., Lv, J. ve Xi, L. (2010). "An integrated system for on-line intelligent monitoring and identifying process variability and its application", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23, 529-542.
- Ducan, A.J. (1986). *Quality Control and Industrial Statistics (5th edition)*, Homewood, IL:Richard D. Irwin.
- Ebrahimzadeh, A., Addeh, J. ve Rahmani, Z. (2011). "Control chart pattern recognition using K-MICA clustering and neural networks", *ISA transactions*, 51(1), 111-119.
- Efroymson, M.A. (1960). "Multiple regression analysis", *Mathematical Methods for Digital Computers*, 191-203.
- Elmas, Ç. (2011). *Yapay sinir ağları (Kuram, mimari, eğitim, uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- El-Midany, T.T., El-Baz, M.A. ve Abd-Elwahed, M.S. (2010). "A proposed framework for control chart pattern recognition in multivariate process using artificial neural networks", *Expert Systems with Applications*, 37, 1035-1042.
- Energy and Environmental Profile of the U.S. Metalcasting Industry. (1999). U.S.Department of Energy Office of Industrial Technologies.
- Espada Colon, H.I. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1997). "Component registration diagnosis for printed circuit boards using process-oriented basis elements", *Computers and Industrial Engineering*, 33, 389-392.
- Eygü, H. (2014), *Çok Değişkenli İstatistiksel Kalite Kontrolünde Sıralı Küme Örnekleme Yönteminin Kullanılması: Çimento Sanayinde Bir Uygulama*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Fahlman, S.E. (1988). "An empirical study of learning speed in back-propagation Networks", *Technometrics*, 36(2), 182-195.
- Fairfield, D.H. (1971). "Average and unusual locations of the Earth's magnetopause and bow shock", *Journal of Geophysical Research*, 76(28), 6700-6716.
- Farrar, D.E. ve Glauber, R.R. (1967). "Multicollinearity in regression analysis: the problem revisited", *The Review of Economic and Statistics*, 92-107.
- Firuzan, A.R. ve Şen, A. (2013). "Çok Değişkenli Kalite Kontrolü", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 23-34.
- Foster, E.J., Barton, R.R., Gautam, N, Truss, L.T. ve Tew, J.D. (2005). "The process-oriented multivariate capability index", *International Journal of Production Research*, 43, 2135–2148.
- Fuchs, C. ve Benjamin, Y. (1994), "Multivariate profile charts for statistical process control", *Technometrics*, 36(2), 182-195.

- Fuchs, C., ve Kenett, R.S. (1998). *Multivariate Quality Control: Theory and Applications*, Marcel Dekker, New York.
- Garvin, D.A. (1988). *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*, Simon and Schuster. New York.
- Gauri, S.K. (2010). "Control chart pattern recognition using feature-based Learning Vector Quantization", *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 48, 1061-1073.
- Gauri, S.K. ve Chakraborty, S. (2006). "Feature-based recognition of control chart patterns", *Computers and Industrial Engineering*, 51, 726-742.
- Gauri, S.K. ve Chakraborty, S. (2008). "Improved recognition of control chart patterns using artificial neural networks", *Introduction to the Technology*, 36, 1191-1201.
- Goldstein, M. ve Smith, A.F.M. (1974). "Ridge-type estimators for regression analysis", *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 36, 284-291.
- Gong, L., Jwo, W. ve Tang, K. (1997). "Using on-line sensors in statistical process control", *Management Science*, 43, 1017-1028.
- Gonzalez-Barreto, D.R. ve Barton, R.R. (1995). "Process-oriented basis representations for statistical process control (SPC)". In *Proceedings of the 4th Industrial Engineering Research Conference*, Institute of Industrial Engineers, Nashville, TN, 759-768.
- Greger G.A. ve Kaufmann, P. (2000). "Development of a generalized neural network", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 50(1), 101-105.
- Greger, G.A, Andersson, G.G. ve Kaufmann, P. (2000). "Development of a generalized neural network", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 50(1), 101-105.
- Grigoryan, A. ve He, D. (2005). "Multivariate double sampling charts for controlling process variability", *International Journal of Production Research*, 43, 715-730.
- Guh, R.S. (2007). "On-line identification and quantification of mean shifts in bivariate processes using a NN-based approach", *Quality and Reliability Engineering International*, 23, 367-385.
- Guh, R.S. ve Tannock, J.D.T. (1999). "Recognition of control chart concurrent patterns using a neural network approach", *International Journal of Production Research*, 37, 1743-1765.
- Guh, R.S., Tannock, J.D.T. ve O'Brien, C. (1999). "Intellispc: A hybrid intelligence tool for on-line economical statistical process control", *Expert System with Applications*, 17, 195-212.
- Guh, R.S., Zoriassatine, F., Tannock, J.D.T. ve O'Brien, C. (1999). "On-line control chart pattern detection and discrimination-a neural network approach", *Artificial Intelligence in Engineering*, 13, 413-425.

- Guh, R.S. ve Hsieh, Y.C. (1999). "A neural network based model for abnormal pattern recognition of control charts", *Computers and Industrial Engineering*, 36, 97-108.
- Guh, R.S. (2010). "Simultaneous process mean and variance monitoring using artificial neural networks", *Computers and Industrial Engineering*, 58, 739-753.
- Guh, R.S. ve Shiue, Y.R. (2008). "Effective pattern recognition of control charts using a dynamically trained Learning Vector Quantization network", *Journal of The Chinese Institute of Industrial Engineers*, 25(1), 73-89.
- Gujarati, D.N. (1995), *Temel Ekonometri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Gunst, R.F. ve Mason, R.L. (1977). "Biased estimation in regression: An evaluation using mean squared error", *Journal of the American Statistical Association*, 72(359), 616-628.
- Gunst, R.F., Webster, J.T. ve Mason, R.L. (1976). "A comparison of least squares and latent root regression estimators", *Technometrics*, 18(1), 75-83.
- Guo, Y. ve Dooley, K.J. (1992). "Identification of change structure in statistical process control", *International Journal of Production Research*, 30(7), 1655-1669.
- Hachicha, W. ve Ghorbel, A. (2012). "A survey of control-chart pattern-recognition literature (1991-2010) based on a new conceptual classification scheme", *Computers and Industrial Engineering*, 63, 204-222.
- Hansen, B.L. (1963). *Quality Control: Theory and Applications*, Englewood, Cliffs, N.J. USA.
- Hassan, A, Nabi Baksh, M.S., Shaharoun, M.A. ve Jamaludin, H. (2003). "Improved SPC chart pattern recognition using statistical features", *International Journal of Production Research*, 41(7), 1587-1603.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation (2nd edition)*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Hawkins, J.E. (1973). *Comparative Otopathology: Aging, Noise, and Ototoxic Drugs*, In Otophysiology, Karger Publishers, USA.
- Hawkins D.M. (1993). "Regression adjustment for variables in multivariate quality control", *Journal of Quality Technology*, 25(3), 170-182.
- Hawkins D.M. ve Maboudou-Tchao. E.M. (2007). "Self-starting multivariate exponentially weighted moving average control charting", *Technometrics*, 49, 199-209.
- Hawkins, D.M. Choi, S. ve Lee. S. (2007). "A general multivariate exponentially weighted moving-average control chart", *Journal of Quality Technology*, 39, 118-125.
- Hawkins D.M. ve Maboudou-Tchao E.M. (2008). "Multivariate exponentially weighted moving covariance matrix", *Technometrics*, 50, 155-166.

- Hayter, A. J. ve Tsui, K., (1994). "Identification and quantification in multivariate quality control problems", *Journal of Quality Technology*, 26(3), 198–208.
- Hoerl, A.E. ve Kennard, R.W. (1970). "Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems", *Technometrics*, 12, 55-67.
- Hosseinifard, S. Z., Abdollahian, M. ve Zeepongsekul, P. (2011). "Application of artificial neural networks in linear profile monitoring", *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4920-4928.
- Hoerl, A.E., Kennard, R.W. ve Baldwin, K.F. (1975), "Ridge regression: Some simulations", *Commun.Stat.*, 4, 105-123.
- Holmes, D. (1996). *Indroduction to SPC (Sixth Printing)*, Mc-Graw Hill, New York.
- Hotelling, H. (1947). *Multivariate Quality Control, Illustrated by the Air Testing of Sample Bombsights, in Techniques of Statistical Analysis*, Mc-Graw Hill, New York.
- Hou ve Li (2013). "Monitoring multivariate process variability for individual observations", *Journal of Quality Technology*, 39, 258–278.
- Houshmand, A. ve Golnabi, S. (2003). *MultiShewhart Control Charts*, Erişim Tarihi:02.04.2016
- Huang, Q. ve Shi, J. (2004). "Variation transmission analysis and diagnosis of multi-operational machining processes". *IIE Transactions on Quality and Reliability*, 36, 807–815.
- Huda, A.A., Koubaa, A., Cloutier, A., Hernández, R.E. ve Fortin, Y. (2014). "Variation of the physical and mechanical properties of hybrid poplar clones", *BioResources*, 9(1), 1456-1471.
- Hwarng, H.B. ve Hubele, N. F. (1991). "X-bar chart pattern recognition using neural network", *ASQC Quality Congress Transactions*, 884-889.
- Hwarng, H.B. ve Hubele, N.F. (1993). "Back-propagation pattern recognizers for X-bar control charts: Methodology and performance", *Computers and Industrial Engineering*, 24, 219-235.
- Hwarng, H.B. (1995). "Proper and effective training of a pattern recognizer for cyclic data", *IEEE Transactions*, 27, 746-756.
- Hwarng, H.B. (1995). "Multilayer perceptron for detecting cyclic data on control charts", *International Journal of Production Research*, 33, 3101-3117.
- Hwarng, H.B. (1997). "A neural network approach to identifying cyclic behaviour on control charts", *International Journal of System Science*, 28, 99-112.
- Hwarng, H.B. (2008). "Toward identifying the source of mean shifts in multivariate SPC: A neural network approach", *International Journal of Production Research*, 46, 5531-5559.
- Hwarng, H.B. (1992). *Pattern Recognition on Shewhart Control Charts Using a Neural Network Approach*, (Ph.D. Thesis), Arizona State University. Tempe.

- Hwang, H.B. ve Wang, Y. (2010). "Shift detection and source identification in multivariate autocorrelated processes", *International Journal of Production Research*, 48, 835--859.
- Hwang L., Yeh A. ve Wu C.W. (2007). "Monitoring multivariate process variability for individual observations", *Journal of Quality Technology*, 39, 258--278.
- Iglewicz, B. ve Hoaglin, D.C. (1987), "Use of boxplots for process evaluation", *Journal of Quality Technology*, 19(4), 180-190.
- Işığışık, E. (2004). *Toplam Kalite Kontrol Bakış Açısı ile İstatistiksel Kalite Kontrol*, Ezgi Kitapevi, Bursa.
- Işığışık, E. (2012). *Toplam Kalite Kontrol Bakış Açısı ile İstatistiksel Kalite Kontrol*, Ezgi Kitapevi, Bursa.
- Jackson, J.E. (1985). "Multivariate quality control", *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 14(11), 2657-2658.
- Jackson J.E. (1991). *A User's Guide to Principal Components*, John Wiley and Sons, New York.
- Jin, J. ve Shi, J. (1999). "State space modeling of sheet metal assembly for dimensional control", *Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the ASME*, 121(4), 756-762.
- Jin, N. ve Zhou, S. (2006). "Data-driven variation source identification of manufacturing processes based on eigenspace comparison", *Naval Search Logistics*, 55:383--396.
- Johnson, R.A. ve Wichern, D.W. (1992), *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice-Hall Inc., New Jersey
- Kargı, V.S. (2015). *Yapay Sinir Ağ Modelleri ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama*, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Kashedikar, K. ve Katore, H.V. (1998) "Improvement of quality and productivity in casting industries", *Mechanica Confab* (ISSN: 2320-2491), 2, 3.
- Katz, J.O. (1992). "Developing neural network forecasters for trading", *Technical Analysis of Stocks and Commodities*, 58-70.
- Kaya, İ. ve Engin, O. (2005). "Kalite iyileştirme sürecinde yapay zekâ tekniklerinin kullanımı", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 103-114.
- Kaya İ., Oktay, B. ve Engin O. (2005). "Yapay sinir ağları ile kalite kontrol problemlerinin çözümü", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 13-14.
- Kennedy, W.J. ve Bancroft, T.A. (1971). "Model building for prediction in regression based upon repeated significance tests", *The Annals of Mathematical Statistics*, 42(4), 1273-1284.
- Kim, S.B., Jitpitakert, W., Park, S.K. ve Hwang, S.J. (2012). "Data mining model based control charts for multivariate and autocorrelated processes", *Expert Systems with Applications*, 39(2), 2073--2081.

- Kiran, N.V.N.I., Devi, M.P. ve Lakshmi, G.V. (2010). "Effective control chart pattern recognition using artificial neural Networks", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(3), 194-199.
- Knoth, S. (2011). *SPC: Statistical Process Control, R Package Version 0.4.0*, <http://CRAN.r-project.org/package=spc>.
- Koçdar, S. ve Aydın, H. (2013). "Açık ve uzaktan öğrenme araştırmalarında delfi tekniğinin kullanımı". *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(3), 31-44.
- Koçer, B. (2004), *Çok Değişkenli Kalite Kontrol ve Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Koçer, B. ve Birgören, B. (2004). "İstatistiksel proses kontrol çizelgelerinde hata teşhisine yönelik yaklaşımlar", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(4), 59-69.
- Kourti, T. ve MacGregor, J.F. (1996). "Multivariate SPC methods for process and product monitoring", *Journal of Quality Technology*, 28 (4), 409–428.
- Lawless, J.F. ve Wang, P. (1973). "Asimulation of ridge and other regression estimators", *The Journal of Communication Statistics*, A5, 307-323.
- Lee, H.Y. ve Apley, D.W. (2004). "Diagnosing manufacturing variation using second-order and fourth-order statistics". *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16, 45–64.
- Leger, R.P., Garland, W.J. ve Poehlman, W.S. (1996). "Fault detection and diagnosis using statistical control charts and artificial neural networks", *Artificial Intelligence in Engineering*, 12(1), 35-47.
- Lewis, C.D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*, Butterworths Publishing, Londra.
- Li J., Jin J. ve Shi J. (2008), "A survey on statistical methods for health care fraud detection", *Health Care Management Science*, 11(3), 275-87.
- Li, T. ve Cavusgil, S.T. (1995). "A classification and assessment of research streams in international marketing", *International Business Review*, 4(3), 251-77.
- Liu, Y.G. ve Hu, S.J. (2005). "Assembly fixture fault diagnosis using designated component analysis", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 127-359
- Low, C.Y., Hsu, C.M., ve Yu, F.J. (2003). "Analysis of variations in a multi-variate process using neural networks", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11–12), 911–921.
- Lowry, C.A. ve Montgomery, D.C. (1995). "A review of multivariate control charts", *IIE Trans.* 27, 800–810.
- Lu, X.S., Xie, M., Goh, T.N. ve Lai, C.D. (1998). "Control chart for multivariate attribute processes". *International Journal of Production Research*, 36, 3477-3489.

- Mallow, C.L. (1973), "Some comments on C_p ", *Technometrics*, 15, 661-675.
- Maravelakis, P. E., Bersimis, S., Panaretos, J. ve Psarakis, S. (2002). "Identifying the out of control variable in multivariate control", *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 31: 2391-2408.
- Marguardt, D.W. (1970), "Generalized inverses, ridge regresion, biased linear estimation,a nonlinear estimation", *Technometrics*, 12, 591-612.
- Mason, R. L., Tracy, N. D. ve Young, J. C. (1995). "Decomposition of T^2 for multivariate control chart interpretation", *Journal of Quality Technology*, 27(2), 99-1108.
- Mason, R.L., Tracy. N.D. ve Young, J.C. (1997). "A practical approach for interpreting multivariate T^2 control chart signals", *Journal of Quality Technology*, 29, 396-406.
- Mason, R.L. Chou, Y.M. ve Young. J.C. (2001). "Applying hotelling's T^2 statistic to batch processes", *Journal of Quality Technology*, 33, 466-479.
- Mason, R.L. ve Young, J.C. (2002). "Multivariate statistical process control with industrial applications", *Society for Industrial and Applied Mathematics*.
- Mason, R.L., Chou, Y.M., Sullivan, J.H., Stoumbos, Z.G. ve Young, J.C. (2003). "Systematic patterns in T^2 charts", *Journal of Quality Technology*, 35, 47-58.
- Masood, I. ve Hassan, A. (2008). "Application of full factorial experiment in designing an ANN-based control chart pattern recognizer", *Proceedings of the International Graduate on Engineering and Science*, Malaysia, 2221-2227.
- Masood, I. ve Hassan, A. (2014). "Design of an artificial neural network pattern recognition scheme using full factorial experiment", *Applied Mechanics and Materials*, 465-466, 1149-1154.
- Masood, I. ve Hassan, A. (2012). "Pattern recognition for bivariate process mean shifts using feature-based artificial neural network", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(9-10).
- Masood, I. ve Hassan, A. (2013). "Pattern recognition for bivariate process mean shifts using feature-based artificial neural network", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9-12), 1201-1218.
- Masood, I. ve Hassan, A. (2010). "Issues in development of artificial neural networkbased control chart pattern recognition schemes", *European Journal of Scientific Research*, 39(3), 336-355.
- McDonald,G.C. ve Galerneau, D.I. (1975), "A monte carlo evaluation of some ridge-type estimators", *Journal of the American Statistical Association*, 70, 407-416.
- Milli Eğitim Gelişim Projeleri (MEGEP) (2007), *Döküm Süreçleri*, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Milli Eğitim Basımevi, Ankara.

- Mindivan, H. (2001). *Yüksek Mukavemetli Pirinçlerin Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- MKE Kurumunun Tarihçesi, Makine Kimya Endüstrisi Kurumu, Ankara (Erişim tarihi: 17 Mart 2016) <http://www.mkek.gov.tr/tr/Icerik.aspx?ID=51>.
- Moment Expo, (2008), Makine ve Aksamaları İhracatçıları Birliği Aylık Makine İhracatı ve Ticareti Dergisi, Sayı:06.
- Montgomery, D.C. (1996). *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley, New York.
- Montgomery, D.C. (2001). *Introduction to Statistical Quality Control (4th Edition)*, John Wiley, New York.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control (5th Edition)* John Wiley, New York.
- Montgomery, D.C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control (6th Edition)*, John Wiley, New York.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A. ve Vining, G.G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- Moseki, M. (2002). "Research into melting and casting of brass scrap for upliftment purposes". *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 102(2), 109-114.
- Muluneh, A. (2014). *Smallholder farmers' vulnerability to climate variability in the highland and lowland of Ethiopia: Implications to adaptation strategies*", (Ph.D. Thesis), University of South Africa, Geography Department.
- Murphy, B.J. (1987). "Selecting out of control variables with the T^2 multivariate quality control procedures", *The Statistician*, 36: 571-583.
- Nedumaran, G. ve Pignatiello, J.J. (1998). "Diagnosing signals from T^2 and χ^2 multivariate control charts", *Journal of Quality Engineering*, 10, 657-667.
- Nelson, L.S. (1984). "The Shewhart control chart: Test for special causes", *Journal of Quality Technology*, 16(4), 237-239.
- Nelson, L.S. (1985). "Interpreting Shewhart X-bar control charts", *Journal of Quality Technology*, 17(2), 114-116.
- Niaki, S.T.A. ve Abbasi, B. (2005). "Fault diagnosis in multivariate control charts using artificial neural networks", *Quality and Reliability Engineering International*, 21, 825-840.
- Niaki, S.T.A. ve Abbasi, B. (2008). "Detection and classification mean-shifts in multi-attribute processes by artificial neural networks". *International Journal of Production Research*, 46, 2945-2963.
- Niaki, S.T.A. ve Nasaji, S.A. (2011). "A hybrid method of artificial neural networks and simulated annealing in monitoring auto-correlated multi-attribute

processes”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.

- Niaki, S.T.A. ve Davoodi, M. (2009). “Designing a multivariate-multistage quality control system using artificial neural networks”, *International Journal of Production Research*, 47, 251-271.
- Niaki, S.T.A. ve Moeinzadeh, B. (1997). "A multivariate quality control procedure in multistage production systems", *International Journal of Engineering*, 10(4), 191-208.
- Niaki, S.A., Houshmand, A.A. ve Moeinzadeh, B. (2001). "On the performance of a multivariate control chart in multistage environment", *International Journal of Engineering*, 14(1), 49-64.
- Nijhuis, A., De Jong, S. ve Vandeginste, B.G.M. (1999). “The application of multivariate quality control in gas chromatography”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 47(1), 107-125.
- Noorossana, R., Atashgar, K. ve Saghaei, A. (2010). “An integrated supervised learning solution for monitoring process mean vector”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 11-15.
- Nur Hamizah, M. (2010). *Investigation of Brass Microstructure and Mechanical Properties Using Metal Casting*, (Ph.D. Thesis), Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.
- Obechain, R.L. (1975), “Ridge analysis following a preliminary test of the shrunken hypothesis”, *Technometrics*, 17, 431-441.
- Oktay, E. (1994), *Shewhart, CUSUM ve EWMA Kontrol Grafiklerinin Şeker Sanayiinde Uygulanması Üzerine Bir Deneme*, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Olgun, M.O. (2011). *Kalite Kontrol Grafiklerinde Örüntü Tanıma*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Olgun, M. O. ve Özdemir, G. (2012). “İstatistiksel özellik Temelli bayes sınıflandırıcı kullanarak kontrol grafiklerinde örüntü tanıma”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2).
- Orçanlı K., Oktay E. ve Birgören B. (2015). “Çok değişkenli kontrol kartları örüntü tanıma literatüründe bir araştırma”, *Social Sciences Research Journal*, 4(2), 23-42.
- Orçanlı K., Oktay E. ve Birgören B. (2017). “The Effects of Covariance Over the Residuals of Process Oriented Basis Representation in Multivariate Quality Control”, *Social Sciences Research Journal*, 6 (2), 20-40.
- Özçomak, S.M. (2004). *Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol Metotları. Döküm Sanayinde Bir Uygulama*, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Özdemir, A.F., Yıldıztepe, E. ve Binar, M. (2010). “İstatistiksel Yazılım Geliştirme Ortamı: R”, *Akademik Bilişim* (Muğla Üniversitesi), 11, 31-41

- Özel, S. ve Birgören, B. (2007), “Çok değişkenli kalite kontrol çizelgelerinin döküm sanayiinde uygulanması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 22(4), 809-811.
- Özel, S. (2005). *Çok Değişkenli Kalite Kontrol Çizelgelerinin Döküm Sanayiinde Uygulanması*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Özkale, R. (2004). *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulamalar*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*, Ezgi Kitapevi, Bursa.
- Pacella, M., Semeraro, Q. ve Anglani, A. (2004). “Adaptive resonance theory-based neural algorithms for manufacturing process quality control”, *International Journal of Production Research*, 42(21), 4581-4607.
- Padilla, V.O. (2005), *Process oriented basis estimation in presence of non-orthogonal basis elements*, (Master Thesis), University of Puerto Rico, Puerto Rico.
- Page, E.S. (1954), “Continuous inspection schemes”, *Biometrika*, 41 (1), 101.
- Patterson, J.T. (1996). *Grand Expectations: The United States, 1945-1974*, Oxford University Press.
- Peach, P. (1947). *An introduction to industrial statistics and quality control*, Edwards & Broughton.
- Perry, M.B., Spoerre, J.K. ve Velasco, T. (2001). “Control chart pattern recognition using back propagation artificial neural networks”, *International Journal of Production Research*, 39(15), 3399-3418.
- Perry, M. ve Pignatiello, J. (1999). "A review of artificial neural network applications in control chart pattern recognition", *In IIE Annual Conference. Proceedings (p. 1)*. Institute of Industrial Engineers-Publisher.
- Perry M.B., Spoerre J.K. ve Velasco T. (2001). “Control chart pattern recognition using back propagation artificial neural networks”, *International Journal of Production Research*, 39, 3399-3418.
- Pham, D.T. ve Chan, A.B. (1998). “Control chart pattern recognition using a new type of self organizing neural networks”, *Proc. Instn. Mech. Engrs*, 212 (Part I), 115-127.
- Pham, D.T. ve Chan, A.B. (1999). “A synergistic self-organizing system for control chart pattern recognition in s. g. tzafestas. advances in manufacturing: Decision. control and information technology”, *Springer-Verlag*, Londra.
- Pham, D.T. ve Chan, A.B. (2001). “Unsupervised adaptive resonance theory neural networks for control chart pattern recognition”, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 215 (Kısım B), 59-67.
- Pham, D.T. ve Oztemel, E. (1993). “Control chart pattern recognition using combinations of multilayer perceptrons and learning vector quantization neural networks”, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 207, 113-118.

- Pham, D.T. ve Oztemel, E. (1994). "Control chart pattern recognition using learning vector quantization networks", *International Journal of Production Research*, 32, 721-729.
- Pham, D.T. ve Öztemel, E. (1995). "An integrated neural network and expert system tool for statistical process control", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 209(2), 91-97.
- Pham, D.T. ve Sagioglu, S. (2001). "A comparative study of four multilayered perceptron training algorithms", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41, 419-430.
- Pham, D.T. ve Wani, M.A. (1997). "Feature-based control chart pattern recognition", *International Journal of Production Research*, 35(7), 1875-1890.
- Pignatello J.J. ve Runger, G.C. (1990). "Comparisons of multivariate CUSUM charts", *Journal of Quality Technology*, 22(3), 173.
- Pope, P.T. ve Webster, J.T. (1972). "The use of an F-statistic in stepwise regression procedures", *Technometrics*, 14(2), 327-340.
- Prabhu, S.S. ve Runger, G.C. (1997). "Designing a multivariate EWMA control chart", *Journal of Quality Technology*, 29:8-15.
- Principe, J.C., Euliano, N.R. ve Lefebvre, W.C. (2000). *Neural and Adaptive Systems: Fundamentals Through Simulations*, New York: John Wiley.
- Pribulová A., Gengel' P. ve Bartošová M. (2010). Odpady z výroby oceľových a liatinových odliatkov /prachy – ich charakteristika, vlastnosti a možnosti použitia, TUKE Košice.
- Psarakis, S. (2011), "The use of neural networks in statistical process control charts", *Quality and Reliability Engineering International*, 27, 641-650.
- Pugh, G.A. (1989). "Synthetic neural networks for process control.", *Computers and Industrial Engineering*, 17(1-4), 24-26.
- Ranjana, C. ve Maiti, J. (2013). "An approach to build process oriented basis for causation-based multivariate SPC and process capability analysis", *Quality and Reliability Engineering International*, 29, 1221-1234.
- Reynolds M.R. ve Stoumbos, Z.G. (2008). "Comparisons of multivariate Shewhart and MEWMA control charts for monitoring the mean vector and covariance matrix", *Journal of Quality Technology*, 40, 381-393.
- Roberts, S.W. (1959). "Control chart tests based on geometric moving averages", *Technometrics*, 1(3), 239-244.
- Ross, K.W. (2012). *Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunication Networks*, Springer Science & Business Media.
- Rumelhart, D.E. ve McClelland, J.L. (1986). "Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition: Foundations (Parallel distributed processing)". *International Journal of Production Research*, 3(3), 34-37.

- Runger, G.C., Alt, F.B. ve Montgomery, D.C. (1996). "Controlling multiple stream processes with principal components". *International Journal of Production Research*, 34(11), 2991–2999.
- Runger, G.C., Barton, R.R., del Castillo, E. ve Woodall, W.H. (2007). "Optimal monitoring of multivariate data for fault patterns", *Journal of Quality Technology*, 39(2), 159-172.
- Qiu, P. (2012). *Introduction to Statistical Process Control*, CRC Press Taylor & Francis Group.
- Qiu, P. ve Xiang, D. (2014). "Univariate dynamic screening system: an approach for identifying individuals with irregular longitudinal behavior", *Technometrics*, 56(2), 248-260.
- Quesenberry C.P. (1997). *SPC Methods for Quality Improvement*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. (2003). *Mühendislikte Yapay Zekâ Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları*, Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık.
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. (2000). "Control chart pattern recognition using artificial neural Networks", *Turk Joint Electronic Engineering*, 8(2), 137-147.
- Saithanu, K. (2006). "Neural networks and multivariate quality control", *Neurocomputing*, 68, 12.
- Sakallı, S. (2010). *Döküm Sanayinde Harmanlama Problemleri İçin Olabilirlik ve Olasılık Teorisi Tabanlı Modelleme ve Çözüm Yaklaşımları*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Salehi, M., Kazemzadeh, R.B. ve Salmasnia, A. (2012). "On line detection of mean and variance shift using neural networks and support vector machine in multivariate processes", *Applied Soft Computing*, 12, 2973–2984
- Salehi, M., Bahreininejad, A. ve Nakhai, I. (2011). "On-line analysis of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes using a hybrid learning-based model", *Neurocomputing*, 74(12–13), 2083–2095.
- Santos-Fernández, E. (2012). *Multivariate Statistical Quality Control Using R (Vol. 14)*, Springer Science & Business Media.
- Saravanakumar, P. (2015). "A systematic approach on reducing scrap level using six sigma in Indian foundries", *International Journal of Emerging Researches in Engineering Science and Technology*, 2, 12.
- Sarkar, N.K., Mallik, A.K., Panigrahi, D. ve Ghosh, S.N. (2001). "A note on the occurrence of breccia zone in the katpal chromite lode, Dhenkanal district, Orissa". *Indian Miner*, 55(3-4), 247-250.
- Satman, M.H. (2010). *İstatistik ve Ekonometri Uygulamaları ile R*, Türkmen Kitabevi.
- Schmitt A.J., Marcus, A. ve Barton R. (2002). "Benefit analysis of process-oriented basis representation as a method of multivariate statistical process control". *IIE 2002, Conference Proceedings*.

- Schilling, E.G. ve Nelson, P.R. (1976). "The effect of nonnormality on the control limits of $\bar{X}$ charts", *Journal of Quality Technology*, 8, 4, 183-188.
- Seder, L.A. (1990). "Golden oldies from industrial engineering-diagnosis with diagrams", *Quality Engineering*, 2: 503-530.
- Sepulveda, A. ve Nachlas, J.A. (1997). "A simulation approach to multivariate quality control", *Computers and Industrial Engineering*, 33, 113-116.
- Shaharoun, M.A. ve Jamaludin, H. (2003). "Improved SPC chart pattern recognition using statistical features", *International Journal of Production Research*, 41(7), 1587-1603.
- Sharma, S. (1996). *Applied Multivariate Techniques*, John Wiles&Sons Inc., Newyork.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, ASQ Quality Press.
- Silvey, S.D. (1969). "Multicollinearity and imprecise estimation", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 539-552.
- Singh, R. ve Gilbreath, G. (2002). "A real-time information system for multivariate statistical process control", *International Journal of Production Economics*, 75, 161-172.
- Stelios, P. (2011). "The use of neural networks in statistical process control charts", *Quality and Reliability Engineering International*, 27 641-650.
- Stevens, J.H. (1996). U.S. Patent No. 5,545,214. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Stoumbos, Z.G., Reynolds, M.R., Ryan, T.P. ve Woodall, W.H. (2000). "The state of statistical process control as we proceed into the 21st century", *Journal of the American Statistical Association*, 95, 992-998.
- Stevens, J. (1996). *Applied multivariate statistics for social sciences*, Lawrance Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, New Jersey.
- Scrucca, L. (2010). "Scrucca QCC: Quality control charts" R package version 2.0.1, pages <http://CRAN.r-project.org/package=qcc>.
- Shao, Y.E. ve Hou, C.D. (2013). *Hybrid Artificial Neural Networks Modeling for Faults Identification of A Stochastic Multivariate Process*, In Abstract and Applied Analysis (Vol. 2013). Hindawi Publishing Corporation.
- StateMaster, (2015). "The Major Structures of The Neuron", <http://www.statemaster.com/wikimir/images/upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/bd/Neuron.jpg>, (Erişim Tarihi: 22.02.2015).
- Sullivan J.H. ve Jones, L.A. (2002). "A self-starting control chart for multivariate individual observations", *Technometrics*, 44, 24-33.
- Sullivan, J.H. ve Woodall, W.H. (1996). "A comparison of multivariate control charts for individual observations". *Journal of Quality Technology*, 28, 398-408.

- Subramanyan, N. ve Houshmand, A.A. (1995), "Simultaneous representation of multivariate and corresponding univariate charts using line graph", *Quality Engineering*, 4, 681-682.
- Swift, J.A. (1987). *Development of Knowledge Based Expert System for Control Chart Pattern Recognition and Analysis*", (Unpublished Ph.D Thesis), The Oklahoma State University, Stillwater.
- The Comprehensive R Archive Network, (2015). <http://cran.r-project.org>.
- Thomas, G. (2002). "The S6 kinase signaling pathway in the control of development and growth", *Biological Research*, 35(2), 305-313.
- Tontini, G. (1996). "Pattern identification in statistical process control using fuzzy neural networks", *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Fuzzy System* 3, 2065-2070.
- Tontini, G. (1998). "Robust learning and identification of patterns in statistical process control charts using a hybrid RBF fuzzy artmap neural network", The 1998 IEEE International Joint Conference on Neural Network Proceedings (IEEE Trkoğlu, (2016), http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua_69/69_22586.pdf
- Trippi, R. and Turban, E. (1996). *Neural Networks in Finance and Investing*, Chicago: Irwin Publishing.
- Tsaukalas, L.H. ve Uhrig, R.E. (1997). *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*, New York: Wiley.
- Trkoğlu T. (2016). "Understanding Customer's Evaluations Through Mining Airline Reviews", *Int. J. Data Mining and Knowledge Management Process*, 5(6), 1-10. DOI :10.5121/ijdkp.2015.5601, 30/11/2015
- Uyar, C. (1993). *İstatistik Yöntemler*, Beta Yayınları, Ankara.
- nver, . (1996). *Uygulamalı İstatistik Yöntemler. (İkinci baskı)*, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Vijayaram, T.R., Sulaiman, S. ve Hamouda, A.M.S. (2006). "Foundry quality control aspects and prospects to reduce scrap rework and rejection in metal casting manufacturing industries", *Elsevier Journal of Materials Processing Technology*, 178, 39-43.
- Yang, K., He, Y. ve Xie, W. (1994). "Statistical diagnosis and analysis techniques: a multivariate statistical study for an automotive door assembly process". *Quality Engineering*, 7, 1-29.
- Yang, J.H. ve Yang, M.S. (2005). "A control chart pattern recognition system using a statistical correlation coefficient method", *Computers & Industrial Engineering*, 48, 205-221.
- Yang, W. (2013). *Monitoring and Diagnosing of Mean Shifts in Multivariate Manufacturing Processes Using Two-Level Selective Ensemble of Learning Vector Quantization Neural Networks*, Springer Science and Business Media, New York.

- Yeh A.B., Huwang L. ve Wu Y.F. (2005). "A multivariate EWMA control chart for monitoring process variability with individual observations", *IIE Transactions*, 37:1023–1035.
- Yeh A.B., Huwang L. ve Wu Y.F. (2004). "A likelihood ratio based EWMA control chart for monitoring variability of multivariate normal processes", *IIE Transactions*, 36:865–879.
- Yeh A.B., Lin D.K.J., Zhou H. ve Venkataramani C. (2003). "A multivariate exponentially weighted moving average control chart for monitoring process variability", *Journal of Applied Statistics*, 30:507–536.
- Yeh A.B. ve Lin D.K.J. (2002). "A new variables control chart for simultaneously monitoring multivariate process mean and variability", *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 9:41–59.
- Yılmaz, T. (2015). "Artificial neural network", *Journal of Applied Statistics*, 20, 50-53.
- Yu, J.B. ve Xi, L.F. (2009). "A neural network ensemble-based model for on-line monitoring and diagnosis of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes", *Expert Systems with Applications*, 36, 909-921.
- Yu, J.B., Xi, L.F. ve Zhou, X. (2013). "Identifying source(s) of out-of-control signals in multivariate manufacturing process using selective neural network ensemble", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22, 141-152.
- Yuehjen, E. ve Chia-Ding, H. (2013). "Hybrid artificial neural networks modeling for faults identification of a stochastic multivariate process", *Hindawi Publishing Corporation Abstract and Applied Analysis*, (2), 2, 34-35.
- Wade, M.R. ve Woodall, W.H. (1993). "A review and analysis of cause-selecting control charts", *Journal of Quality Technology*, 25, 161-169.
- Wahba, G., Golub, G.H. ve Health, C.G. (1979), "Generalized cross-validation as a method for choosing a good ridge parameter", *Technometrics*, 21, 215-223.
- Wang, T.Y. ve Chen, L.H. (2002). "Mean shifts detection and classification in multivariate process: A neural-fuzzy approach", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13(3), 211–221.
- Wang, C.H., Kuo, W. ve Qi, H. (2007). "An integrated approach for process monitoring using wavelet analysis and competitive neural network", *Quality and Reliability Engineering International*, 45:227–244.
- Wani, M.A. ve Rashid, S. (2005). "Parallel algorithm for control chart pattern recognition", In *Machine Learning and Applications, Proceedings. Fourth International Conference on (5). IEEE*.
- Webster, J.T., Gunst, R.F. ve Mason, R.L. (1974). "Latent root regression analysis", *Technometrics*, 16(4), 513-522.
- Western Electric Company (1958). *Statistical Quality Control Handbook*, Indianapolis, Indiana: Western Electric Co. Inc.

- Weindling, J.I. (1967). *Statistical Properties of A General Class of Control Charts Treated as A Markov Process*. (Ph.D. Dissertation), Columbia University, New York,
- Venables, W.N. ve Smith, D.M. (2008). *An Introduction to R*, <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>
- West, D.A., Mangiameli, P.M. ve Chen, S.K. (1999). "Control of complex manufacturing processes: A comparison of SPC methods with a radial basis function neural network", *International Journal of Management Science: Omega*, 27(3), 349–362
- Wierda, S.J. (1994). "Multivariate statistical process control: Recent results and directions for future research", *Statistica Neerlandica*, 48, 147–168.
- Witt, S.F. ve Witt, C.A. (1992). *Modeling and Forecasting Demand in Tourism*, Academic Press., Londra.
- Wu, S. (2010). "Intelligence statistical control in cellular manufacturing based on wavelet transform and probabilistic neural network", *Journal of Computational Information Systems*, 6(10), 3463-3470.
- Wu, B. ve Yu, J.B. (2010), "A neural network ensemble model for on-line monitoring of process mean and variance shifts in correlated processes", *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4058–4065, 2010.
- Zhou, S., Ding, Y., Chen, Y. ve Shi, J. (2003). "Diagnosability study of multistage manufacturing processes based on linear mixed-effects models", *Technometrics* 45(4), 312-325.
- Zorriassatine, F., Guh, R.S., Parkin, R.M. ve Coy, J. (2004). "Integrating novelty detection, neural networks and conventional tools for pattern recognition in multivariate processes", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(7), 779–793.
- Zorriassatine, F., Tannock, J.D.T. ve O'Brien, C. (2003). "Using novelty detection to identify abnormalities caused by mean shifts in bivariate processes", *Computers and Industrial Engineering*, 44, 385-408.
- Zorriassatine, F. ve Tannock, J.D.T. (1998). "A review of neural networks for statistical process control", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9, 209–224.
- Zorriassatine, F., Al-Habaibeh, A., Parkin, R.M., Jackson, M.R., ve Coy, J. (2005). "Novelty detection for practical pattern recognition in condition monitoring of multivariate processes: A case study", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(9–10), 954–963.
- Zurada, J.M. (1992). *Introduction to Artificial Neural Systems*. West Publishing Company, St. Paul, MN.

Ek-1: Uygulamada Kullanılan Programlama Dili ve Paket Programları

1. Uygulamada Kullanılan Programlama Dili

Uygulamada programlama dili olarak R programlama dili kullanılmıştır. R dili, modül-2'de STTE'lerin elde edilmesinden sonra STTG katsayılarının hesaplanmasında ve STTE'lerin arasındaki ortogonallığe bağlı olarak ortaya çıkan çoklu bağlantının incelenmesinde gösterge değerlerin elde edilmesinde kullanılmıştır.

2. R Dilinin Tanıtımı

Ücretsiz ve ticari amaç gütmeyen bir program olan R, özellikle Amerika ve Avrupa'daki istatistikçiler arasında en çok tercih edilen programlardan biridir. Bu programın kullanımı da ülkemizde de her geçen gün artmaktadır (İlk, 2011:1).

R dili, istatistiksel hesaplama ve grafikleri için bilgisayar programı olup aynı zamanda bağımsız bir kurum ve kişilerce geliştirilen açık kaynak kodlu bir programlama dilidir. R dilinin tasarımında, Bell Laboratuvarlarında John Chamber ve arkadaşları tarafından geliştirilen S dilinden ve Sussman'ın geliştirdiği Scheme dilinden etkilenilmiştir. Dolayısıyla R dili, S dilinin bir uzantısıdır. S dilinin iki önemli türevinden biri olan R, çekirdek program ve paketleri ile ücretsiz olarak indirilip kurulabilmektedir. Diğer türevi olan S+ ise TIBCO firmasının ticari bir ürünüdür.

R dili ilk olarak Yeni Zelanda Auckland Üniversitesi İstatistik bölümünden Ross Ihaka ve Robert Gentleman tarafından ortaya konulmuş ve GNU projesi içinde geliştirilmiştir. Daha sonra 1997 yılından itibaren dünyanın çeşitli yerlerinden insanlardan oluşan R Core Team adında bir grup tarafından R dili geliştirilmeye devam etmiştir. R dilinin ilk sürümü "R core team" tarafından 29 Şubat 2000 tarihinde yayınlanmıştır.

Venables ve Smith (2008)'e göre R dilinin bazı temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- R, yaygın olarak kullanılan SPSS, SAS gibi istatistik paket programlarının aksine istatistiksel yazılım geliştirme ortamıdır.
- Etkin veri işleme ve saklama özelliğine sahiptir.

Ek-1: Uygulamada Kullanılan Programlama Dili ve Paket Programları (Devamı)

- Dizi ve özellikle matris hesaplarında kullanılabilecek özel operatörler mevcuttur.
- Veri analizi için kullanılabilecek uyumlu ve bir arada kullanılabilen araçlar içerir.
- Veri çözümlemesinde kullanılabilecek grafiksel araçlara sahiptir.
- S dili gibi basit ve etkili bir programlama dilidir.

Satman (2010)'a göre R dili istatistik ve ekonometri konularıyla ilgili özel olarak tasarlanmıştır. Ancak sunduğu imkânlar ve diğer dillerden kütüphaneler ihraç edebilme özelliğinden dolayı çok yetenekli bir dildir. Farklı disiplinlerde çalışan araştırmacıların R dili ile çalışması için birçok neden bulunmaktadır. Bu nedenler şöyle sıralanabilir.

- R, ücretsizdir.
- R, kolayca indirilip kurulmaya hazır yüzlerce ücretsiz pakete sahiptir.
- R, öğrenilmesi zor bir dildir.
- Gelişmiş veri işleme özelliklere sahip olmasına rağmen, bunların kullanılabilmesi özellikle dizi ve matris işlemlerine oldukça hâkim olmayı gerektirir (Özdemir, Yıldıztepe ve Binar, 2010).

- Çok büyük veri dosyaları ile çalışmak için uygun değildir. Birkaç yüz megabyte veri dosyaları ile uğraşıldığında yetersiz bellek sorunu ile karşılaşılabilir.

- Ticari bir birim olmadığından karşılaşılabilecek sorunlarla ilgili teknik desteğin sağlanması bulunmamaktadır.

R for Windows paket programı, Clarke ve Cooke (1983)'e göre çevre birimi kullanıcılara; etkin bir veri işleme ve depolama olanağı, dizi ve matris hesaplamaları için komutlar grubu, veri analizi için ileri düzeyli teknikler topluluğu, verinin ekranda ya da basılı bir eserde görüntülenebilmesine olanak veren geniş grafiksel özellikler ve kolay programlamaya uygun fakat karmaşık programlama dillerinin özelliklerin sahip bir programlama dili olanaklarını sunmaktadır.

Ek-1: Uygulamada Kullanılan Programlama Dili ve Paket Programları (Devamı)

R'nin en büyük dezavantajı gelişmiş bir grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip olmamasıdır. Başlıca yaygın olarak kullanılan R kullanıcı ara yüzleri standart R ara yüzü, R Studio ara yüzü ve R Commander ara yüzüdür.

R for Windows paket programı kullanılarak çevre bilimlerinde kullanılan teknikler, robust regresyon teknikleri; en küçük mutlak sapma, Huber'ın M tahmincileri, en küçük kantil regresyon, en küçük açı regresyonu, beta regresyon, yer-konum veri analizi, dairesel veri analizi, kategorik veri analizinde kayıp veri analizi, genel kayıp veri analizi, iklim analizi, robust kovaryans analizi, sinyal işleme, sinir ağları, basit görüntü analizi, yaşam analizi, genetik, çok değişkenli normal ve t dağılımı, veri madenciliği, Bulanık analiz teknikleri, kalite kontrol, regresyon ağaçları, kategorik verinin grafiksel gösterimi, sieve şeması gibi ileri düzeyli istatistiksel analizlerinde yürütülmesi mümkündür (The Comprehensive R Archive Network, <http://cran.r-project.org>, 2015).

R dilinde istatistiksel süreç kontrolü için çeşitli R paketleri bulunmaktadır. R dilinde istatistiksel süreç kontrolü için kullanılan bazı R paketleri aşağıda açıklanmıştır.

- **QCC (Quality Control Chart) Paketi:**Bu paket çeşitli Shewhart kontrol grafikleri ile geleneksel CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin oluşturulması için gereken fonksiyonları kapsar. (Scrucca, 2010)

- **SPC (Statistical Process Control) Paketi:**Bu paket, normal dağılmış tek değişkenli süreçlerin ortalamasını ve varyansını izlemek için kullanılan tek ve iki yönlü *EWMA*, *CUSUM* ve Shiryaev-Roberts kontrol grafiklerinin sıfır durumu ile sabit durum *ARL* değerlerini hesaplamak için gerekli olan fonksiyonları kapsar. Ayrıca adı geçen kontrol grafikleri ile *CUSUM* ve *EWMA* kontrol grafikleri için kontrol sınırlarının bulunmasında da kullanılır.(Knoth, 2011)

- **MNSPC (Multivariate Nonparametric Statistical Process Control) Paketi:**Bu paket parametrik olmayan çok değişkenli kontrol grafiklerinin oluşturulması ile ilgili fonksiyonları kapsar. (Bezener ve Qiu, 2011)

Ek-1: Uygulamada Kullanılan Programlama Dili ve Paket Programları (Devamı)

- **CPM Paketi:**Bu paket tek değişkenli süreçlerde faz 2’de değişim noktasının bulunması için tasarlanmış bir paket programıdır. Bu paket hem parametrik hem de parametrik olmayan fonksiyonları kapsar.(Ross, 2012)

- **MSQC (Multivariate Statistical Quality Control) Paketi:**Bu paket çeşitli çok değişkenli Shewhart kontrol grafikleri ile geleneksel çok değişkenli *CUSUM* ve *EWMA* kontrol grafiklerinin oluşturulması için gereken fonksiyonları kapsar (Santos-Fernandez, 2012).

3.Uygulamada Kullanılan Paket Programları

Uygulamada biri Minitab paket programı ve diğeri NeuroSolution paket programı olmak üzere iki adet paket programı kullanılmıştır. **Minitab paket programı**, nominal kalite karakteristikleri ile modül-3’de STTG katsayılarının tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde izlenmesi için, **NeuroSolution paket programı** ise modül-4’de STTG katsayılarının çok değişkenli kontrol grafiklerinde izlenmesinden sonra kontrol dışı sinyallerin tespit edilmesi durumunda ve tespit edilen bu kontrol dışı sinyalin hangi hata kaynağının neden olduğunu ortaya koymak için yapılan sınıflandırma işleminde kullanılmıştır.

2.1. Minitab paket programı:

Minitab yazılımı, grafik tabanlı bir istatistiksel yazılım programıdır. Bu istatistiksel yazılım programı, günümüzde oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Minitab yazılımı ile ilgili olarak detaylı bilgiler için paket programda yer alan yardım menüsündeki dokümanlara bakılabilir.

3.2. NeuroSolutions Paket Programı:

NeuroSolutions yazılımı, grafik tabanlı bir YSA simülasyon programıdır. Öğrenme esnasında ağı gerçek zamanlı analizinin yapılabilmesini sağlar. Birçok farklı yapılar öğrenme algoritması ve veri analizi yaklaşımını üzerinde barındırır. Elde edilen yazılımın C++ kaynak kod dönüşümü, DLL ve OLE desteği sağlaması diğer farklılıklarıdır.

Ek-1: Uygulamada Kullanılan Programlama Dili ve Paket Programları (Devamı)

NeuroSolutions yazılımında, çok katmanlı perceptron, çok katmanlı genelleştirilmiş ileri beslemeli perceptron, modüler sinir ağı, Jordan/Elman ağı, temel bileşenler analizi, radial basis function (*RBF*) ağı, self-organizing feature maps (*SOFMs*) ağı, time lagged recurrent (*TLR*) ağı, geri dönüşümlü ağlar (*recurrent networks*), Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System (*CANFIS*) ağı ve destek vektör makineleri (*DVM*) ile kurulan modeller çözümlenmektedir.

Literatürde birçok YSA yapısı bulunmaktadır. Bu ağlar, YSA'ların yapılarının sınıflandırılması bölümünde de belirtildiği üzere çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır.



Ek-2: DIN 17660 Pirinç Alaşımı Çeşitleri

ESK Kısa Aret	Yen Kısa Aret	Malzeme No	Ağırlık Yüzdesi Olarak Bileşim		Yoğunluk	Kullanıldığı yerler
			Alaşımlı Oluşturan Unsurlar	Kabul edilebilir Katkılar(Maks)		
MS63 Pb	CuZn37Pb0,5	CW604N	Cu:62-64 Pb:0.1-0.8 Zn:geri kalan	Al:0,05 Fe:0.1 Ni:0.3 Sn:0.2	8,4gr/cm3	Talaş kaldırma kabiliyeti iyidir.İyi soğuk şekil verilebilir.Derin çekilmeye oldukça uygundur.Preslenme kabiliyeti yüksektir.
MS60 Pb	CuZn38Pb1	CW607N	Cu:60-61 Pb:0.8-1.8 Zn:geri kalan	Al:0.05 Fe:0.2 Ni:0,3 Sn:0,2 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm3	Talaş kaldırma kabiliyeti iyidir.Sıcak ve soğuk işleme için çok uygundur.Bükülebilme ve haddelenebilme özelliği yüksektir.Zımbalanabilir.
MS60 Pb	CuZn39Pb0,5	CW610N	Cu:59-60.5 Pb:0.2-0.8 Zn:geri kalan	Al:0,5 Fe:0,2 Ni:0,3 Sn:0,2 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm3	Talaş kaldırma kabiliyeti çok iyidir.Sıcak ve soğuk şekil alma kabiliyeti çok yüksektir. .Bükülebilme ve haddelenebilme özelliği yüksektir.Kalıpta işlenebilmeye izin verir.Perçinlenebilir.
MS58	CuZn39Pb2	CW612N	Cu:59-62 Pb:1.8-2.4 Zn:geri kalan	Al:0,05 Fe:0,3 Ni:0,3 Sn:0,3 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm3	Talaş kaldırma kabiliyeti çok yüksektir.Çok iyi .Sıcak ve soğuk şekil alma kabiliyetine sahiptir.Haddelenmeye ve kalıpta işlemeye uygundur.Delik açmaya ve frezelemeye uygundur.Tekerlek, platin ucu ,saat kadranı vb. kullanılır.
MS58	CuZn39Pb3	CW614N	Cu:87-99 Pb:2.5-3.5 Zn:geri kalan	Al:0,05 Fe:0,3 Ni:0,3 Sn:0,3 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm3	Talaş kaldırma kabiliyeti çok iyidir.İyi sıcak şekil verilebilir.Otomat tezgahlarındaki üretilen temel malzemedir.Musluk başlığı yapımında kullanılır.Cıvata,vida somun yapımına uygundur.

MS58	CuZn40Pb2	CW617N	Cu:87-89 Pb:1.9-2.9 Zn:geri kalan	Al:0,05 Fe:0,3 Ni:0,3 Sn:0,3 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm3	Çok iyi talaş kaldırma kabiliyetine sahiptir.Soğuk şekil alabilme kabiliyeti sınırlıdır.Çok iyi sıcak şekil verilebilir.Her çeşit şerit işleri için kullanıma uygundur.Sıcak ekstrüzyona son derece uygundur.Tekerlek, platin ucu , saat kadranı yapımında kullanılır.
MS56	CuZn43Pb2	CW623N	Cu:55-87 Pb:1.6-3 Zn:geri kalan	Al:0,05 Fe:0,3 Ni:0,3 Sn:0,3 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm3	Çok iyi Talaş kaldırma kabiliyetine sahiptir.Sıcak şekillendirmeye çok uygundur.Fakat soğuk şekillendirmeye uygun değildir.Çok ince ve uzun pres lamaları yapımına oldukça uygundur.İnşaat lamaları ve merdiven korkuluğu yapımında kullanılır.
SOMS76	CuZn20Al2A5	CW702R	Cu:76-79 Al:1.5-2.3 Zn:geri kalan	Ag:0,02-0,06 Fe:0,07 Mn:0,1 Ni:0,1 P:0,01 Pb:0,05 Diğerleri:0,3	8,4gr/cm3	Boru ve boru yatağı , kondansatörler için ısı taşıyıcıları ve değiştiricileri yapımında kullanılır. Korosyon direnci yüksek olduğundan deniz suyu nakil boruları imalatında kullanılır.
SOMS58Al1	CuZn39Mn1AlPb Si	CW718R	Cu:57-59 Mn:0.8-1.8 Al:0.3-1.3 Pb:0.2-0.8 Si:0.2-0.8 Zn:geri kalan	Fe:0,5 Ni:0,5 Sn:0,5 Diğerleri:0,3	8,3gr/cm3	Korosyon direnci yüksektir. Yüksek mukavemette ve orta sağlamlıkta yapı malzemesi olarak kullanılır.
SOMS58Al2	CuZn37Mn3Al2P bSi	CW713R	Cu:57-59 Mn:1.5-3 Al:1.3-2.3 Pb:0.2-0.8 Si:0.3-1.3 Zn:geri kalan	Fe:1,0 Ni:1,0 Sn:0,4 Diğerleri:0,4	8,1gr/cm3	Lehimlenebilme özelliği yüksektir.Korosyon direnci yüksektir.Yüksek mukavemette ve yüksek sağlamlıkta yapı malzemesi olarak kullanılır.

MS95	CuZn5	CW500L	Cu:94-96 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,9gr/cm3	Çok iyi soğuk şekil verilebilir.Dövülmeye ve işlemeye çok uygundur.Piyano tuşları yapımı için çok uygundur.Elektroteknikte izolasyon malzemesi olarak kullanılır.
MS90	CuZn10	CW501L	Cu:89-91 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,8gr/cm3	Çok iyi soğuk şekil verilebilir.Preslemeye,kalıplamaya,dövülmeye ve işlemeye çok uygundur.
MS85	CuZn15	CW502L	Cu:84-88 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,8gr/cm3	Çok iyi soğuk şekil verilebilir.Preslemeye,kalıplamaya,dövülmeye ve işlemeye çok uygundur.Hortum ucu manometre ve yay kenarlarında kullanım için çok uygundur.Korozyon direnci çok yüksektir.
MS80	CuZn20	CW503L	Cu:79-81 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,7gr/cm3	Çok iyi soğuk şekil verilebilir.Preslemeye,kalıplamaya,dövülmeye ve işlemeye çok uygundur.Hortum ucu manometre ve yay kenarlarında kullanım için çok uygundur.Korozyon direnci çok yüksektir.
MS72	CuZn28	CW504L	Cu:71-73 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,6gr/cm3	Çok iyi soğuk şekil verilebilir.Derin çekmeye, soğuk preslemeye ve perçinlemeye çok uygundur.Çelik üzerine düzgün şekilde geçilebilir.Mermiler için kovan ve gömlek yapımında kullanıma çok uygundur.Korozyon direnci yüksektir.
MS70	CuZn30	CW505L	Cu:69-71 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1	8,5gr/cm3	Çok iyi soğuk şekil verilebilir. .Derin çekmeye, soğuk preslemeye ve perçinlemeye çok uygundur. Çelik üzerine düzgün şekilde geçilebilir.Mermiler için kovan ve gömlek yapımında kullanıma çok uygundur.Korozyon direnci yüksektir.

MS67	CuZn33	CW506L	Cu:66-88 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,5gr/cm ³	Çok iyi soğuk şekil verilebilir.Tel örgü,soğutucu bantıve boru perçini olarak kullanıma çok uygundur.
MS63	CuZn36	CW507L	Cu:63,5-85,5 Zn:geri kalan	Al:0,02 Fe:0,05 Ni:0,3 Pb:0,05 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,4gr/cm ³	Soğuk şekil verilebilir.Derin çekmeye, preslemeye , soğuk haddelemeye ,bükmeye uygundur.Tercihli olarak uç aşındırıcı yapımında kullanılır.
MS63	CuZn37	CW508L	Cu:62-84 Zn:geri kalan	Al:0,06 Fe:0,1 Ni:0,3 Pb:0,1 Sn:0,1 Diğerleri:0,1	8,4gr/cm ³	Soğuk şekil verilebilir.Derin çekmeye, preslemeye , soğuk haddelemeye ,bükmeye uygundur.İyi lehimlenebilir.Yay yapımına uygundur.Dökülebilirliği yüksektir.Fermuar ve fermuar şeritleri yapımında kullanılır.Kurşun kalem uçları yapımında kullanılır.
MS60	CuZn40	CW509L	Cu:59,5-81,5 Zn:geri kalan	Al:0,06 Fe:0,2 Ni:0,3 Pb:0,3 Sn:0,2 Diğerleri:0,2	8,4gr/cm ³	Soğuk şekil verilebilir.Sıcak şekil verilebilir.Bükmeye,dövmeye, haddelemeye ve perçinlemeye uygundur.Kalıpla şekil verilebilirliği zayıftır.Derin çekmeye uygun değildir.Nipel teli ve kondansatör yatağı yapımında kullanılır.Metal para yapımında kullanılır.

Ek-3: Stokiyometrik Tablo (Örnek)

HA- Lİ- TA	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ
			0.05		0.13		0.40							
89	0.01	Zn	0.02		0.10		0.36							
	0.03	Zn			0.08		0.33							
61	0.05	Zn	0.01	Zn	0.05		0.30							
62	0.06	Zn	0.03	Zn	0.02		0.26							
	0.08	Zn	0.05	Zn			0.23							
64	0.10	Zn	0.06	Zn	0.01	Zn	0.20							
65	0.12	Zn	0.08	Zn	0.03	Zn	0.16							
66	0.13	Zn	0.10	Zn	0.04	Zn	0.13							
67	0.15	Zn	0.11	Zn	0.06	Zn	0.10							
68	0.17	Zn	0.13	Zn	0.07	Zn	0.06							
69	0.18	Zn	0.15	Zn	0.09	Zn	0.03							
	0.20	Zn	0.14	Zn	0.11	Zn		0.30						
71	0.22	Zn	0.16	Zn	0.13	Zn	0.01	Zn						
72	0.24	Zn	0.18	Zn	0.14	Zn	0.02	Zn						
73	0.25	Zn	0.20		0.16	Zn	0.04	Zn						
74	0.27	Zn	0.23		0.19	Zn	0.06	Zn						
75	0.29	Zn	0.25	Zn	0.20	Zn	0.07	Zn						
	0.31	Zn	0.26	Zn	0.22	Zn	0.08	Zn						
77	0.32	Zn	0.28	Zn	0.24	Zn	0.10	Zn						
78	0.34	Zn	0.30	Zn	0.26	Zn	0.11	Zn						

HA- Lİ- TA	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ	1000 KG. HALİTA İÇİN	CİNSİ
79	0.36	Zn	0.31	Zn	0.27	Zn	0.13	Zn						
80	0.38	Zn	0.32	Zn	0.28	Zn	0.14	Zn						
81	0.39	Zn	0.33	Zn	0.29	Zn	0.15	Zn						
82	0.41	Zn	0.36	Zn	0.30	Zn	0.17	Zn						
83	0.43	Zn	0.38	Zn	0.32	Zn	0.18	Zn						
84	0.45	Zn	0.40	Zn	0.34	Zn	0.20	Zn						
85	0.46	Zn	0.41	Zn	0.36	Zn	0.21	Zn						
86	0.48	Zn	0.43	Zn	0.37	Zn	0.23	Zn						
87	0.50	Zn	0.45	Zn	0.39	Zn	0.24	Zn						
88	0.52	Zn	0.46	Zn	0.40	Zn	0.25	Zn						
89	0.53	Zn	0.47	Zn	0.42	Zn	0.27	Zn						
	0.55	Zn	0.48	Zn	0.43	Zn	0.28	Zn	0.16	Zn			1.00	Zn
91	0.57	Zn	0.50	Zn	0.45	Zn	0.30	Zn						
92	0.59	Zn	0.52	Zn	0.47	Zn	0.31	Zn						
93	0.60	Zn	0.54	Zn	0.50	Zn	0.33	Zn						
94	0.62	Zn	0.55	Zn	0.51	Zn	0.34	Zn						
	0.64	Zn	0.57	Zn	0.52	Zn	0.36	Zn	0.23	Zn	0.05	Zn		
96	0.65	Zn	0.59	Zn	0.53	Zn	0.37	Zn						
97	0.67	Zn	0.60	Zn	0.54	Zn	0.38	Zn						
98	0.69	Zn	0.62	Zn	0.55	Zn	0.40	Zn						
99	0.70	Zn	0.62	Zn	0.57	Zn	0.41	Zn						
	0.72	Zn	0.62	Zn	0.58	Zn	0.43	Zn	0.30	Zn			0.10	Zn

Ek-3: Stokiyometrik Tablo (Örnek) (Devam)

[illegible]

Ek-4:Spektral Analiz Defteri Sayfası

M.K.E. KURUMU PİRİNÇ FABRİKASI (PAŞ-KAD-315)												
ANALİZ DEFTERİ												
Çap	Evraf	Döküm No.	Ocak No.	% Cu	% Pb	% Fe	% Sn	% Al	% Ni	% Sb	% Bi	Düğü
178	58	Kontrol	II	59,25	1,30	0,04	0,13	2015	—	0,02	0,003	
178	58		11	60,92	0,83	0,04	0,13	—	0,02	0,004		
178	58		10	58,02	1,35	0,06	0,07	—	0,02	0,003		K.K.
178	58		10	60,48	1,87	0,07	0,08	—	0,02	0,015		
178	58	1	D	57,53	1,81	0,05	0,11	—	0,02	0,010		
250	58	1	I	64,21	3,44	0,62	1,74	0,21	0,33	0,015	0,001	0,00
178	58		11	56,96	2,08	0,05	0,22	—	0,02	0,006		
178	58	2	D	57,68	1,89	0,05	0,16	—	0,02	0,010		
178	58	Kontrol	II	57,54	1,87	0,03	0,11	—	0,01	0,006		
178	58		10	61,61	1,59	0,04	0,12	—	0,01	0,006		K.K.
178	58	Kontrol	II	57,39	1,88	0,04	0,13	—	0,02	0,006		
178	58		D	58,28	1,87	0,04	0,13	—	0,02	0,006		
178	58	Kontrol	II	57,85	1,72	0,03	0,13	—	0,01	0,004		
178	58		11	60,89	1,46	0,03	0,14	—	0,01	0,004		
178	58	4	D	57,24	2,09	0,04	0,13	—	0,01	0,005		
178	58	Kontrol	II	57,50	1,70	0,10	0,23	0,01	0,06	0,006		
178	58		10	60,63	1,71	0,10	0,23	0,01	0,06	0,006		
178	58	5	D	57,65	1,74	0,06	0,17	—	0,03	0,004		
178	58					2,32						
178	58		11	58,25	2,30	0,06	0,24	—	0,03	0,015		
178	58	6	D	57,20	2,08	0,06	0,19	—	0,03	—		
178	58		11	57,26	1,80	0,08	0,20	0,01	0,05	—		K.K.
178	58	7	D	57,39	1,96	0,07	0,19	—	0,04	—		
250	58	2	I	66,26	3,52	0,59	1,15	0,06	0,40	0,080	0,0015	
178	58		10	59,30	1,65	0,07	0,26	0,01	0,05	—		

Ek-5:Uygulama Verileri (01 Ocak-31 Mart 2015)

326

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

							1	2	3	4	5	6
--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

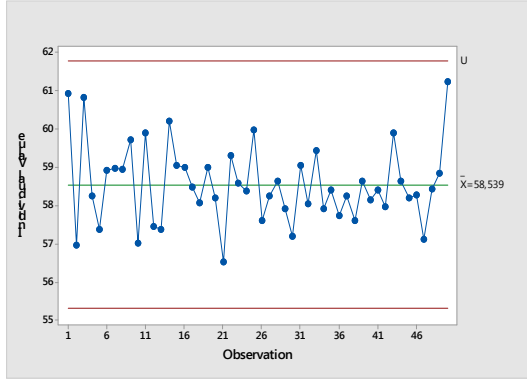
Ek-6:Kalite Karakteristiği Olarak Element Değerlerinin I , MR ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri ile İzlenmesinde Faz I Aşaması Değerleri

Ocak ayı		<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Fe</i>	<i>Sn</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Sb</i>
5. gün	1.ölçüm	60.92	0.83	0.04	0.13	0.00	0.02	0.00
	2. ölçüm	56.96	2.08	0.05	0.22	0.00	0.02	0.01
	3. ölçüm	60.81	1.46	0.03	0.14	0.00	0.01	0.00
	4. ölçüm	58.25	2.30	0.06	0.24	0.00	0.03	0.02
	5. ölçüm	57.36	1.80	0.08	0.20	0.01	0.05	0.00
6. gün	6. ölçüm	58.92	1.71	0.10	0.21	0.00	0.05	0.00
	7. ölçüm	58.97	1.61	0.08	0.17	0.00	0.07	0.01
	8. ölçüm	58.95	1.85	0.07	0.17	0.00	0.04	0.01
	9. ölçüm	59.70	2.09	0.06	0.18	0.00	0.03	0.00
	10. ölçüm	57.00	1.86	0.05	0.16	0.00	0.03	0.00
	11. ölçüm	59.90	1.78	0.05	0.17	0.00	0.03	0.00
8. gün	12. ölçüm	57.45	1.95	0.10	0.19	0.01	0.05	0.00
	13. ölçüm	57.37	1.80	0.07	0.19	0.00	0.03	0.00
	14. ölçüm	60.20	2.06	0.07	0.22	0.00	0.03	0.00
	15. ölçüm	59.05	1.91	0.10	0.28	0.01	0.07	0.01
	16. ölçüm	59.00	1.83	0.10	0.30	0.01	0.06	0.01
9. gün	17. ölçüm	58.47	1.78	0.07	0.32	0.00	0.04	0.00
12. gün	18. ölçüm	58.07	1.85	0.08	0.32	0.00	0.04	0.01
	19 ölçüm	59.00	1.30	0.08	0.16	0.00	0.03	0.00
	20. ölçüm	58.20	2.36	0.08	0.17	0.00	0.03	0.03
	21. ölçüm	56.53	1.75	0.05	0.19	0.00	0.03	0.01
	22. ölçüm	59.30	1.80	0.06	0.24	0.00	0.03	0.01
13. gün	23. ölçüm	58.58	1.79	0.07	0.27	0.00	0.03	0.01
	24. ölçüm	58.37	2.00	0.09	0.22	0.00	0.04	0.01
	25. ölçüm	59.97	1.95	0.07	0.24	0.00	0.04	0.01
	26. ölçüm	57.60	2.41	0.08	0.19	0.00	0.04	0.01

	27. ölçüm	58.25	2.02	0.07	0.03	0.00	0.04	0.01
	28 ölçüm	58.62	2.01	0.07	0.19	0.00	0.02	0.03
	29 ölçüm	57.92	1.88	0.09	0.18	0.00	0.03	0.02
	30. ölçüm	57.18	1.82	0.10	0.25	0.00	0.05	0.02
	31. ölçüm	59.03	1.90	0.09	0.28	0.00	0.05	0.02
14. gün	32. ölçüm	58.04	1.85	0.07	0.16	0.00	0.03	0.02
	33. ölçüm	59.42	1.65	0.05	0.18	0.00	0.02	0.01
	34. ölçüm	57.92	2.09	0.07	0.24	0.00	0.03	0.01
	35. ölçüm	58.40	1.82	0.07	0.25	0.00	0.03	0.01
	36. ölçüm	57.72	1.71	0.04	0.15	0.00	0.02	0.00
	37. ölçüm	58.25	1.95	0.07	0.23	0.00	0.03	0.01
	38. ölçüm	57.60	1.75	0.05	0.16	0.00	0.03	0.00
	39. ölçüm	58.62	1.24	0.06	0.17	0.00	0.04	0.01
15. gün	40. ölçüm	58.13	1.70	0.07	0.20	0.00	0.04	0.00
	41. ölçüm	58.40	1.75	0.07	0.20	0.00	0.03	0.00
	42. ölçüm	57.95	2.01	0.08	0.22	0.00	0.03	0.01
	43. ölçüm	59.90	2.10	0.06	0.31	0.00	0.04	0.01
	44. ölçüm	58.62	1.80	0.07	0.20	0.00	0.03	0.00
	45. ölçüm	58.20	2.03	0.05	0.26	0.00	0.04	0.00
	46. ölçüm	58.26	1.93	0.09	0.24	0.00	0.04	0.01
	47. ölçüm	57.12	1.80	0.11	0.22	0.00	0.05	0.01
	48. ölçüm	58.43	1.70	0.09	0.14	0.00	0.03	0.00
16. gün	49. ölçüm	58.83	1.80	0.08	0.18	0.00	0.04	0.01
	50. ölçüm	61.22	2.55	0.07	0.36	0.01	0.04	0.01

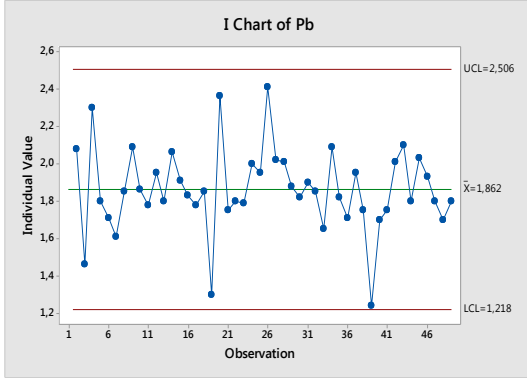
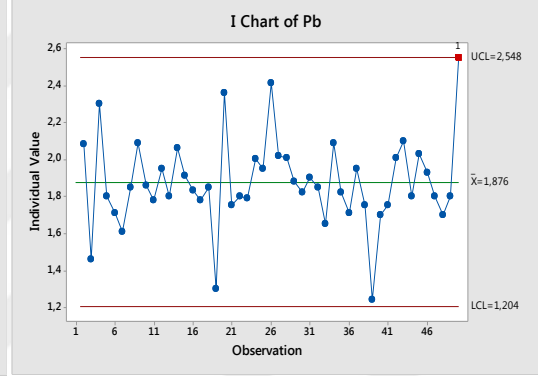
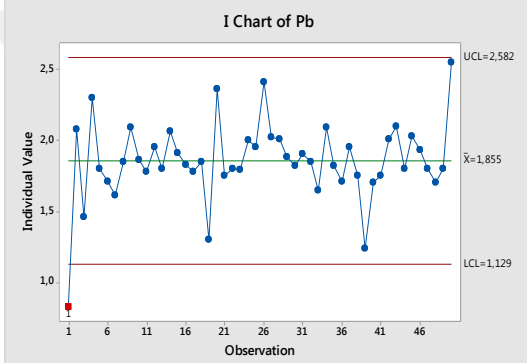
Ek-7: *I* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması

Cu Elementi



Süreç kontrol altında

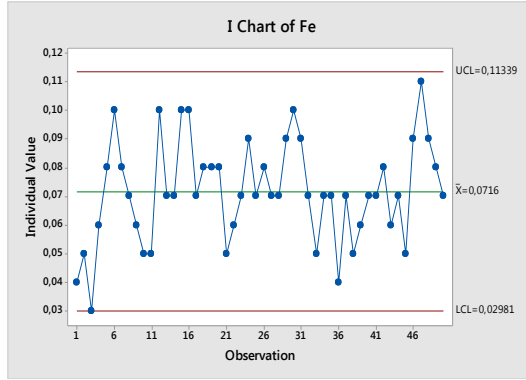
Pb Elementi



Süreç kontrol altında

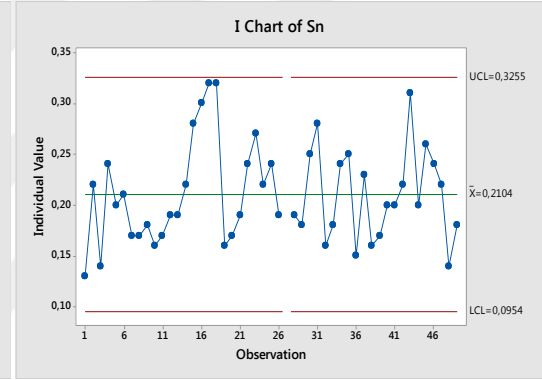
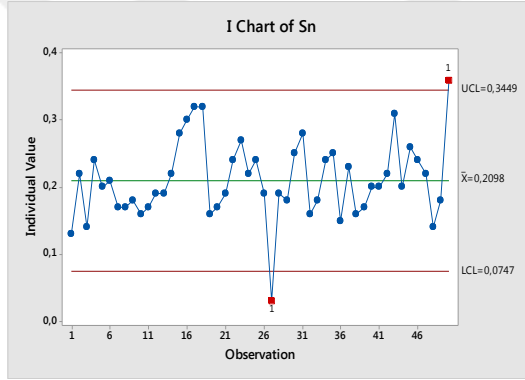
Ek-7: I Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

Fe Elementi



Süreç kontrol altında

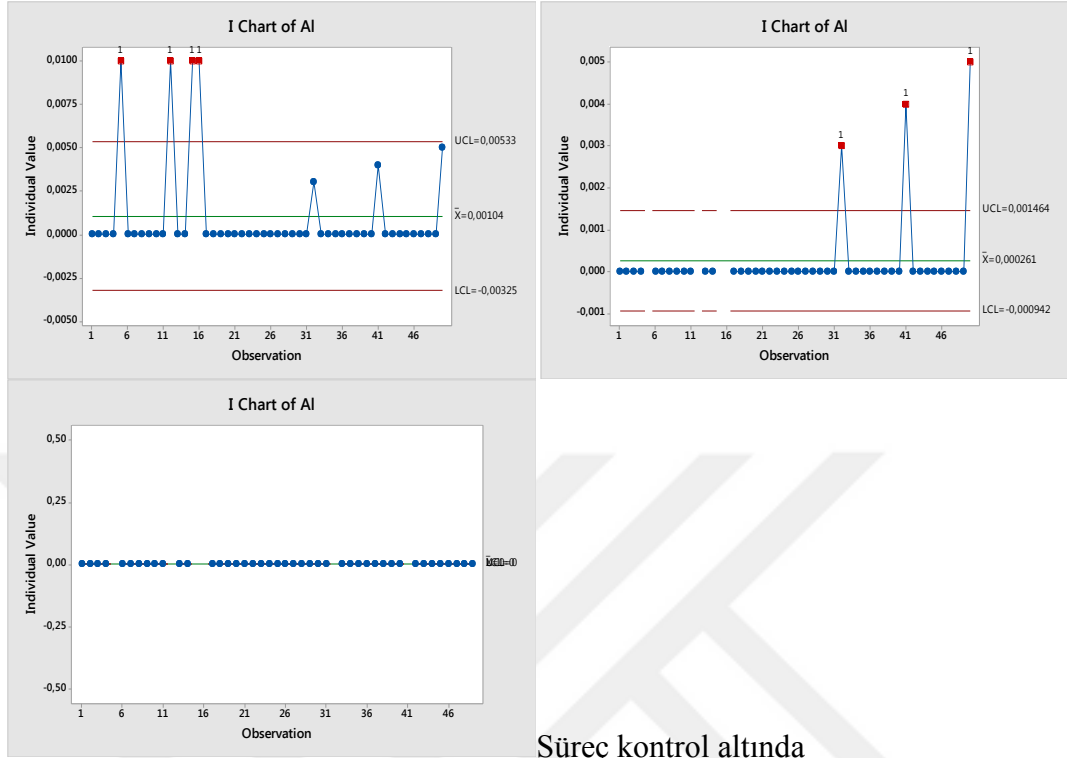
Sn Elementi



Süreç kontrol altında

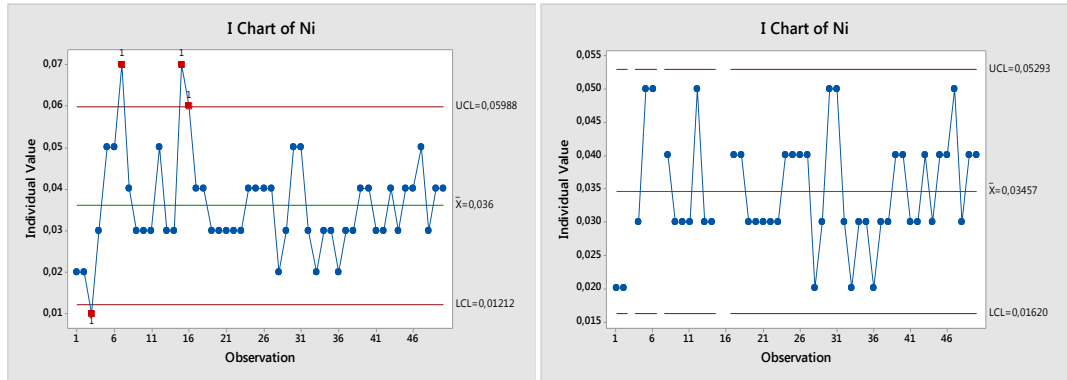
Ek-7: I Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

Al Elementi



Süreç kontrol altında

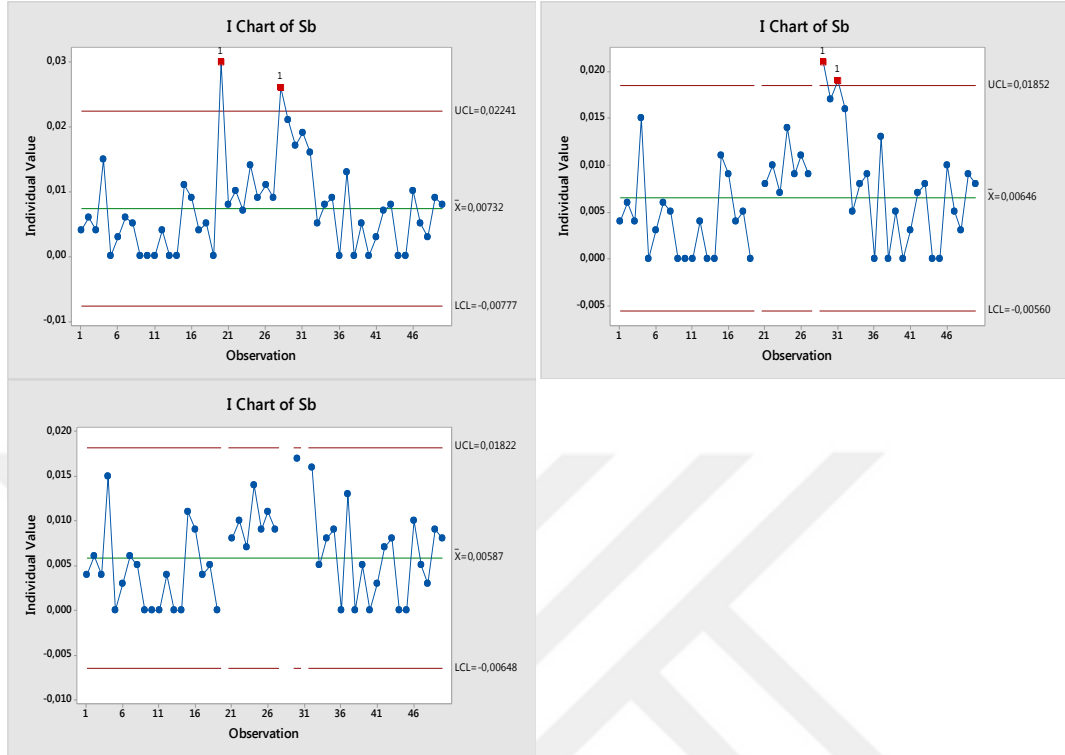
Ni Elementi



Süreç kontrol altında

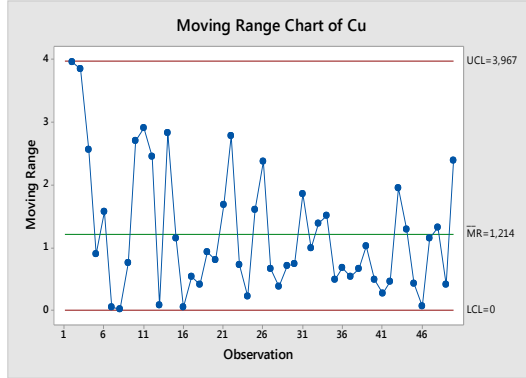
Ek-7: I Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

Sb Elementi

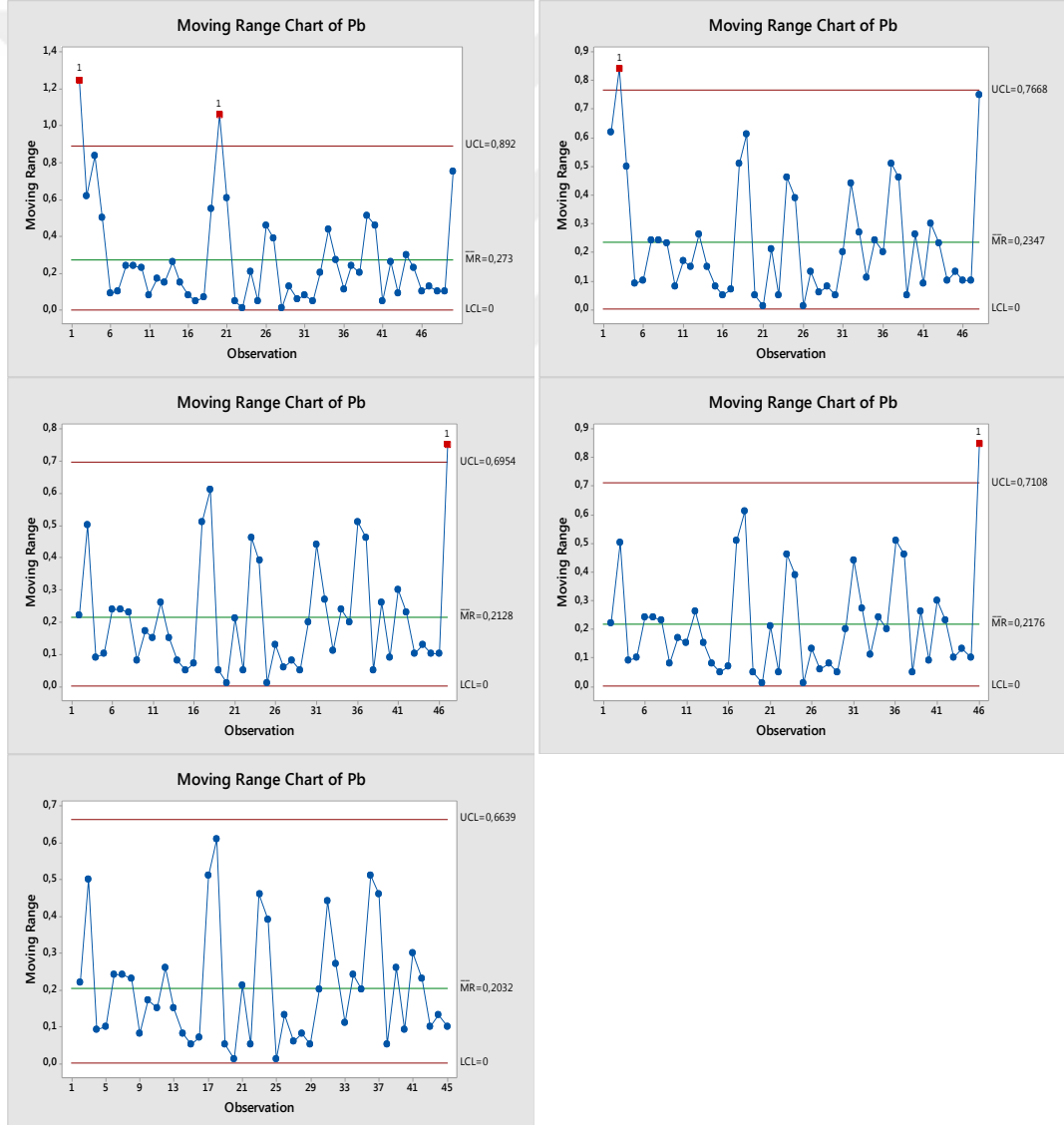


Süreç kontrol altında

Ek-8:MR Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Cu Elementi



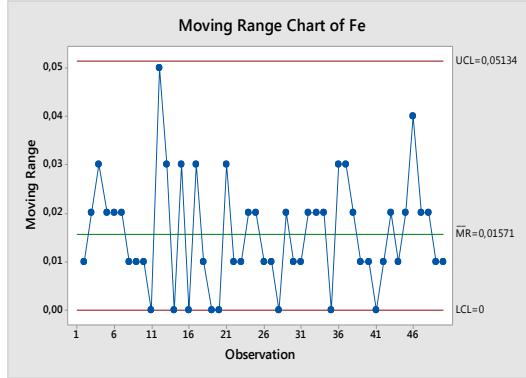
Süreç kontrol altında Pb Elementi



Süreç kontrol altında

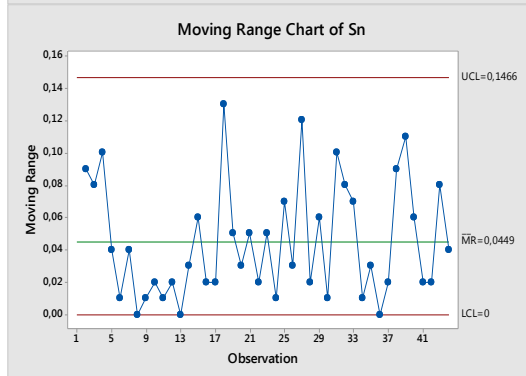
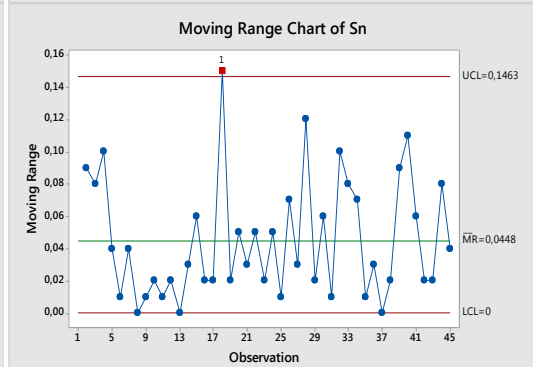
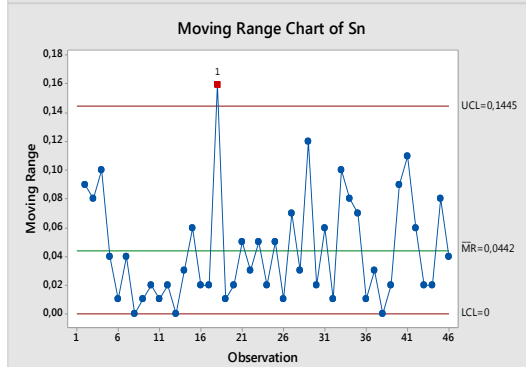
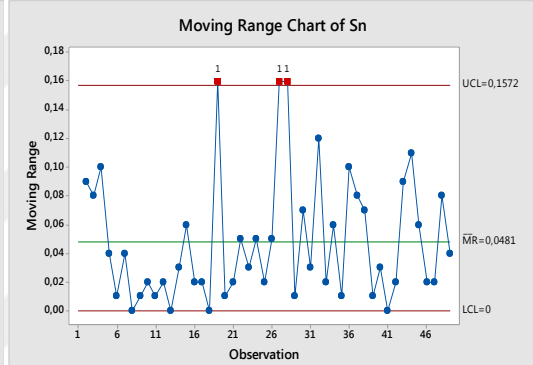
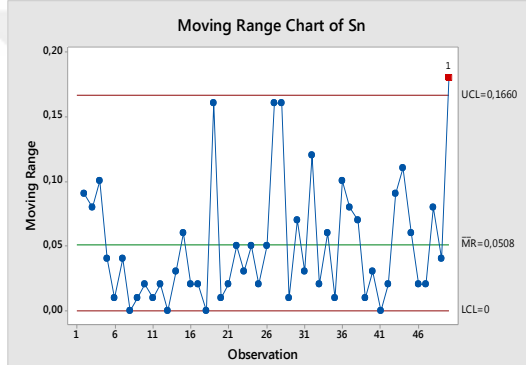
Ek-8:MR Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

Fe Elementi



Süreç kontrol altında

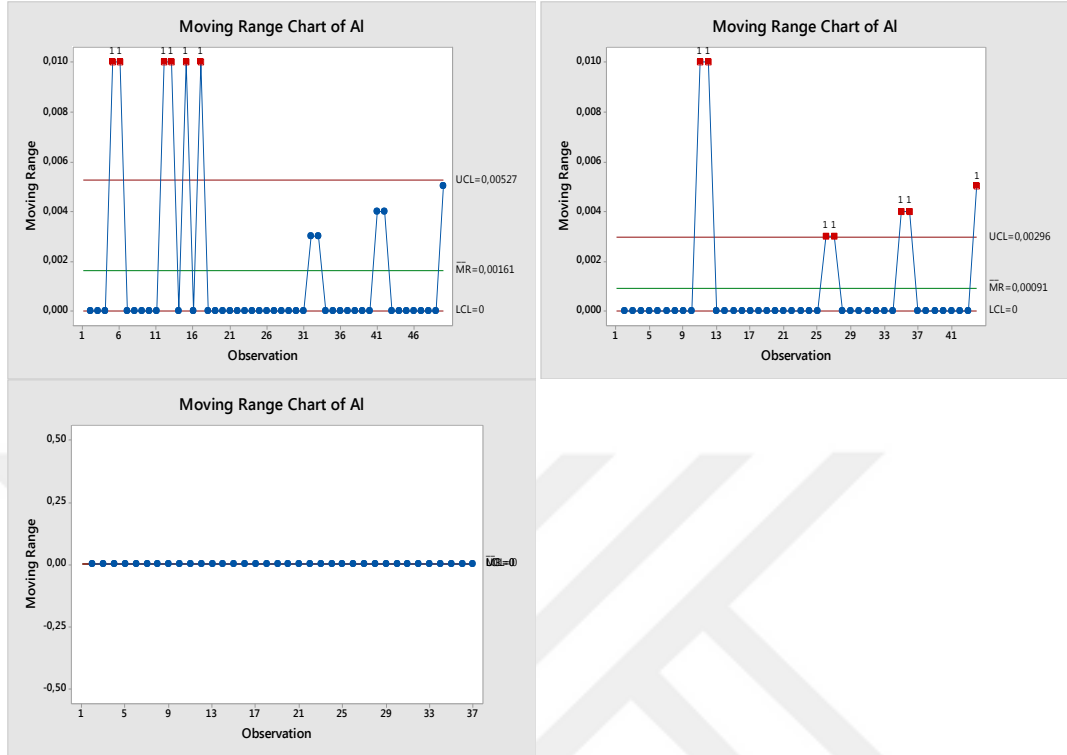
Sn Elementi



Süreç kontrol altında

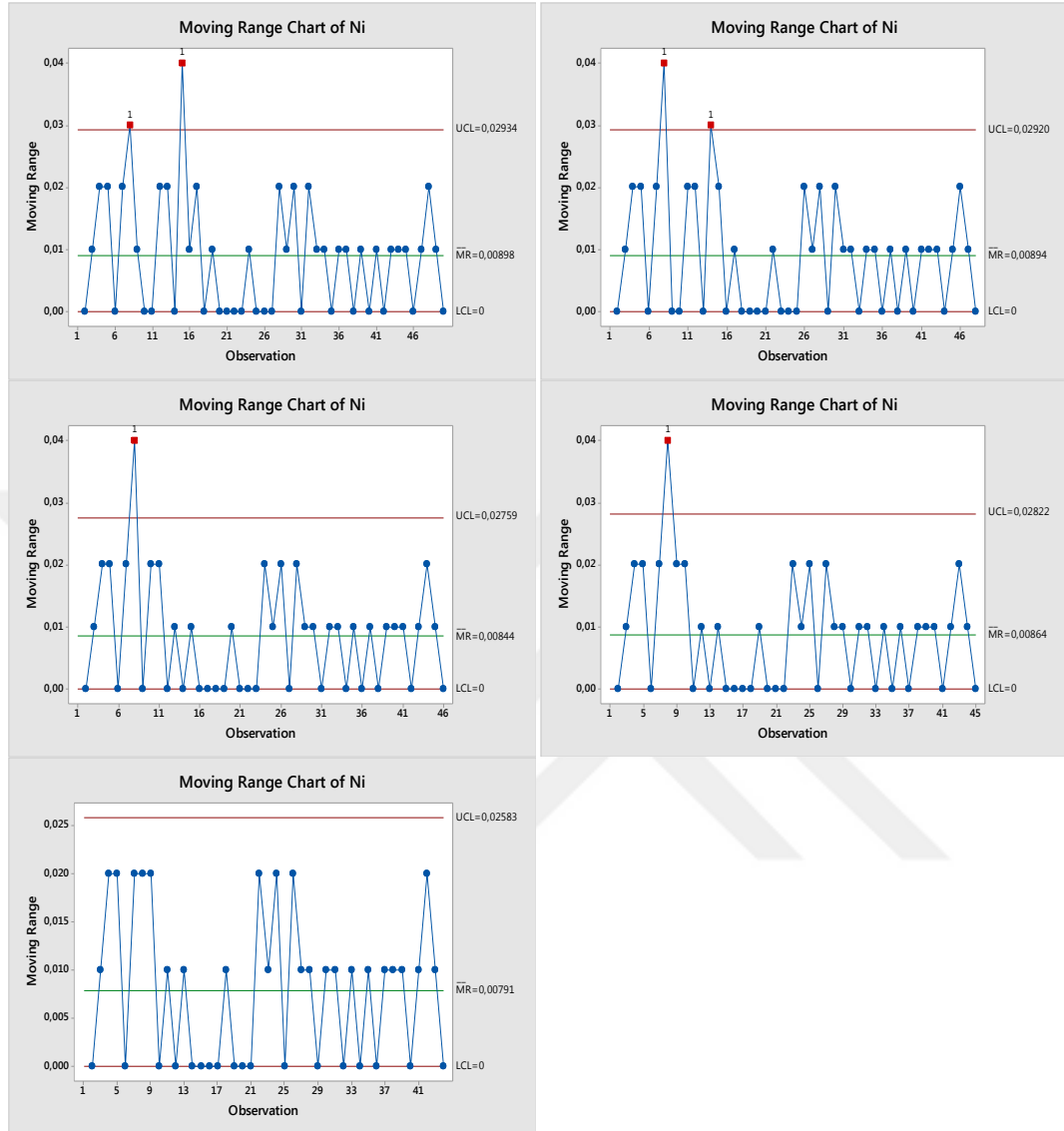
Ek-8:MR Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

AI Elementi



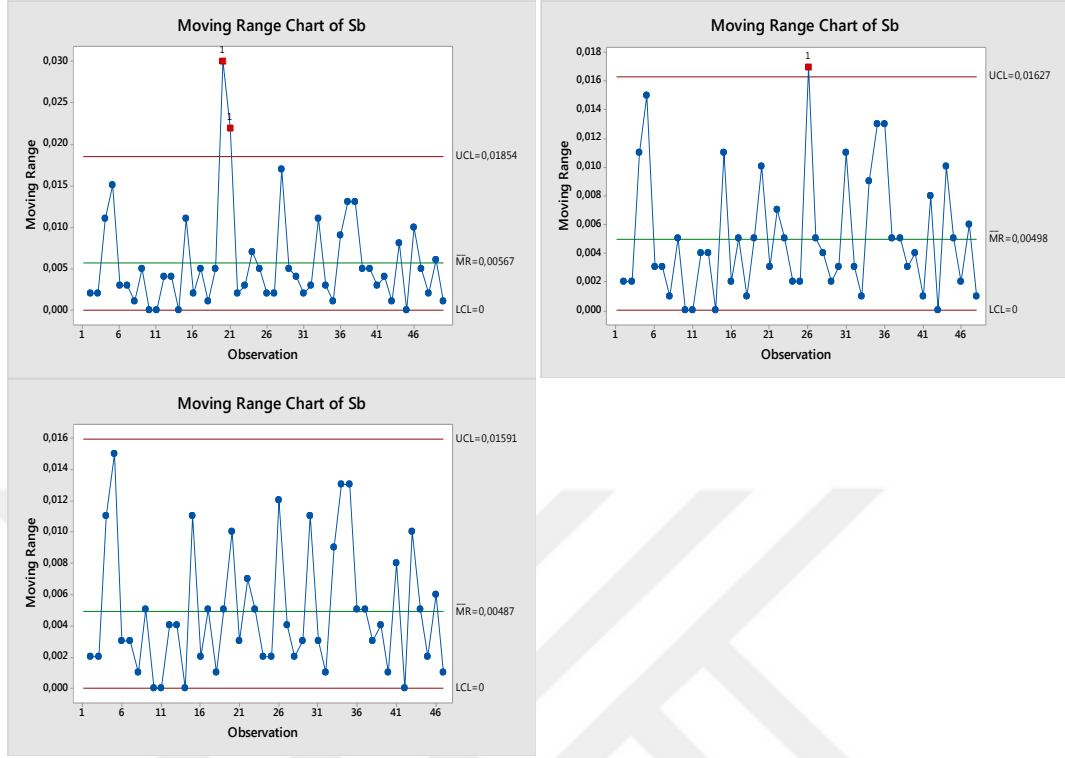
Süreç kontrol altında

Ek-8:MR Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)
Ni Elementi



Süreç kontrol altında

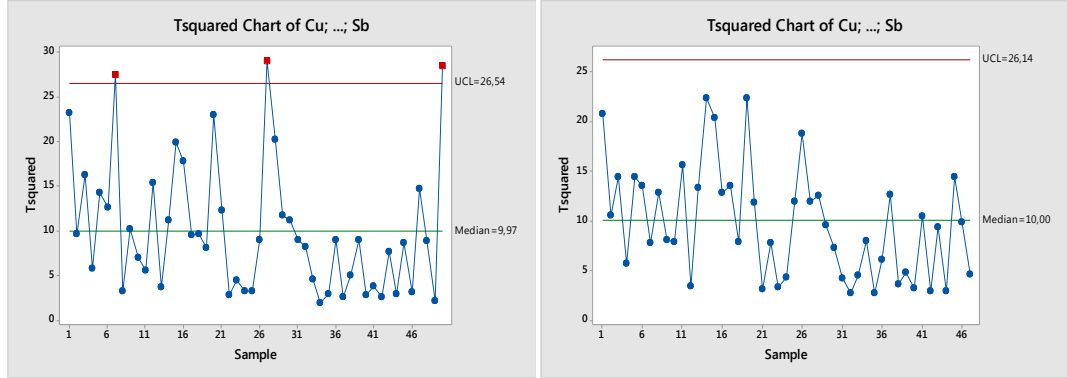
Ek-8:MR Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)
Sb Elementi



Süreç kontrol altında

Ek-9: Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması

Cu, Pb, Fe, Sn, Al, Ni, Sb Elementleri



Süreç kontrol altında



Ek-10:I, MR, EWMA ve Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri Faz I ve II Aşamaları STTG Kalite Vektörleri

	Cu%	Pb%	Fe%	Sn%	Al%	Ni%	Sb%
1.	2.92	-2.17	-0.21	-0.07	-0.05	-0.23	-0.006
2.	-1.04	-0.92	-0.2	0.02	-0.05	-0.23	-0.004
3.	2.81	-1.54	-0.22	-0.06	-0.05	-0.24	-0.006
4.	0.25	-0.7	-0.19	0.04	-0.05	-0.22	0.005
5.	-0.64	-1.2	-0.17	0	-0.04	-0.2	-0.01
6.	0.92	-1.29	-0.15	0.01	-0.05	-0.2	-0.007
7.	0.97	-1.39	-0.17	-0.03	-0.05	-0.18	-0.004
8.	0.95	-1.15	-0.18	-0.03	-0.05	-0.21	-0.005
9.	1.7	-0.91	-0.19	-0.02	-0.05	-0.22	-0.01
10.	-1	-1.14	-0.2	-0.04	-0.05	-0.22	-0.01
11.	1.9	-1.22	-0.2	-0.03	-0.05	-0.22	-0.01
12.	-0.55	-1.05	-0.15	-0.01	-0.04	-0.2	-0.006
13.	-0.63	-1.2	-0.18	-0.01	-0.05	-0.22	-0.01
14.	2.2	-0.94	-0.18	0.02	-0.05	-0.22	-0.01
15.	1.05	-1.09	-0.15	0.08	-0.04	-0.18	0.001
16.	1	-1.17	-0.15	0.1	-0.04	-0.19	-0.001
17.	0.47	-1.22	-0.18	0.12	-0.05	-0.21	-0.006
18.	0.07	-1.15	-0.17	0.12	-0.05	-0.21	-0.005
19.	1	-1.7	-0.17	-0.04	-0.05	-0.22	-0.01
20.	0.2	-0.64	-0.17	-0.03	-0.05	-0.22	0.02
21.	-1.47	-1.25	-0.2	-0.01	-0.05	-0.22	-0.002
22.	1.3	-1.2	-0.19	0.04	-0.05	-0.22	0
23.	0.58	-1.21	-0.18	0.07	-0.05	-0.22	-0.003
24.	0.37	-1	-0.16	0.02	-0.05	-0.21	0.004
25.	1.97	-1.05	-0.18	0.04	-0.05	-0.21	-0.001
26.	-0.4	-0.59	-0.17	-0.01	-0.05	-0.21	0.001
27.	0.25	-0.98	-0.18	-0.17	-0.05	-0.21	-0.001
28.	0.62	-0.99	-0.18	-0.01	-0.05	-0.23	0.016
29.	-0.08	-1.12	-0.16	-0.02	-0.05	-0.22	0.011
30.	-0.82	-1.18	-0.15	0.05	-0.05	-0.2	0.007
31.	1.03	-1.1	-0.16	0.08	-0.05	-0.2	0.009
32.	0.04	-1.15	-0.18	-0.04	-0.047	-0.22	0.006
33.	1.42	-1.35	-0.2	-0.02	-0.05	-0.23	-0.005
34.	-0.08	-0.91	-0.18	0.04	-0.05	-0.22	-0.002
35.	0.4	-1.18	-0.18	0.05	-0.05	-0.22	-0.001
36.	-0.28	-1.29	-0.21	-0.05	-0.05	-0.23	-0.01
37.	0.25	-1.05	-0.18	0.03	-0.05	-0.22	0.003
38.	-0.4	-1.25	-0.2	-0.04	-0.05	-0.22	-0.01
39.	0.62	-1.76	-0.19	-0.03	-0.05	-0.21	-0.005
40.	0.13	-1.3	-0.18	0	-0.05	-0.21	-0.01
41.	0.4	-1.25	-0.18	0	-0.046	-0.22	-0.007
42.	-0.05	-0.99	-0.17	0.02	-0.05	-0.22	-0.003
43.	1.9	-0.9	-0.19	0.11	-0.05	-0.21	-0.002
44.	0.62	-1.2	-0.18	0	-0.05	-0.22	-0.01
45.	0.2	-0.97	-0.2	0.06	-0.05	-0.21	-0.01
46.	0.26	-1.07	-0.16	0.04	-0.05	-0.21	0
47.	-0.88	-1.2	-0.14	0.02	-0.05	-0.2	-0.005
48.	0.43	-1.3	-0.16	-0.06	-0.05	-0.22	-0.007
49.	0.83	-1.2	-0.17	-0.02	-0.05	-0.21	-0.001
50.	3.22	-0.45	-0.18	0.16	-0.045	-0.21	-0.002
51.	1	-0.86	-0.17	0.1	-0.05	-0.21	-0.003
52.	0.7	-1.18	-0.18	-0.04	-0.05	-0.22	-0.01
53.	0.15	-1.07	-0.17	0.01	-0.05	-0.21	-0.001
54.	-0.92	-1.03	-0.16	0.09	-0.05	-0.2	0.005
55.	1.9	-1.04	-0.16	0.06	-0.05	-0.2	0.005
56.	2.8	-0.9	-0.16	0.08	-0.047	-0.21	0.014
57.	0.08	-0.85	-0.17	0.07	-0.05	-0.21	0.004
58.	1.55	-1.16	-0.18	0.01	-0.05	-0.22	-0.003
59.	1.4	-1.03	-0.17	0	-0.05	-0.21	0.002
60.	1.8	-1.1	-0.17	0.05	-0.05	-0.21	0.001
61.	3.45	-1	-0.19	0.1	-0.05	-0.19	-0.003

62.	2.05	-0.85	-0.14	0.05	-0.05	-0.17	0.006
63.	-1.57	-0.95	-0.15	0.05	-0.05	-0.18	0.004
64.	0.36	-1.49	-0.16	0.02	-0.05	-0.2	0.013
65.	-0.6	-1.08	-0.15	0.04	-0.05	-0.18	0.004
66.	0.45	-1.26	-0.15	0.03	-0.05	-0.2	0.001
67.	4.1	-1.13	-0.2	-0.05	-0.05	-0.23	-0.007
68.	0.17	-1.22	-0.17	-0.03	-0.048	-0.2	0
69.	0.53	-1.18	-0.14	0.07	-0.05	-0.21	0.003
70.	0.26	-0.87	-0.15	0.12	-0.05	-0.2	0.006
71.	-0.17	-1.12	-0.17	0.01	-0.05	-0.2	0
72.	0.62	-1.07	-0.18	-0.03	-0.05	-0.21	0
73.	1.02	-0.98	-0.17	0.05	-0.05	-0.21	0.005
74.	0.64	-1.22	-0.19	0.05	-0.05	-0.2	-0.003
75.	0.13	-0.91	-0.15	0.09	-0.05	-0.19	0.003
76.	-0.6	-0.87	-0.14	0.08	-0.05	-0.2	0.003
77.	1.2	-1.65	-0.12	0.09	-0.05	-0.18	0.007
78.	1	-0.8	-0.15	-0.05	-0.04	-0.19	0.015
79.	1.9	-1.1	-0.15	-0.03	-0.05	-0.2	0.012
80.	0.47	-1.1	-0.15	0.08	-0.05	-0.2	0.01
81.	2.51	-1.57	-0.15	0.02	-0.05	-0.21	0.01
82.	-0.55	-0.92	-0.13	0.11	-0.05	-0.18	0.01
83.	2.45	-1	-0.13	0.09	-0.05	-0.19	0.005
84.	2.23	-1.18	-0.15	0.02	-0.05	-0.2	0.002
85.	1.65	-0.59	-0.16	0.02	-0.05	-0.2	0.014
86.	0.63	-0.77	-0.14	0.04	-0.05	-0.19	0.015
87.	-0.15	-0.91	-0.1	0.1	-0.05	-0.18	0.007
88.	4.05	-0.78	-0.12	0.16	-0.05	-0.19	0.017
89.	-0.2	-0.8	-0.14	0.09	-0.05	-0.19	0.015
90.	0.5	-1.05	-0.15	0.07	-0.05	-0.2	0.009
91.	0.13	-0.99	-0.12	0.04	-0.04	-0.17	0.014
92.	-0.3	-1.28	-0.15	0	-0.05	-0.2	0.006
93.	0.37	-0.53	-0.16	-0.03	-0.05	-0.21	0.015
94.	4.18	-0.4	-0.21	-0.12	-0.05	-0.23	-0.002
95.	2.4	-0.71	-0.16	-0.02	-0.05	-0.19	0.013
96.	0.13	-0.5	-0.13	0.07	-0.05	-0.18	0.024
97.	-0.35	-0.68	-0.13	0.07	-0.05	-0.19	0.013
98.	3.8	-0.7	0	-0.17	-0.05	-0.19	0.014
99.	1.05	-0.86	-0.09	0.07	-0.05	-0.17	0.009
100.	0.38	-1.2	-0.07	0.03	-0.05	-0.19	0.01
101.	-0.47	-0.9	-0.14	0	-0.05	-0.18	0.014
102.	-2.45	-1.37	-0.11	-0.06	-0.04	-0.18	0.014
103.	-0.23	-0.89	-0.14	0.01	-0.05	-0.19	0.01
104.	2.66	-1.3	-0.13	-0.02	-0.05	-0.21	0.003
105.	0.95	-0.67	-0.18	-0.04	-0.05	-0.22	0.03
106.	0.22	-0.75	-0.09	-0.03	-0.05	-0.19	0.027
107.	0.54	-0.75	-0.12	0.01	-0.05	-0.19	0.013
108.	-0.38	-0.75	-0.12	0.07	-0.05	-0.19	0.008
109.	0.7	-1	-0.13	0.02	-0.05	-0.21	0.001
110.	-0.2	-0.68	-0.07	0.07	-0.05	-0.14	0.012
111.	0.97	-1.33	-0.15	0.02	-0.05	-0.21	-0.004
112.	-0.64	-1.2	-0.15	0.02	-0.05	-0.2	0.001
113.	1.1	-1	-0.15	0.01	-0.05	-0.2	0.007
114.	-0.04	-0.89	-0.14	0	-0.05	-0.19	0.006
115.	0.1	-0.95	-0.14	0	-0.05	-0.19	0.006
116.	-0.75	-0.81	-0.12	0	-0.04	-0.17	0.007
117.	2.58	-1.04	-0.13	0.01	-0.05	-0.19	0
118.	0.3	-1.81	-0.14	-0.01	-0.05	-0.19	0.002
119.	0.62	-0.95	-0.17	-0.03	-0.048	-0.19	-0.002
120.	1.06	-0.95	-0.16	0.01	-0.05	-0.21	0
121.	0.85	-0.7	-0.15	0.14	-0.05	-0.19	-0.001
122.	0.35	-0.8	-0.15	0.05	-0.05	-0.18	-0.001
123.	-0.07	-0.7	-0.07	0.01	-0.05	-0.18	0.008
124.	-0.11	-0.9	-0.12	0.03	-0.05	-0.18	0.005
125.	-0.08	-0.8	-0.1	0.06	-0.05	-0.17	0.005
126.	-0.48	-0.86	-0.11	0.03	-0.05	-0.18	0.004

127.	0.32	-0.88	-0.13	0.04	-0.05	-0.19	0.01
128.	0.75	-1.6	-0.15	0.01	-0.05	-0.18	0.006
129.	0.01	-1.7	-0.2	-0.09	-0.05	-0.22	0.001
130.	2.03	-0.65	-0.13	0.04	-0.05	-0.16	0.03
131.	-0.46	-0.7	-0.12	0.07	-0.05	-0.19	0.012
132.	0.14	-0.84	-0.15	0.05	-0.05	-0.18	0.011
133.	2.66	-1.15	-0.14	-0.03	-0.05	-0.19	0.002
134.	1.53	-1.36	-0.16	-0.08	-0.05	-0.21	0.004
135.	0.4	-0.5	-0.19	0.01	-0.05	-0.2	0
136.	0.5	-1.6	-0.18	-0.08	-0.05	-0.22	0.001
137.	-1.96	-1.5	-0.16	-0.02	-0.05	-0.2	0.022
138.	0.63	-1.18	-0.14	0.05	-0.05	-0.2	0.01
139.	-0.68	-1.22	-0.12	0.02	-0.05	-0.19	0.015
140.	3.02	-1.14	-0.15	0.05	-0.05	-0.19	0.011
141.	1.5	-0.8	-0.13	0.05	-0.05	-0.18	0.023
142.	-0.19	-0.87	-0.15	0.07	-0.05	-0.19	0.011
143.	-0.16	-0.83	-0.14	0.06	-0.05	-0.2	0.01
144.	0.48	-1	-0.14	-0.03	-0.03	-0.19	0.012
145.	-0.79	-0.89	-0.15	0.01	-0.05	-0.2	0.004
146.	1.85	-1.08	-0.15	0	-0.03	-0.18	0.012
147.	0.67	-1.03	-0.15	0.03	-0.05	-0.19	0.009
148.	1.25	-0.95	-0.15	0.05	-0.05	-0.19	0.016
149.	-0.06	-0.82	-0.15	0.03	-0.05	-0.2	0.016
150.	-0.97	-1.29	-0.17	-0.02	-0.05	-0.2	0.007
151.	-0.09	-0.72	-0.15	0.07	-0.04	-0.18	0.006
152.	1.03	-1.03	-0.16	0.02	-0.04	-0.18	0.011
153.	-0.34	-0.95	-0.15	0	-0.05	-0.2	0.01
154.	0.7	-0.96	-0.15	0.03	-0.05	-0.2	0.013
155.	-0.16	-1.14	-0.17	0.04	-0.05	-0.2	0.004
156.	0.03	-1.22	-0.15	0.05	-0.05	-0.19	0.009
157.	3.72	-0.9	-0.14	0.1	-0.05	-0.18	0.007
158.	2.24	-1.1	-0.14	0.09	-0.04	-0.18	0.003
159.	2.25	-1.14	-0.13	0.03	-0.05	-0.17	0.001
160.	1.06	-0.88	-0.12	0.04	-0.05	-0.18	0.01
161.	-0.05	-1.08	-0.14	0.16	-0.05	-0.2	0.007
162.	0.76	-0.98	-0.15	0.11	-0.05	-0.19	0.008
163.	0	-0.42	-0.1	0.13	-0.05	-0.14	0.023
164.	0.24	-0.75	-0.13	0.1	-0.05	-0.17	0.013
165.	0.61	-1.3	-0.16	0.1	-0.05	-0.2	0.008
166.	-0.4	-1.25	-0.15	0.11	-0.05	-0.2	0.007
167.	0	-1.03	-0.2	0.11	-0.05	-0.23	0.008
168.	1.62	-1.28	-0.18	0.05	-0.05	-0.23	-0.002
169.	0.8	-1.41	-0.16	-0.02	-0.05	-0.19	0
170.	3.2	-1.35	-0.12	0.05	-0.05	-0.16	0.003
171.	0.98	-1.57	-0.15	0.04	-0.05	-0.19	-0.001
172.	0.1	-0.5	-0.16	-0.01	-0.05	-0.21	-0.001
173.	0.88	-1.2	-0.15	-0.02	-0.05	-0.18	0.001
174.	1.32	-0.9	-0.14	0.11	-0.05	-0.17	0.005
175.	0.95	-1.92	-0.12	0.06	-0.05	-0.16	0.002
176.	-2.95	-0.05	-0.15	0.03	-0.05	-0.2	0.007
177.	1.19	-0.8	-0.16	0.02	-0.05	-0.2	-0.01
178.	2	-0.8	-0.15	0.02	-0.05	-0.19	0.013
179.	2.08	-0.95	-0.13	0.01	-0.04	-0.18	0.012
180.	-0.06	-0.93	-0.13	0.08	-0.05	-0.18	0.007
181.	-0.1	-1.1	-0.15	0.05	-0.05	-0.21	0.001
182.	0.1	-0.82	-0.13	0.08	-0.05	-0.18	0.009
183.	-0.22	-1	-0.12	0.09	-0.05	-0.2	0.011
184.	0.67	-1.51	-0.14	0.06	-0.05	-0.19	0.006
185.	0.73	-0.87	-0.09	0.04	-0.05	-0.16	0.012
186.	0.47	-0.89	-0.12	0.1	-0.05	-0.18	0.008
187.	3.1	-1.45	-0.07	0.1	-0.05	-0.15	0.003
188.	2.75	-1.4	-0.15	0.09	-0.04	-0.2	0.003
189.	0.6	-1.09	-0.06	0.12	-0.05	-0.19	0.011
190.	1.15	-1.05	-0.1	0.06	-0.03	-0.17	0.001
191.	0.12	-1.57	-0.15	0.05	-0.05	-0.2	0.001

192.	-0.08	-1.1	-0.14	0.08	-0.05	-0.19	0.006
193.	3.08	-2.4	-0.192	0.06	-0.05	-0.23	-0.006
194.	-1.97	-1.34	-0.17	-0.05	-0.05	-0.22	-0.003
195.	-0.53	-1.1	-0.14	0.04	-0.05	-0.2	0.004
196.	0.24	-1.03	-0.12	0.09	0	-0.19	0.007
197.	0.9	-1.4	-0.15	0.34	-0.05	-0.19	0.019
198.	0.76	-1.06	-0.14	0.07	-0.05	-0.16	0.018
199.	0.89	-0.97	-0.13	0.14	-0.05	-0.18	0.017
200.	0.07	-1.08	-0.16	0.02	-0.05	-0.17	0.005
201.	-0.12	-0.56	-0.15	0.09	-0.05	-0.2	0.006
202.	-0.13	-0.81	-0.14	0.11	-0.05	-0.2	0.005
203.	1.41	-1.4	-0.15	0.06	-0.05	-0.18	0.007
204.	-0.4	-0.91	-0.14	0.06	-0.05	-0.19	-0.01
205.	0.17	-1.02	-0.12	0.14	-0.05	-0.24	0.003
206.	0.3	-1.18	-0.15	0.04	-0.04	-0.19	0.005
207.	0.4	-1.43	-0.14	0.01	-0.04	-0.19	0.002
208.	1.6	-1	-0.02	0.03	-0.04	-0.19	0.005
209.	-0.99	-1.4	-0.14	0.01	-0.05	-0.21	0.001
210.	0.25	-0.75	-0.09	0.15	-0.04	-0.13	0.015
211.	1.4	-0.6	-0.11	0.18	-0.05	-0.16	0.025
212.	2.28	-0.92	-0.12	0.08	-0.05	-0.18	0.004
213.	-0.91	-0.7	-0.11	0.02	-0.01	-0.19	0.005
214.	-0.55	-1.25	-0.15	-0.03	-0.04	-0.21	0.003
215.	0.5	-1.18	-0.13	0.06	-0.05	-0.19	-0.001
216.	0.94	-1.22	-0.07	0.09	-0.05	-0.2	-0.005
217.	0.08	-1.35	-0.14	0.01	-0.05	-0.21	0.005
218.	0.72	-0.75	-0.09	0.13	-0.05	-0.18	0.005
219.	0	-0.75	-0.13	0.08	-0.05	-0.19	0.007
220.	0.4	-0.9	-0.12	0.12	-0.05	-0.18	0.01
221.	0.67	-1.27	-0.14	0.09	-0.05	-0.18	0.005
222.	-3.94	-1.5	-0.11	0.09	-0.05	-0.19	0.006
223.	-0.56	-1.7	-0.19	-0.06	-0.05	-0.22	0
224.	-0.47	-0.63	-0.13	0.12	-0.05	-0.19	0.011
225.	-0.17	-0.67	-0.14	0.14	-0.05	-0.19	0.006
226.	1.26	-1.04	-0.1	0.06	-0.05	-0.2	0.002
227.	0.3	-1.3	-0.13	-0.01	-0.05	-0.21	0.003
228.	1.44	-0.86	-0.11	-0.04	-0.04	-0.2	0
229.	1.2	-1.2	-0.15	-0.01	-0.05	-0.21	0.003
230.	-0.59	-1.64	-0.13	-0.04	-0.05	-0.21	-0.005
231.	0.27	-1.26	-0.12	0.03	-0.05	-0.2	0.012
232.	-3.34	-1.36	-0.06	-0.02	-0.05	-0.21	0.001
233.	2.28	-1.03	-0.09	0	-0.05	-0.2	-0.001
234.	0.1	-0.98	-0.11	0.08	-0.05	-0.2	-0.01
235.	0.1	-1.48	-0.13	0.02	-0.05	-0.2	-0.01
236.	0.08	-1.15	-0.12	0.02	-0.05	-0.2	0
237.	0.18	-1.65	-0.13	0.02	-0.05	-0.21	0.004
238.	1.7	-0.89	-0.01	0.04	-0.05	-0.19	-0.005
239.	0.37	-1.04	-0.07	-0.01	-0.05	-0.2	-0.002
240.	0.1	-1.35	0.02	-0.01	-0.05	-0.2	-0.01
241.	-0.07	-1.02	-0.07	0	-0.05	-0.2	0.001
242.	0.41	-0.99	-0.11	0.01	-0.05	-0.2	0.004
243.	0.16	-1.36	-0.12	0.02	-0.05	-0.17	0.004
244.	5.08	-1.27	-0.13	0.04	-0.05	-0.2	0.012
245.	1.6	-1.35	-0.12	0.01	-0.05	-0.21	-0.01
246.	0.85	-1.45	-0.11	0.04	-0.05	-0.2	0.013
247.	5.02	-1.25	-0.13	0.02	-0.05	-0.21	0.004
248.	-0.7	-1.57	-0.15	-0.09	-0.05	-0.22	0.001
249.	-1.87	-0.31	-0.15	0	-0.05	-0.21	0.007
250.	0.33	-1.06	-0.13	-0.01	-0.05	-0.21	-0.001
251.	0.49	-0.96	-0.11	0.01	-0.05	-0.2	0.005
252.	0.76	-1.25	-0.12	0.02	-0.05	-0.2	0.002
253.	0.03	-1.01	-0.11	0.04	-0.05	-0.19	0.009
254.	-0.86	-1.86	-0.13	0.04	-0.05	-0.2	0.005
255.	-1.39	-1.22	-0.14	0.04	-0.05	-0.2	-0.008
256.	2	-0.99	-0.15	-0.06	-0.05	-0.22	-0.004

257.	-1.1	-0.88	-0.09	0.03	-0.05	-0.21	0.007
258.	-0.1	-0.88	-0.1	0.04	-0.05	-0.2	0.003
259.	1.78	-0.96	-0.06	0.07	0.02	-0.17	0.001
260.	1.46	-1.11	-0.09	0.07	-0.04	-0.15	0.011
261.	0.67	-2.15	-0.14	-0.02	-0.05	-0.2	0
262.	-0.65	-0.7	-0.11	0.04	-0.05	-0.2	0
263.	-0.39	-1.04	-0.15	0	-0.05	-0.2	-0.01
264.	3.11	-0.77	-0.07	0.07	-0.05	-0.18	-0.007
265.	1.05	-1.04	-0.12	0.06	-0.05	-0.2	0
266.	1.16	-1.25	-0.1	0.04	-0.05	-0.18	0
267.	-3.14	-1.03	-0.15	-0.01	-0.05	-0.22	-0.001
268.	1.35	-1.94	-0.08	-0.01	-0.04	-0.21	-0.01
269.	1.1	-1	-0.08	0.01	-0.04	-0.2	0.002
270.	1.29	-1.27	-0.08	-0.04	-0.05	-0.22	-0.003
271.	1.7	-1.28	-0.12	0.1	-0.04	-0.19	0.007
272.	2.03	-1.17	-0.05	0.1	-0.05	-0.19	0.006
273.	-0.3	-1.32	-0.11	-0.02	-0.05	-0.21	-0.01
274.	0.87	-1	-0.03	0.02	-0.05	-0.21	0.007
275.	2.18	-0.95	-0.05	0.06	-0.05	-0.19	0.008
276.	-0.2	-0.86	-0.11	0	-0.05	-0.19	-0.003
277.	1.06	-0.8	-0.1	0	-0.05	-0.18	-0.01
278.	1	-1.25	-0.13	-0.04	-0.05	-0.2	-0.01
279.	0.9	-0.89	-0.14	0	-0.05	-0.21	-0.005
280.	2.82	-1.68	-0.15	0.06	-0.05	-0.2	0.021
281.	3.92	-1.03	-0.09	0.1	-0.05	-0.16	0.02
282.	-0.86	-0.93	-0.1	0.12	-0.05	-0.18	0.01
283.	0.4	-1.15	-0.09	0.04	-0.05	-0.19	0.002
284.	1.31	-0.76	-0.15	0.07	-0.05	-0.21	0
285.	1.06	-1.07	-0.03	0.06	-0.05	-0.21	0.005
286.	3.02	-1.26	-0.13	0.04	-0.05	-0.19	0.009
287.	-0.1	-0.86	-0.06	0.07	-0.05	-0.19	0.001
288.	-1.07	-0.95	-0.12	0.06	-0.05	-0.19	0.004
289.	-0.94	-0.99	-0.11	0.03	-0.05	-0.19	0.004
290.	-0.29	-1.26	-0.12	0.04	-0.05	-0.19	0.01
291.	-0.79	-0.98	-0.12	0.07	-0.05	-0.2	0.009
292.	-0.68	-0.77	-0.11	0.07	-0.05	-0.2	0.007
293.	2.5	-1.22	-0.09	-0.02	-0.05	-0.2	0.001
294.	1.68	-0.86	-0.11	0.03	-0.05	-0.19	0.002
295.	1.38	-1.1	-0.11	0.03	-0.05	-0.2	0.002
296.	-0.97	-2.19	-0.17	-0.03	-0.05	-0.21	-0.003
297.	0.16	-0.59	-0.08	0.05	-0.001	-0.19	0.006
298.	1.2	-0.96	-0.1	0	-0.04	-0.2	-0.005
299.	0.04	-0.92	-0.14	0	-0.05	-0.21	0.004
300.	1.9	-0.87	-0.07	0.03	-0.05	-0.21	0.006
301.	-1.19	-0.9	-0.05	0.05	-0.05	-0.2	0.006
302.	2.34	-0.14	-0.08	0.02	-0.05	-0.2	-0.003
303.	0.13	-0.64	-0.1	0.06	-0.05	-0.2	0.004
304.	0.03	-1.62	-0.15	-0.03	-0.05	-0.22	0.001
305.	-0.67	-0.82	-0.15	0.03	-0.03	-0.21	0.001
306.	2.2	-1.02	-0.12	0.04	-0.05	-0.21	-0.01
307.	0.9	-1.49	-0.1	-0.01	-0.01	-0.2	-0.001
308.	-0.1	-0.87	-0.09	-0.02	-0.04	-0.2	-0.003
309.	1.35	-1.07	-0.08	0.05	-0.03	-0.19	-0.002
310.	0.2	-0.94	-0.1	0.07	-0.05	-0.2	-0.003
311.	1.26	-1.38	-0.11	0.02	-0.04	-0.2	0.004
312.	-0.4	-0.8	-0.13	0.01	-0.05	-0.2	0.006
313.	2.16	-0.67	-0.13	0.02	-0.05	-0.2	0.003
314.	-0.5	-0.88	-0.05	0.07	-0.05	-0.2	0.001
315.	-0.5	-1.08	-0.13	0.02	-0.05	-0.21	0.008
316.	0.45	-0.86	-0.1	0.05	-0.05	-0.2	0
317.	0.9	-1.27	-0.13	0	-0.04	-0.2	0.003
318.	-0.58	-0.86	-0.14	-0.02	-0.05	-0.21	0.002
319.	0.26	-1.52	-0.17	-0.08	-0.05	-0.22	-0.003
320.	-1.19	-0.73	-0.11	0.01	-0.05	-0.21	-0.003
321.	-0.11	-0.87	-0.1	0.05	-0.05	-0.2	0

322.	0.03	-0.92	-0.09	0.06	-0.05	-0.2	0.004
323.	1.58	-1.84	-0.06	0.1	-0.05	-0.21	0.011
324.	1.3	-1.18	-0.11	0.01	-0.05	-0.22	0.003
325.	0.5	-1.71	-0.13	0.04	-0.04	-0.2	0.018
326.	3.13	-0.95	-0.11	0.05	-0.05	-0.2	0.007
327.	-0.39	-1.2	-0.15	-0.03	-0.05	-0.21	0.003
328.	-0.25	-1.04	-0.13	0	-0.05	-0.21	0.01
329.	1.07	-1.75	-0.19	-0.07	-0.05	-0.22	0.001
330.	0.06	-0.9	-0.14	0.02	-0.05	-0.21	-0.001
331.	1.12	-1.23	-0.09	0.01	-0.05	-0.21	0.003
332.	-2.62	-1.33	-0.14	-0.02	-0.04	-0.22	-0.003
333.	-0.1	-0.73	-0.13	0.01	-0.05	-0.21	0.006
334.	0.08	-0.87	-0.14	-0.02	-0.05	-0.21	0.003
335.	3.05	-0.9	-0.14	0.04	-0.05	-0.2	0.001
336.	-0.07	-0.97	-0.09	0.07	-0.05	-0.19	0.019
337.	-1.93	-1.76	-0.14	0.04	-0.04	-0.2	0.002
338.	-0.29	-1.06	-0.14	-0.01	-0.05	-0.21	0.003
339.	0.63	-0.8	-0.15	0.06	-0.05	-0.2	0.005
340.	0.4	-1.1	-0.14	0.04	-0.05	-0.21	0.005
341.	0.5	-0.86	-0.14	0.07	-0.05	-0.2	0.008
342.	-0.5	-1.32	-0.15	-0.06	-0.05	-0.22	0.008
343.	-0.56	-0.26	-0.14	0.06	-0.04	-0.19	0.011
344.	0.1	-0.75	-0.13	0.1	-0.05	-0.2	0.007
345.	-0.03	-1.4	-0.11	0.07	-0.05	-0.2	0.003
346.	-0.15	-0.9	-0.15	0.05	-0.05	-0.21	0.011
347.	-0.25	-1.26	-0.1	0.08	-0.02	-0.2	-0.002
348.	-0.1	-1.21	-0.12	0.05	-0.02	-0.2	0.007
349.	-0.3	-1.21	-0.17	-0.02	-0.05	-0.21	0.015
350.	-0.77	-0.68	-0.14	-0.01	-0.04	-0.2	0.004
351.	0.65	-1.75	-0.15	0.01	-0.04	-0.21	0.005
352.	-0.7	-1.17	-0.07	-0.14	-0.02	-0.18	0.02
353.	-0.76	-0.9	-0.17	-0.03	-0.05	-0.23	0.007
354.	0.73	-0.66	-0.15	0.13	-0.05	-0.18	0.021
355.	-0.47	-1.4	-0.2	-0.1	-0.05	-0.23	-0.002
356.	0.83	-1.1	-0.15	-0.03	-0.05	-0.21	0.001
357.	1.84	-1.67	-0.21	-0.07	-0.05	-0.23	-0.002
358.	0.7	-1.46	-0.2	-0.06	-0.05	-0.23	-0.01
359.	0.7	-0.83	-0.17	0	-0.03	-0.22	0.001
360.	3	-1.01	-0.15	0.05	-0.04	-0.21	0.001
361.	0.93	-1.18	-0.14	0.01	-0.05	-0.21	0.005
362.	2.12	-1.49	-0.16	0.07	-0.05	-0.21	0.01
363.	1.81	-1.34	-0.15	0.03	-0.05	-0.21	0.006
364.	0.82	-0.85	-0.14	0.18	-0.03	-0.19	0.022
365.	0.95	-1.05	-0.14	0.11	-0.04	-0.2	0.008
366.	1.69	-1.32	-0.15	0.1	-0.05	-0.19	0.035
367.	-0.17	-0.5	-0.17	0.07	-0.05	-0.2	0.025
368.	1.36	-1.9	-0.15	0.08	-0.03	-0.2	0.004
369.	-0.55	-1.45	-0.14	0.04	-0.04	-0.21	0.007
370.	-0.25	-1.2	-0.18	-0.01	-0.05	-0.21	0.006
371.	2.34	-1	-0.15	0.1	-0.04	-0.21	0.009
372.	0.69	-0.97	-0.16	0.02	-0.045	-0.2	0.017
373.	0.44	-1	-0.14	0.09	-0.05	-0.2	0.013
374.	1.03	-1.08	-0.15	0.05	-0.02	-0.2	0.003
375.	-0.32	-1.49	-0.15	0.07	-0.02	-0.18	-0.001
376.	-0.21	-1.23	-0.14	0.07	-0.05	-0.2	0.007
377.	0.6	-1.64	-0.15	-0.02	-0.04	-0.21	-0.003
378.	0.78	-1.3	-0.15	0.01	-0.03	-0.2	-0.005
379.	0	-0.85	-0.15	0.06	-0.05	-0.21	0.006
380.	3.03	-1.08	-0.14	-0.02	-0.04	-0.21	0.004
381.	-1.77	-1.16	-0.15	0.03	-0.05	-0.19	0.005
382.	0.08	-1	-0.13	0.05	-0.05	-0.2	0.003
383.	0.3	-1	-0.13	0.04	-0.05	-0.2	0.003
384.	0.4	-1.04	-0.14	0.1	-0.05	-0.21	0.007

Ek-11:STTG Katsayılarının Hesaplamak İçin R Dilinde Hazırlanmış Kodlar

```

t1=t(t(c(0,-1,-0.235,-0.185,-0.025,-0.235,0)))
t3=t(t(c(13, 0, -0.03, 1.02, -0.025, -0.03, 0)))
t4=t(t(c(-0.5, -1, 0.35, 0.05, 0.05, -0.125, -0.0087)))
t6=t(t(c(-0.5, 1, -0.03, 1.02, 0.05, -0.03, 0.0025)))
sm=t(t(c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)))
A1=cbind(t1,t3,sm,t6);A2=cbind(t1,t3,sm,t6);A3=cbind(t1,t3,t4,t6);A4=cbind(sm,t3,sm,t6);
A5=cbind(sm,t3,sm,t6);A6=cbind(t1,t3,t4,t6);A7=cbind(t1,t3,t4,t6);A8=cbind(t1,t3,sm,t6);
A9=cbind(t1,t3,t4,t6);A10=cbind(t1,t3,t4,t6);A11=cbind(t1,t3,t4,t6);A12=cbind(t1,t3,sm,t6);
A13=cbind(t1,t3,sm,t6);A14=cbind(t1,t3,t4,t6);A15=cbind(t1,t3,t4,t6);A16=cbind(t1,t3,t4,t6);
A17=cbind(sm,t3,sm,sm);A18=cbind(t1,sm,t4,sm);A19=cbind(t1,t3,sm,sm);A20=cbind(t1,t3,sm,
t6);A21=cbind(t1,t3,sm,t6);A22=cbind(t1,t3,sm,t6);A23=cbind(t1,t3,sm,t6);A24=cbind(t1,t3,sm,
t6);A25=cbind(t1,t3,sm,t6);A26=cbind(t1,t3,sm,t6);A27=cbind(t1,t3,sm,t6);A28=cbind(sm,t3,s
m,t6);A29=cbind(sm,t3,sm,t6);A30=cbind(sm,t3,sm,t6);A31=cbind(sm,t3,sm,t6);A32=cbind(t1,t
3,t4,t6);A33=cbind(t1,t3,t4,t6);A34=cbind(t1,t3,t4,t6);A35=cbind(t1,t3,sm,t6);A36=cbind(t1,t3,
sm,t6);A37=cbind(t1,t3,sm,t6);A38=cbind(t1,t3,sm,t6);A39=cbind(t1,t3,sm,t6);A40=cbind(t1,t3,
t4,t6);A41=cbind(t1,t3,t4,t6);A42=cbind(t1,t3,t4,t6);A43=cbind(t1,t3,sm,t6);A44=cbind(t1,t3,s
m,t6);A45=cbind(t1,t3,sm,t6);A46=cbind(t1,t3,sm,t6);A47=cbind(t1,t3,sm,t6);A48=cbind(t1,t3,s
m,t6);A49=cbind(t1,t3,sm,t6);A50=cbind(t1,t3,sm,t6);A51=cbind(t1,t3,sm,t6);A52=cbind(t1,t3,s
m,t6);A53=cbind(t1,t3,sm,t6);A54=cbind(t1,t3,sm,t6);A55=cbind(t1,t3,sm,t6);A56=cbind(t1,t3,t
4,t6);A57=cbind(t1,t3,t4,t6);A58=cbind(t1,t3,t4,t6);A59=cbind(t1,t3,t4,t6);A60=cbind(t1,sm,sm
,sm);A61=cbind(sm,t3,t4,t6);A62=cbind(t1,t3,t4,t6);A63=cbind(t1,t3,t4,t6);A64=cbind(t1,t3,t4,t
6);A65=cbind(t1,t3,sm,t6);A66=cbind(t1,t3,sm,t6);A67=cbind(t1,t3,t4,t6);A68=cbind(t1,t3,t4,t6
);A69=cbind(t1,t3,t4,t6);A70=cbind(t1,t3,t4,t6);A71=cbind(t1,t3,sm,t6);A72=cbind(t1,t3,sm,t6);
A73=cbind(t1,t3,sm,t6);A74=cbind(t1,t3,sm,t6);A75=cbind(t1,t3,t4,t6);A76=cbind(t1,t3,t4,t6);A
77=cbind(t1,t3,t4,t6);A78=cbind(t1,t3,t4,t6);A79=cbind(t1,t3,sm,t6);A80=cbind(t1,t3,sm,t6);A8
1=cbind(t1,t3,sm,t6);A82=cbind(t1,t3,t4,t6);A83=cbind(t1,t3,t4,t6);A84=cbind(t1,t3,sm,t6);A85
=cbind(t1,t3,sm,t6);A86=cbind(t1,t3,sm,t6);A87=cbind(t1,t3,sm,t6);A88=cbind(t1,t3,t4,t6);A89
=cbind(t1,t3,t4,t6);A90=cbind(t1,t3,t4,t6);A91=cbind(t1,t3,t4,t6);A92=cbind(t1,t3,sm,sm);A93=
cbind(t1,t3,sm,sm);A94=cbind(sm,t3,t4,t6);A95=cbind(t1,t3,t4,t6);A96=cbind(t1,t3,t4,t6);A97=
cbind(t1,t3,t4,t6);A98=cbind(t1,t3,sm,t6);A99=cbind(t1,t3,sm,t6);A100=cbind(sm,t3,t4,t6);A10
1=cbind(sm,t3,t4,t6);A102=cbind(t1,t3,t4,t6);A103=cbind(t1,t3,t4,t6);A104=cbind(t1,t3,
sm,t6);A105=cbind(t1,t3,sm,t6);A106=cbind(t1,t3,t4,t6);A107=cbind(t1,t3,t4,t6);A108=cbind(t1
,t3,t4,t6);A109=cbind(t1,t3,sm,t6);A110=cbind(t1,t3,sm,t6);A111=cbind(t1,t3,t4,t6);A112=cbi
nd(t1,t3,t4,t6);A113=cbind(t1,sm,sm,t6);A114=cbind(t1,sm,sm,t6);A115=cbind(t1,t3,sm,t6);A11
6=cbind(t1,t3,sm,t6);A117=cbind(sm,t3,sm,t6);A118=cbind(sm,t3,sm,t6);A119=cbind(t1,t3,sm,
t6);A120=cbind(t1,t3,sm,t6);A121=cbind(t1,t3,t4,t6);A122=cbind(t1,t3,t4,t6);A123=cbind(t1,t3,
t4,t6);A124=cbind(t1,t3,t4,t6);A125=cbind(t1,t3,sm,t6);A126=cbind(t1,t3,sm,t6);A127=cbind(s
m,t3,t4,t6);A128=cbind(t1,t3,sm,t6);A129=cbind(t1,t3,sm,t6);A130=cbind(t1,t3,sm,t6)
;A131=cbind(t1,t3,t4,t6);A132=cbind(t1,t3,t4,t6);A133=cbind(sm,t3,sm,t6)
;A134=cbind(sm,t3,sm,t6);A135=cbind(t1,t3,t4,t6);A136=cbind(t1,t3,t4,t6);A137=cbind(t1,t3,s
m,t6);A138=cbind(t1,t3,sm,t6);A139=cbind(sm,t3,sm,t6);A140=cbind(sm,t3,sm,t6);A141=cbind
(t1,t3,t4,t6);A142=cbind(t1,t3,t4,t6);A143=cbind(t1,t3,sm,t6);A144=cbind(t1,t3,sm,t6);A145=c
bind(t1,t3,t4,t6);A146=cbind(t1,t3,t4,t6);A147=cbind(t1,t3,t4,t6);A148=cbind(t1,t3,t4,t6);A149
=cbind(t1,t3,sm,t6);A150=cbind(t1,t3,sm,t6);A151=cbind(t1,sm,t4,t6);A152=cbind(t1,sm,t4,t6);
A153=cbind(t1,sm,t4,t6);A154=cbind(t1,sm,sm,t6);A155=cbind(t1,sm,sm,t6);A156=cbind(t1,sm
,t4,t6);A157=cbind(t1,sm,t4,t6);A158=cbind(t1,sm,t4,t6);A159=cbind(t1,t3,sm,t6);A160=cbind(
t1,t3,sm,t6);A161=cbind(t1,t3,sm,t6);A162=cbind(sm,sm,sm,t6);A163=cbind(t1,t3,sm,t6);A164

```

Ek-11:STTG Katsayılarının Hesaplamak İçin R Dilinde Hazırlanmış Kodlar (Devamı)

```
=cbind(t1,t3,sm,t6);A165=cbind(t1,t3,t4,t6);A166=cbind(t1,t3,t4,t6);A167=cbind(t1,t3,sm,t6);A
168=cbind(t1,t3,t4,t6);A169=cbind(sm,t3,t4,t6);A170=cbind(t1,t3,sm,t6)
;A171=cbind(t1,t3,sm,t6);A172=cbind(t1,t3,sm,t6);A173=cbind(t1,t3,sm,t6)
;A174=cbind(t1,t3,sm,t6);A175=cbind(t1,t3,sm,t6);
A176=cbind(t1,t3,sm,t6);A177=cbind(t1,t3,sm,t6);
A178=cbind(t1,t3,sm,t6);A179=cbind(t1,t3,t4,t6);
A180=cbind(t1,t3,t4,t6);A181=cbind(t1,t3,sm,t6);
A182=cbind(t1,t3,sm,t6);A183=cbind(t1,t3,sm,t6);
A184=cbind(t1,t3,sm,t6);A185=cbind(t1,t3,sm,t6);
A186=cbind(t1,t3,sm,t6);A187=cbind(t1,t3,t4,t6);A188=cbind(t1,t3,t4,t6);A189=cbind(t1,t3,
t4,t6);A190=cbind(t1,t3,t4,t6);A191=cbind(t1,t3,t4,t6);A192=cbind(t1,t3,t4,t6);A193=cbind(t1,t
3,t4,t6);A194=cbind(t1,t3,t4,t6);A195=cbind(t1,t3,t4,t6);A196=cbind(t1,t3,t4,t6);A197=cbind(t
1,t3,t4,t6);A198=cbind(t1,t3,t4,t6);A199=cbind(t1,t3,t4,t6);A200=cbind(t1,t3,t4,t6)
;A201=cbind(t1,t3,sm,t6);A202=cbind(t1,t3,sm,t6);
A203=cbind(t1,t3,t4,t6);A204=cbind(t1,t3,t4,t6);A205=cbind(t1,t3,sm,t6);
A206=cbind(t1,t3,sm,t6);A207=cbind(t1,t3,t4,t6);A208=cbind(t1,t3,t4,t6);
A209=cbind(t1,t3,t4,t6);A210=cbind(t1,t3,t4,t6);A211=cbind(t1,t3,t4,t6);
A212=cbind(t1,t3,t4,t6);A213=cbind(t1,t3,sm,t6);A214=cbind(t1,t3,t4,t6);
A215=cbind(t1,t3,t4,t6);A216=cbind(t1,t3,t4,t6);A217=cbind(t1,t3,t4,t6);
A218=cbind(t1,t3,sm,t6);A219=cbind(t1,t3,sm,t6);A220=cbind(t1,t3,t4,t6);
A221=cbind(t1,t3,t4,t6);A222=cbind(t1,t3,t4,t6);A223=cbind(t1,t3,t4,t6);
A224=cbind(t1,t3,t4,t6);A225=cbind(t1,t3,t4,t6);A226=cbind(sm,t3,t4,t6);
A227=cbind(t1,t3,t4,t6);A228=cbind(t1,t3,t4,t6);A229=cbind(t1,t3,t4,t6);
A230=cbind(t1,t3,sm,t6);A231=cbind(t1,t3,sm,t6);A232=cbind(t1,t3,t4,t6);
A233=cbind(t1,t3,t4,t6);A234=cbind(t1,t3,t4,t6);A235=cbind(t1,t3,t4,t6);
A236=cbind(t1,t3,sm,t6);A237=cbind(t1,t3,sm,t6);A238=cbind(t1,t3,t4,t6);
A239=cbind(t1,t3,t4,t6);A240=cbind(t1,t3,t4,t6);A241=cbind(t1,t3,sm,t6);
A242=cbind(t1,t3,sm,t6);A243=cbind(t1,t3,sm,t6);A244=cbind(t1,t3,t4,t6);
A245=cbind(t1,t3,t4,t6);A246=cbind(t1,t3,t4,t6);A247=cbind(t1,t3,sm,t6);
A248=cbind(t1,t3,sm,t6);A249=cbind(t1,t3,sm,t6);A250=cbind(t1,t3,sm,t6);
A251=cbind(t1,t3,t4,t6);A252=cbind(t1,t3,t4,t6);A253=cbind(t1,t3,t4,t6);
A254=cbind(t1,t3,t4,t6);A255=cbind(t1,t3,t4,t6);A256=cbind(t1,t3,t4,t6);
A257=cbind(t1,t3,t4,t6);A258=cbind(t1,t3,t4,t6);A259=cbind(t1,t3,t4,t6);
A260=cbind(t1,t3,t4,t6);A261=cbind(t1,t3,t4,t6);A262=cbind(t1,t3,t4,t6);
A263=cbind(t1,t3,t4,t6);A264=cbind(sm,t3,t4,t6);A265=cbind(sm,t3,t4,t6);
A266=cbind(t1,t3,t4,t6);A267=cbind(t1,t3,t4,t6);A268=cbind(t1,t3,t4,t6);
A269=cbind(t1,t3,t4,t6);A270=cbind(t1,t3,t4,t6);A271=cbind(t1,t3,t4,t6);
A272=cbind(t1,t3,sm,t6);A273=cbind(t1,t3,t4,t6);A274=cbind(sm,t3,t4,t6);
A275=cbind(sm,t3,t4,t6);A276=cbind(t1,t3,t4,t6);A277=cbind(t1,t3,sm,t6);
A278=cbind(t1,t3,t4,t6);A279=cbind(t1,t3,t4,t6);A280=cbind(t1,t3,t4,t6);
A281=cbind(t1,t3,sm,t6);A282=cbind(t1,t3,sm,t6);A283=cbind(sm,t3,t4,t6);
A284=cbind(sm,t3,t4,t6);A285=cbind(t1,t3,t4,t6);A286=cbind(t1,t3,t4,t6);
A287=cbind(t1,t3,t4,t6);A288=cbind(t1,t3,t4,t6);A289=cbind(sm,t3,t4,t6);
A290=cbind(t1,t3,t4,t6);A291=cbind(t1,t3,t4,t6);A292=cbind(t1,t3,t4,t6);
A293=cbind(t1,t3,t4,t6);A294=cbind(t1,t3,t4,t6);A295=cbind(t1,t3,t4,t6);
```

Ek-11:STTG Katsayılarının Hesaplamak İçin R Dilinde Hazırlanmış Kodlar (Devamı)

```

A296=cbind(t1,t3,t4,t6);A297=cbind(t1,t3,t4,t6);A298=cbind(t1,t3,t4,t6);
A299=cbind(t1,t3,t4,sm);A300=cbind(t1,t3,t4,sm);A301=cbind(t1,t3,t4,sm);
A302=cbind(t1,t3,t4,t6);A303=cbind(t1,t3,sm,t6);A304=cbind(t1,t3,sm,t6);
A305=cbind(t1,t3,sm,t6);A306=cbind(t1,t3,t4,t6);A307=cbind(t1,t3,t4,t6);
A308=cbind(t1,t3,t4,t6);A309=cbind(t1,t3,sm,t6);A310=cbind(t1,t3,sm,t6);
A311=cbind(t1,t3,t4,t6);A312=cbind(t1,t3,t4,t6);A313=cbind(t1,t3,t4,t6);
A314=cbind(t1,t3,t4,t6);A315=cbind(t1,t3,t4,t6);A316=cbind(t1,t3,t4,t6);
A317=cbind(t1,t3,t4,t6);A318=cbind(t1,t3,sm,t6);A319=cbind(t1,t3,sm,t6);
A320=cbind(t1,sm,sm,t6);A321=cbind(t1,sm,sm,t6);A322=cbind(sm,t3,sm,t6);
A323=cbind(t1,t3,sm,t6);A324=cbind(t1,t3,t4,t6);A325=cbind(t1,t3,t4,t6);
A326=cbind(t1,t3,sm,t6);A327=cbind(t1,t3,sm,t6);A328=cbind(sm,t3,sm,t6);
A329=cbind(sm,t3,sm,t6);A330=cbind(t1,t3,sm,t6);A331=cbind(t1,t3,sm,t6);
A332=cbind(t1,t3,sm,t6);A333=cbind(t1,t3,sm,t6);A334=cbind(t1,t3,sm,t6);
A335=cbind(t1,t3,sm,sm);A336=cbind(t1,t3,sm,t6);A337=cbind(t1,t3,sm,t6);
A338=cbind(t1,t3,sm,t6);A339=cbind(t1,t3,sm,t6);A340=cbind(t1,t3,sm,t6);
A341=cbind(t1,t3,sm,t6);A342=cbind(t1,t3,sm,sm);A343=cbind(t1,t3,sm,sm);
A344=cbind(t1,t3,sm,t6);A345=cbind(t1,t3,sm,t6);A346=cbind(t1,t3,sm,t6);
A347=cbind(sm,t3,sm,t6);A348=cbind(sm,t3,sm,t6);A349=cbind(sm,t3,sm,t6);
A350=cbind(t1,t3,sm,t6);A351=cbind(t1,t3,sm,t6);A352=cbind(t1,t3,sm,t6);
A353=cbind(t1,t3,sm,t6);A354=cbind(t1,t3,sm,sm);A355=cbind(t1,t3,sm,sm);
A356=cbind(t1,t3,sm,sm);A357=cbind(t1,t3,sm,sm);A358=cbind(t1,t3,sm,t6);
A359=cbind(t1,t3,sm,t6);A360=cbind(t1,t3,sm,sm);A361=cbind(t1,t3,sm,sm);
A362=cbind(t1,t3,sm,t6);A363=cbind(t1,t3,sm,t6);A364=cbind(t1,t3,sm,t6);
A365=cbind(t1,t3,sm,t6);A366=cbind(t1,t3,sm,t6);A367=cbind(t1,t3,sm,t6);
A368=cbind(t1,t3,sm,t6);A369=cbind(t1,t3,sm,t6);A370=cbind(t1,t3,sm,t6);
A371=cbind(t1,t3,sm,sm);A372=cbind(t1,t3,sm,sm);A373=cbind(t1,t3,sm,t6);
A374=cbind(t1,t3,sm,t6);A375=cbind(t1,t3,sm,t6);A376=cbind(t1,t3,sm,t6);
A377=cbind(t1,sm,sm,t6);A378=cbind(t1,sm,sm,t6);A379=cbind(t1,t3,sm,t6);
A380=cbind(t1,t3,sm,t6);A381=cbind(t1,t3,sm,t6);A382=cbind(t4,sm,t4,sm);
A383=cbind(t1,t3,sm,sm);A384=cbind(t1,t3,sm,sm)
AT=cbind(A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18,A19,
A20,A21,A22,A23,A24,A25,A26,A27,A28,A29,A30,A31,A32,A33,A34,A35,A36,A37,A38,A39,A40
,A41,A42,A43,A44,A45,A46,A47,A48,A49,A50,A51,A52,A53,A54,A55,A56,A57,A58,A59,A60,A6
1,A62,A63,A64,A65,A66,A67,A68,A69,A70,A71,A72,A73,A74,A75,A76,A77,A78,A79,A80,A81,A
82,A83,A84,A85,A86,A87,A88,A89,A90,A91,A92,A93,A94,A95,A96,A97,A98,A99,A100,A101,
A102, A103, A104, A105, A106, A107, A108, A109, A110 ,A111, A112, A113, A114, A115, A116,
A117, A118, A119, A120 , A121, A122, A123, A124, A125, A126, A127, A128, A129, A130, A131,
A132, A133, A134, A135, A136, A137, A138, A139, A140, A141, A142, A143, A144, A145, A146,
A147, A148, A149, A150 , A151, A152, A153, A154, A155, A156, A157, A158, A159, A160, A161,
A162, A163, A164, A165, A166, A167, A168, A169, A170, A171, A172, A173, A174, A175, A176,
A177, A178, A179, A180, A181, A182, A183, A184, A185, A186, A187, A188, A189, A190, A191,
A192, A193, A194, A195, A196, A197, A198, A199,A200, A201, A202, A203, A204, A205, A206,
A207, A208, A209, A210, A211, A212, A213, A214, A215, A216, A217, A218, A219, A220, A221,
A222, A223, A224, A225, A226, A227, A228, A229, A230, A231, A232, A233, A234, A235, A236,
A237, A238, A239, A240, A241, A242, A243, A244, A245, A246, A247, A248, A249, A250, A251,
A252, A253, A254, A255, A256, A257, A258, A259, A260, A261, A262, A263, A264, A265, A266,

```

Ek-11:STTG Katsayılarının Hesaplamak İçin R Dilinde Hazırlanmış Kodlar (Devamı)

A267, A268, A269, A270, A271, A272, A273, A274, A275, A276, A277, A278, A279, A280, A281, A282, A283, A284, A285, A286, A287, A288, A289, A290, A291, A292, A293, A294, A295, A296, A297, A298, A299, A300, A301, A302, A303, A304, A305, A306, A307, A308, A309, A310, A311, A312, A313, A314, A315, A316, A317, A318, A319, A320, A321, A322, A323, A324, A325, A326, A327, A328, A329, A330, A331, A332, A333, A334, A335, A336, A337, A338, A339, A340, A341, A342, A343, A344, A345, A346, A347, A348, A349, A350, A351, A352, A353, A354, A355, A356, A357, A358, A359, A360, A361, A362, A363, A364, A365, A366, A367, A368, A369, A370, A371, A372, A373, A374, A375, A376, A377, A378, A379, A380, A381, A382, A383, A384)

AT

```
a=read.csv("H:/Yeni klasör (2)/suna tez/mke piring/çalışma verileri 50 ve 334 adet veriler/FAZ12.csv",header=T)
```

```
b=t(a)
```

```
#Faz1 için Z değerleri
```

```
ATFAZ1ilk= cbind(AT[,1], AT[,2], AT[,3], AT[,4])
```

```
ATFAZ1ilk
```

```
c=t(t(b[,1]))
```

```
ZlerFAZ1ilk1=ginv(t(ATFAZ1ilk)%*(ATFAZ1ilk))
```

```
ZlerFAZ1ilk2=t(ATFAZ1ilk)%*c
```

```
ZlerFAZ1ilkSON= ZlerFAZ1ilk1%*ZlerFAZ1ilk2
```

```
print(ZlerFAZ1ilkSON)
```

```
iter=5
```

```
for(i in 2:50){
```

```
ATFAZ1250= cbind(AT[,iter], AT[,iter+1], AT[,iter+2], AT[,iter+3])
```

```
c=t(t(b[,i]))
```

```
iter=iter+4
```

```
ZlerFAZ12501=ginv(t(ATFAZ1250)%*(ATFAZ1250))
```

```
ZlerFAZ12502=t(ATFAZ1250)%*c
```

```
ZlerSon= ZlerFAZ12501%*ZlerFAZ12502
```

```
ZlerFAZ1ilkSON =cbind(round(ZlerFAZ1ilkSON,3),round(ZlerSon,3))}
```

```
print(t(t(ZlerFAZ1ilkSON)))
```

```
#Faz2 için Z değerleri
```

```
ATFAZ2ilk= cbind(AT[,205], AT[,206], AT[,207], AT[,208])
```

```
ATFAZ2ilk
```

```
c=t(t(b[,51]))
```

```
print(c)
```

```
ZlerFAZ2ilk1= ginv(t(ATFAZ2ilk)%*(ATFAZ2ilk))
```

```
ZlerFAZ2ilk2=t(ATFAZ2ilk)%*c
```

```
ZlerFAZ2ilkSON= ZlerFAZ2ilk1%*ZlerFAZ2ilk2
```

```
print(ZlerFAZ2ilkSON)
```

```
iter=205
```

```
R2ilk= ((t(ZlerFAZ2ilkSON)%* ZlerFAZ2ilk2)-7*(mean(c)^2))/((t(c)%*c)- 7*(mean(c)^2))
```

```
R2ilk
```

```
for(j in 52:384){
```

```
ATFAZ252384= cbind(AT[,iter], AT[,iter+1], AT[,iter+2], AT[,iter+3])
```

Ek-11:STTG Katsayılarının Hesaplamak İçin R Dilinde Hazırlanmış Kodlar (Devamı)

```

c=t(t(b[,j]))
iter=iter+4
ZlerFAZ2523841= ginv(t(ATFAZ252384)*% ATFAZ252384)
ZlerFAZ2523842=t(ATFAZ252384)*%c
ZlerFAZ2Son= ZlerFAZ2523841*% ZlerFAZ2523842
R2son= ((t(ZlerFAZ2Son)*% ZlerFAZ2523842)-7*(mean(c)^2))/((t(c)*%c)- 7*(mean(c)^2))
R2ilk =cbind(R2ilk ,R2son)
ZlerFAZ2ilkSON =cbind(round(ZlerFAZ2ilkSON,3),round(ZlerFAZ2Son,3))}
print(t(t(ZlerFAZ2ilkSON)))
print(R2ilk)

```

Ek-12:STTG Katsayılarının Faz I Aşaması Değerleri

Gözlemler	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	Z_{14}
1.STTG Katsayıları	1.947	0.222	0	-0.082
2.STTG Katsayıları	1.146	-0.07	0	0.26
3.STTG Katsayıları	1.193	0.222	0.238	-0.093
4.STTG Katsayıları	0	0.009	0	-0.315
5.STTG Katsayıları	0	-0.066	0	-0.537
6.STTG Katsayıları	1.018	0.086	0.326	0.072
7.STTG Katsayıları	1.071	0.089	0.328	0.033
8.STTG Katsayıları	1.159	0.076	0	0.056
9.STTG Katsayıları	0.872	0.133	0.042	0.004
10.STTG Katsayıları	1.097	-0.061	0.221	0.193
11.STTG Katsayıları	1.032	0.152	0.164	-0.014
12.STTG Katsayıları	1.165	-0.035	0	0.175
13.STTG Katsayıları	1.333	-0.04	0	0.201
14.STTG Katsayıları	0.867	0.172	0.073	0
15.STTG Katsayıları	0.927	0.096	0.266	0.119
16.STTG Katsayıları	0.983	0.095	0.314	0.146
17.STTG Katsayıları	0	0.037	0	0
18.STTG Katsayıları	0.948	0	0.142	0
19.STTG Katsayıları	1.584	0.078	0	0
20.STTG Katsayıları	0.746	0.019	0	0.096
21.STTG Katsayıları	1.445	-0.102	0	0.273
22.STTG Katsayıları	1.249	0.104	0	0.104
23.STTG Katsayıları	1.327	0.052	0	0.185
24.STTG Katsayıları	1.093	0.034	0	0.137
25.STTG Katsayıları	1.057	0.153	0	0.042
26.STTG Katsayıları	0.752	-0.025	0	0.156
27.STTG Katsayıları	0.936	0.018	0	-0.03
28.STTG Katsayıları	0	0.032	0	-0.491
29.STTG Katsayıları	0	-0.023	0	-0.531
30.STTG Katsayıları	0	-0.078	0	-0.496
31.STTG Katsayıları	0	0.063	0	-0.515
32.STTG Katsayıları	1.028	0.016	0.219	0.107
33.STTG Katsayıları	1.125	0.12	0.246	0.036
34.STTG Katsayıları	0.946	0.007	0.147	0.189
35.STTG Katsayıları	1.295	0.038	0	0.179
36.STTG Katsayıları	1.379	-0.015	0	0.151
37.STTG Katsayıları	1.170	0.026	0	0.167
38.STTG Katsayıları	1.348	-0.024	0	0.163
39.STTG Katsayıları	1.741	0.052	0	0.106

40.STTG Katsayıları	1.108	0.027	0.309	0.136
41.STTG Katsayıları	1.079	0.046	0.274	0.119
42.STTG Katsayıları	0.959	0.01	0.189	0.165
43.STTG Katsayıları	0.989	0.151	0	0.112
44.STTG Katsayıları	1.257	0.052	0	0.115
45.STTG Katsayıları	1.131	0.023	0	0.2
46.STTG Katsayıları	1.180	0.027	0	0.167
47.STTG Katsayıları	1.343	-0.058	0	0.231
48.STTG Katsayıları	1.301	0.036	0	0.069
49.STTG Katsayıları	1.216	0.067	0	0.074
50.STTG Katsayıları	0.527	0.249	0	0.04



Ek-13:STTG Katsayılarının Faz II Aşaması Değerleri

	Z_{21}	Z_{22}	Z_{23}	Z_{24}
1.STTG Katsayıları	0.994	0.083	0	0.164
2.STTG Katsayıları	1.200	0.057	0	0.07
3.STTG Katsayıları	1.168	0.018	0	0.15
4.STTG Katsayıları	1.260	-0.059	0	0.301
5.STTG Katsayıları	1.054	0.149	0	0.057
6.STTG Katsayıları	0.807	0.219	0.094	0
7.STTG Katsayıları	0.898	0.019	0.144	0.197
8.STTG Katsayıları	0.996	0.128	0.196	0.041
9.STTG Katsayıları	0.909	0.115	0.15	0.035
10.STTG Katsayıları	1.031	0	0	0
11.STTG Katsayıları	0	0.277	0.58	-0.303
12.STTG Katsayıları	0.735	0.163	0.117	0.007
13.STTG Katsayıları	0.945	-0.099	0.273	0.286
14.STTG Katsayıları	1.160	0.049	0.431	0.129
15.STTG Katsayıları	1.227	-0.037	0	0.221
16.STTG Katsayıları	1.322	0.041	0	0.144
17.STTG Katsayıları	0.904	0.309	0.034	-0.195
18.STTG Katsayıları	1.030	0.027	0.271	0.098
19.STTG Katsayıları	0.992	0.059	0.328	0.155
20.STTG Katsayıları	0.879	0.036	0.202	0.22
21.STTG Katsayıları	1.230	-0.006	0	0.173
22.STTG Katsayıları	1.109	0.051	0	0.079
23.STTG Katsayıları	1.061	0.083	0	0.118
24.STTG Katsayıları	1.310	0.056	0	0.159
25.STTG Katsayıları	0.885	0.026	0.213	0.199
26.STTG Katsayıları	0.878	-0.028	0.226	0.243
27.STTG Katsayıları	1.152	0.119	0.574	0.111
28.STTG Katsayıları	0.74	0.079	0.063	0.003
29.STTG Katsayıları	1.029	0.145	0	-0.03
30.STTG Katsayıları	1.216	0.044	0	0.184
31.STTG Katsayıları	1.462	0.193	0	-0.01
32.STTG Katsayıları	0.881	-0.021	0.281	0.257
33.STTG Katsayıları	0.807	0.197	0.205	0.019
34.STTG Katsayıları	1.121	0.172	0	-0.005
35.STTG Katsayıları	0.629	0.128	0	0.022
36.STTG Katsayıları	0.862	0.053	0	0.116
37.STTG Katsayıları	1.066	-0.003	0	0.223
38.STTG Katsayıları	0.649	0.314	0.093	-0.041
39.STTG Katsayıları	0.825	0	0.186	0.219
40.STTG Katsayıları	0.939	0.054	0.255	0.157
41.STTG Katsayıları	0.836	0.026	0.275	0.135
42.STTG Katsayıları	1.187	-0.022	0	0
43.STTG Katsayıları	0.549	0.029	0	0
44.STTG Katsayıları	0	0.302	-0.071	-0.437
45.STTG Katsayıları	0.674	0.181	-0.029	-0.071
46.STTG Katsayıları	0.632	0.018	0.038	0.166
47.STTG Katsayıları	0.746	-0.014	0.138	0.206
48.STTG Katsayıları	0.338	0.278	0	-0.373
49.STTG Katsayıları	0.904	0.085	0	0.095
50.STTG Katsayıları	0	0.058	0.904	-0.175
51.STTG Katsayıları	0	-0.014	0.671	-0.115
52.STTG Katsayıları	1.071	-0.16	0.508	0.238

53.STTG Katsayıları	0.839	-0.005	0.191	0.147
54.STTG Katsayıları	1.163	0.202	0	-0.075
55.STTG Katsayıları	0.72	0.074	0	0.033
56.STTG Katsayıları	0.649	0.025	0.16	0.056
57.STTG Katsayıları	0.705	0.049	0.126	0.081
58.STTG Katsayıları	0.764	-0.014	0.187	0.205
59.STTG Katsayıları	1.055	0.058	0	0.103
60.STTG Katsayıları	0.799	-0.009	0	0.169
61.STTG Katsayıları	1.047	0.091	0.346	0.081
62.STTG Katsayıları	1.036	-0.028	0.342	0.197
63.STTG Katsayıları	0.547	0	0	-0.387
64.STTG Katsayıları	0.971	0	0	0.121
65.STTG Katsayıları	1.028	0.013	0	0.125
66.STTG Katsayıları	0.937	-0.051	0	0.173
67.STTG Katsayıları	0	0.179	0	-0.583
68.STTG Katsayıları	0	-0.005	0	-0.867
69.STTG Katsayıları	0.984	0.05	0	0.065
70.STTG Katsayıları	0.993	0.085	0	0.073
71.STTG Katsayıları	0.774	0.077	0.113	0.19
72.STTG Katsayıları	0.799	0.038	0.135	0.141
73.STTG Katsayıları	0.609	0.006	0.196	0.104
74.STTG Katsayıları	0.805	0.006	0.232	0.146
75.STTG Katsayıları	0.923	0.001	0	0.172
76.STTG Katsayıları	0.99	-0.03	0	0.183
77.STTG Katsayıları	0	0.045	0.647	-0.126
78.STTG Katsayıları	1.584	0.063	0	0.107
79.STTG Katsayıları	1.689	0.005	0	0.099
80.STTG Katsayıları	0.638	0.156	0	-0.007
81.STTG Katsayıları	0.742	-0.021	0.166	0.211
82.STTG Katsayıları	0.827	0.023	0.162	0.157
83.STTG Katsayıları	0	0.182	0	-0.658
84.STTG Katsayıları	0	0.093	0	-0.737
85.STTG Katsayıları	0.716	0.032	-0.09	0.119
86.STTG Katsayıları	1.217	0.055	0.397	0.04
87.STTG Katsayıları	1.666	-0.139	0	0.292
88.STTG Katsayıları	1.248	0.054	0	0.143
89.STTG Katsayıları	0	-0.069	0	-0.536
90.STTG Katsayıları	0	0.211	0	-0.627
91.STTG Katsayıları	0.721	0.122	0.124	0.047
92.STTG Katsayıları	0.869	0.001	0.195	0.204
93.STTG Katsayıları	0.992	-0.004	0	0.201
94.STTG Katsayıları	1.023	0.04	0	0.069
95.STTG Katsayıları	0.884	-0.046	0.194	0.196
96.STTG Katsayıları	0.858	0.149	0.196	-0.015
97.STTG Katsayıları	0.9	0.064	0.222	0.104
98.STTG Katsayıları	0.847	0.106	0.174	0.078
99.STTG Katsayıları	0.956	0.002	0	0.167
100.STTG Katsayıları	1.414	-0.066	0	0.212
101.STTG Katsayıları	0.803	0	0.078	0.175
102.STTG Katsayıları	1.237	0	-0.592	-0.209
103.STTG Katsayıları	0.845	0	0.311	0.192
104.STTG Katsayıları	0.712	0	0	-0.189
105.STTG Katsayıları	1.295	0	0	0.223
106.STTG Katsayıları	1.112	0	0.148	0.103
107.STTG Katsayıları	1.835	0	-2.424	-0.958

108.STTG Katsayıları	1.582	0	-1.363	-0.531
109.STTG Katsayıları	1.066	0.173	0	-0.014
110.STTG Katsayıları	0.918	0.085	0	0.078
111.STTG Katsayıları	1.294	0.008	0	0.297
112.STTG Katsayıları	0	0	0	-0.54
113.STTG Katsayıları	0.614	0.008	0	0.211
114.STTG Katsayıları	0.904	0.026	0	0.194
115.STTG Katsayıları	1.088	0.068	0.371	0.183
116.STTG Katsayıları	1.088	-0.005	0.401	0.263
117.STTG Katsayıları	1.251	0.011	0	0.271
118.STTG Katsayıları	1.076	0.138	0.268	0.078
119.STTG Katsayıları	0	0.088	0.964	-0.288
120.STTG Katsayıları	1.199	0.244	0	-0.066
121.STTG Katsayıları	1.571	0.081	0	0.121
122.STTG Katsayıları	0.631	0.012	0	0.111
123.STTG Katsayıları	1.187	0.07	0	0.055
124.STTG Katsayıları	0.981	0.107	0	0.129
125.STTG Katsayıları	1.877	0.079	0	0.136
126.STTG Katsayıları	0.45	-0.213	0	0.361
127.STTG Katsayıları	0.85	0.094	0	0.064
128.STTG Katsayıları	0.786	0.154	0	-0.004
129.STTG Katsayıları	0.756	0.165	0.158	-0.032
130.STTG Katsayıları	0.856	0.013	0.255	0.193
131.STTG Katsayıları	1.235	0	0	0.202
132.STTG Katsayıları	0.966	0.015	0	0.191
133.STTG Katsayıları	1.165	-0.008	0	0.234
134.STTG Katsayıları	1.549	0.058	0	0.158
135.STTG Katsayıları	0.905	0.06	0	0.088
136.STTG Katsayıları	1.016	0.043	0	0.181
137.STTG Katsayıları	0.877	0.256	0.495	-0.052
138.STTG Katsayıları	1.035	0.226	0.356	0.011
139.STTG Katsayıları	0.811	0.069	0.425	0.159
140.STTG Katsayıları	0.799	0.103	0.309	0.071
141.STTG Katsayıları	1.203	0.036	0.507	0.171
142.STTG Katsayıları	0.965	0.014	0.32	0.203
143.STTG Katsayıları	1.601	0.265	0.74	-0.007
144.STTG Katsayıları	1.176	-0.127	0.387	0.246
145.STTG Katsayıları	0.973	-0.021	0.314	0.203
146.STTG Katsayıları	0.88	0.038	0.318	0.181
147.STTG Katsayıları	1.199	0.105	0.543	0.379
148.STTG Katsayıları	0.889	0.074	0.273	0.121
149.STTG Katsayıları	0.864	0.086	0.27	0.178
150.STTG Katsayıları	0.947	0.02	0.252	0.137
151.STTG Katsayıları	0.773	-0.001	0	0.22
152.STTG Katsayıları	1.013	0	0	0.246
153.STTG Katsayıları	1.060	0.127	0.39	0.077
154.STTG Katsayıları	0.875	-0.014	0.231	0.206
155.STTG Katsayıları	1.219	0.024	0	0.265
156.STTG Katsayıları	1.262	0.03	0	0.159
157.STTG Katsayıları	1.081	0.051	0.429	0.105
158.STTG Katsayıları	0.621	0.136	0.363	-0.015
159.STTG Katsayıları	1.133	-0.05	0.456	0.215
160.STTG Katsayıları	0.677	0.037	0.261	0.203
161.STTG Katsayıları	0.629	0.119	0.128	0.16
162.STTG Katsayıları	0.745	0.183	0.184	0.014

163.STTG Katsayıları	0.87	-0.062	0	0.204
164.STTG Katsayıları	1.043	-0.024	0.337	0.147
165.STTG Katsayıları	0.957	0.057	0.343	0.138
166.STTG Katsayıları	0.874	0.094	0.445	0.114
167.STTG Katsayıları	1.069	0.027	0.396	0.134
168.STTG Katsayıları	0.881	0.062	0	0.177
169.STTG Katsayıları	0.914	0.008	0	0.199
170.STTG Katsayıları	0.822	0.048	0.258	0.192
171.STTG Katsayıları	1.018	0.072	0.382	0.155
172.STTG Katsayıları	1.259	-0.257	0.691	0.493
173.STTG Katsayıları	1.332	-0.019	0.477	0.142
174.STTG Katsayıları	0.746	-0.021	0.143	0.261
175.STTG Katsayıları	0.78	0.003	0.147	0.262
176.STTG Katsayıları	0	0.119	0.745	-0.187
177.STTG Katsayıları	1.010	0.041	0.369	0.095
178.STTG Katsayıları	0.694	0.115	0.137	-0.033
179.STTG Katsayıları	0.962	0.104	0.262	0.035
180.STTG Katsayıları	1.674	-0.038	0	0.167
181.STTG Katsayıları	1.318	0.027	0	0.148
182.STTG Katsayıları	1.049	-0.22	0.617	0.332
183.STTG Katsayıları	0.729	0.182	0.236	-0.064
184.STTG Katsayıları	0.853	0.026	0.298	0.18
185.STTG Katsayıları	1.111	0.032	0.478	0.137
186.STTG Katsayıları	1.223	0.012	0	0.149
187.STTG Katsayıları	1.681	0.021	0	0.165
188.STTG Katsayıları	0.55	0.143	0.324	-0.019
189.STTG Katsayıları	0.766	0.044	0.33	0.061
190.STTG Katsayıları	0.772	0.033	0.615	0.05
191.STTG Katsayıları	1.072	0	0	0.122
192.STTG Katsayıları	1.042	0.036	0	0.106
193.STTG Katsayıları	1.393	0.018	0	0.142
194.STTG Katsayıları	0.829	0.391	0.216	-0.219
195.STTG Katsayıları	0.976	0.138	0.372	0.013
196.STTG Katsayıları	1.042	0.087	0.476	0.091
197.STTG Katsayıları	0.992	0.378	0	-0.219
198.STTG Katsayıları	1.592	-0.048	0	0.134
199.STTG Katsayıları	0.594	-0.134	0	0.262
200.STTG Katsayıları	1.110	0.03	0	0.104
201.STTG Katsayıları	0.801	0.05	0.24	0.086
202.STTG Katsayıları	0.956	0.076	0.36	0.081
203.STTG Katsayıları	0.848	0.019	0.296	0.145
204.STTG Katsayıları	1.344	-0.03	0.702	0.23
205.STTG Katsayıları	1.064	-0.081	0.401	0.268
206.STTG Katsayıları	0.814	0.155	0.107	-0.071
207.STTG Katsayıları	0.801	-0.065	0.293	0.218
208.STTG Katsayıları	0.778	0.008	0.251	0.153
209.STTG Katsayıları	0.657	0.15	0.315	0.018
210.STTG Katsayıları	0.791	0.128	0.348	0.047
211.STTG Katsayıları	1.424	0.083	0.745	0.067
212.STTG Katsayıları	0.726	-0.036	0.17	0.196
213.STTG Katsayıları	0.939	-0.014	0.247	0.158
214.STTG Katsayıları	0	0.247	0.456	-0.251
215.STTG Katsayıları	0	0.103	0.748	-0.177
216.STTG Katsayıları	0.9	0.106	0.389	0.056
217.STTG Katsayıları	1.047	-0.215	0.328	0.36

218.STTG Katsayıları	1.198	0.132	0.711	0.004
219.STTG Katsayıları	0.743	0.097	0.283	0.029
220.STTG Katsayıları	0.865	0.113	0.375	-0.023
221.STTG Katsayıları	0.959	0.149	0.385	0.083
222.STTG Katsayıları	1.135	0.159	0	0.053
223.STTG Katsayıları	1.003	-0.002	0.423	0.123
224.STTG Katsayıları	0	0.089	0.741	-0.175
225.STTG Katsayıları	0	0.184	0.646	-0.223
226.STTG Katsayıları	0.766	-0.002	0.213	0.124
227.STTG Katsayıları	0.801	0.083	0	0.031
228.STTG Katsayıları	0.94	0.089	0.308	0.011
229.STTG Katsayıları	0.806	0.077	0.143	0.06
230.STTG Katsayıları	1.160	0.234	0.471	-0.02
231.STTG Katsayıları	0.885	0.298	0	-0.093
232.STTG Katsayıları	1.148	-0.054	0	0.297
233.STTG Katsayıları	0	0.058	0.864	-0.164
234.STTG Katsayıları	0	0.116	0.518	-0.148
235.STTG Katsayıları	0.72	0.1	0.409	0.063
236.STTG Katsayıları	0.895	0.241	0.284	-0.068
237.STTG Katsayıları	0.703	0.011	0.315	0.162
238.STTG Katsayıları	0.885	-0.061	0.301	0.249
239.STTG Katsayıları	0	-0.043	0.801	-0.068
240.STTG Katsayıları	1.001	0	0.412	0.175
241.STTG Katsayıları	0.9	-0.04	0.309	0.241
242.STTG Katsayıları	0.775	-0.035	0.219	0.227
243.STTG Katsayıları	0.807	0.2	0.309	-0.098
244.STTG Katsayıları	0.707	0.136	0.163	0.011
245.STTG Katsayıları	0.844	0.119	0.286	0.039
246.STTG Katsayıları	1.560	-0.037	0.77	0.195
247.STTG Katsayıları	0.579	0.023	0.148	0.13
248.STTG Katsayıları	0.751	0.102	0.227	0.02
249.STTG Katsayıları	0.712	0.012	0.202	0
250.STTG Katsayıları	0.664	0.154	0.212	0
251.STTG Katsayıları	0.49	-0.075	0.402	0
252.STTG Katsayıları	0.276	0.171	-0.167	-0.062
253.STTG Katsayıları	0.778	0.016	0	0.16
254.STTG Katsayıları	1.638	0.008	0	0.137
255.STTG Katsayıları	1.002	-0.043	0	0.217
256.STTG Katsayıları	0.802	0.177	0.209	-0.007
257.STTG Katsayıları	1.016	0.09	0.49	0.038
258.STTG Katsayıları	0.729	0.005	0.233	0.093
259.STTG Katsayıları	1.064	0.107	0	0.063
260.STTG Katsayıları	1.055	0.022	0	0.175
261.STTG Katsayıları	0.982	0.115	0.421	0.042
262.STTG Katsayıları	0.79	-0.018	0.166	0.158
263.STTG Katsayıları	0.633	0.166	0.021	-0.025
264.STTG Katsayıları	0.717	-0.018	0.351	0.192
265.STTG Katsayıları	0.943	-0.02	0.306	0.181
266.STTG Katsayıları	0.751	0.048	0.228	0.121
267.STTG Katsayıları	0.968	0.085	0.342	0.056
268.STTG Katsayıları	0.986	-0.038	0	0.16
269.STTG Katsayıları	1.501	0.023	0	0.074
270.STTG Katsayıları	1.371	0	0	0.651
271.STTG Katsayıları	1.003	0	0	0.184
272.STTG Katsayıları	0	-0.01	0	-0.402

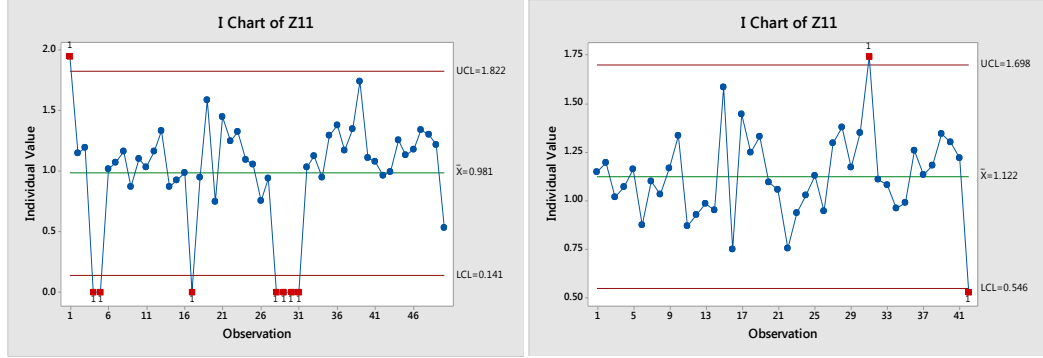
273.STTG Katsayıları	1.904	0.162	0	-0.444
274.STTG Katsayıları	0.893	0.113	0.313	0.034
275.STTG Katsayıları	1.218	0.066	0.585	0.128
276.STTG Katsayıları	0.855	0.238	0	-0.065
277.STTG Katsayıları	1.279	-0.024	0	0.151
278.STTG Katsayıları	0	-0.034	0	-0.477
279.STTG Katsayıları	0	0.053	0	-0.897
280.STTG Katsayıları	1.012	0.011	0	0.151
281.STTG Katsayıları	1.207	0.089	0	0.057
282.STTG Katsayıları	1.556	-0.188	0	0.336
283.STTG Katsayıları	0.855	-0.002	0	0.145
284.STTG Katsayıları	0.951	0.011	0	0.11
285.STTG Katsayıları	0.886	0.234	0	0
286.STTG Katsayıları	1.090	0.002	0	0.19
287.STTG Katsayıları	1.940	-0.134	0	0.35
288.STTG Katsayıları	1.157	-0.016	0	0.155
289.STTG Katsayıları	0.916	0.054	0	0.142
290.STTG Katsayıları	1.188	0.037	0	0.151
291.STTG Katsayıları	0.983	0.045	0	0.161
292.STTG Katsayıları	1.234	-0.037	0	0
293.STTG Katsayıları	0.28	-0.042	0	0
294.STTG Katsayıları	0.929	0.016	0	0.214
295.STTG Katsayıları	1.494	0.007	0	0.212
296.STTG Katsayıları	1.057	-0.004	0	0.199
297.STTG Katsayıları	0	-0.036	0	-0.541
298.STTG Katsayıları	0	-0.025	0	-0.538
299.STTG Katsayıları	0	-0.041	0	-0.565
300.STTG Katsayıları	0.838	-0.052	0	0.176
301.STTG Katsayıları	1.743	0.056	0	0.13
302.STTG Katsayıları	1.125	-0.052	0	0.036
303.STTG Katsayıları	1.052	-0.051	0	0.181
304.STTG Katsayıları	0.633	0.057	0	0
305.STTG Katsayıları	1.323	-0.035	0	0
306.STTG Katsayıları	1.050	0.064	0	0
307.STTG Katsayıları	1.582	0.142	0	0
308.STTG Katsayıları	1.454	0.057	0	0.07
309.STTG Katsayıları	0.91	0.058	0	0.093
310.STTG Katsayıları	0.984	0.231	0	0
311.STTG Katsayıları	1.113	0.072	0	0
312.STTG Katsayıları	1.462	0.166	0	0.068
313.STTG Katsayıları	1.308	0.141	0	0.045
314.STTG Katsayıları	1.038	0.073	0	0.239
315.STTG Katsayıları	1.158	0.08	0	0.172
316.STTG Katsayıları	1.346	0.135	0	0.115
317.STTG Katsayıları	0.716	-0.005	0	0.209
318.STTG Katsayıları	1.884	0.111	0	0.145
319.STTG Katsayıları	1.570	-0.033	0	0.237
320.STTG Katsayıları	1.302	-0.012	0	0.169
321.STTG Katsayıları	0.959	0.181	0	0
322.STTG Katsayıları	0.927	0.054	0	0
323.STTG Katsayıları	1.131	0.041	0	0.19
324.STTG Katsayıları	1.136	0.084	0	0.113
325.STTG Katsayıları	1.606	-0.015	0	0.244
326.STTG Katsayıları	1.367	-0.007	0	0.228
327.STTG Katsayıları	1.344	0	0	-0.162

328.STTG Katsayıları	0.967	0	0	-0.232
329.STTG Katsayıları	1.009	0.008	0	0.195
330.STTG Katsayıları	0.943	0.229	0	-0.108
331.STTG Katsayıları	1.375	-0.124	0	0.307
332.STTG Katsayıları	0.337	0	0.337	0
333.STTG Katsayıları	0.939	0.024	0	0
334.STTG Katsayıları	0.97	0.032	0	0



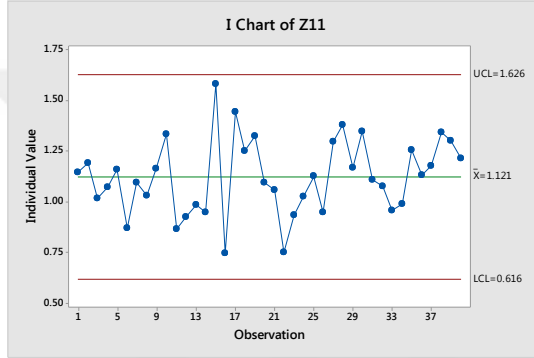
Ek-14:STTG Katsayılarının I Kontrol Grafiği Faz I Aşaması

Z_{11}



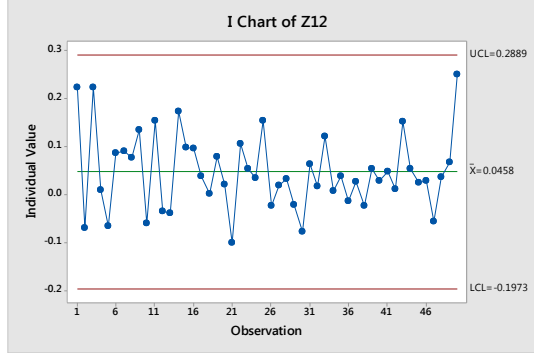
Kontrol dışı sinyaller:1,4,5,17,28-31

Kontrol dışı sinyaller:31,42



Süreç kontrol altında

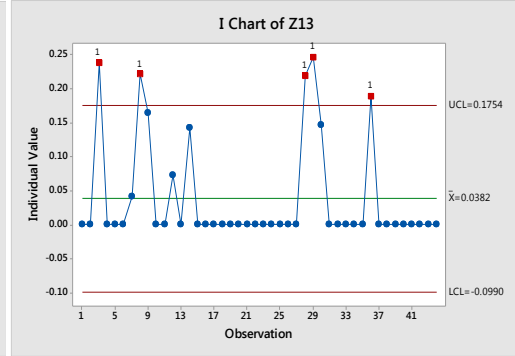
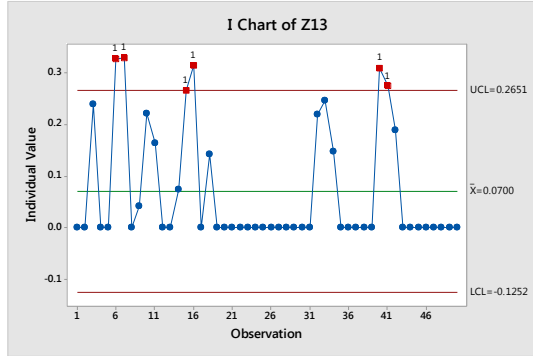
Z_{12}



Süreç kontrol altında

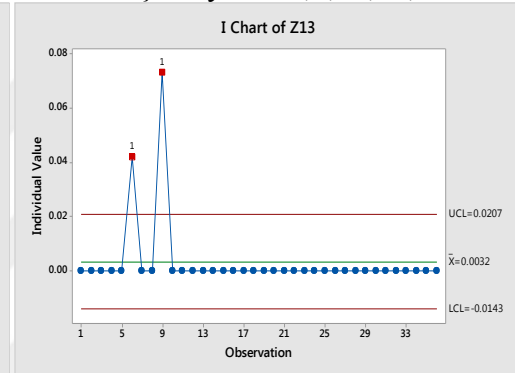
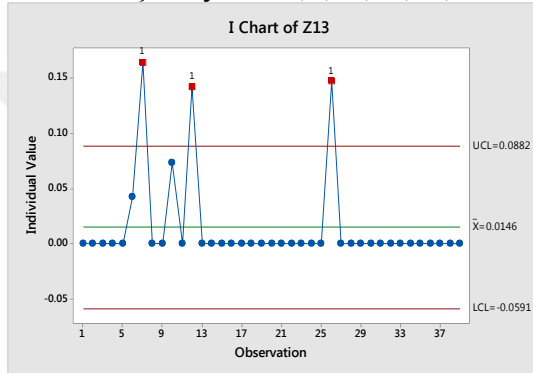
Ek-14:STTG Katsayılarının *I* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

Z_{13}



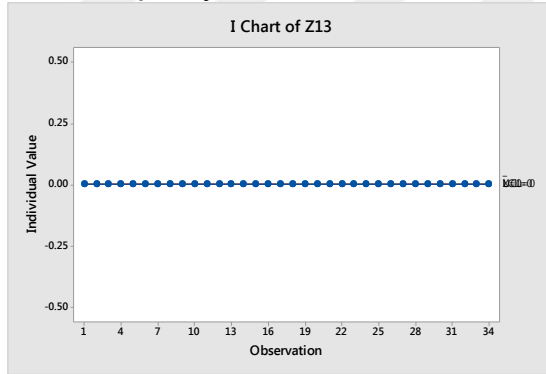
Kontrol dışı sinyaller:6,7,15,16,40,41

Kontrol dışı sinyaller:3,8,28,29,36



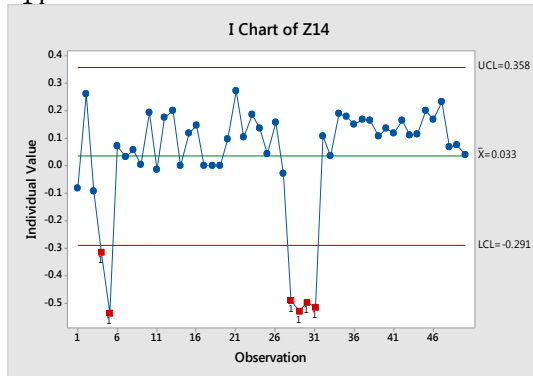
Kontrol dışı sinyaller:7,12,26

Kontrol dışı sinyaller:6,9

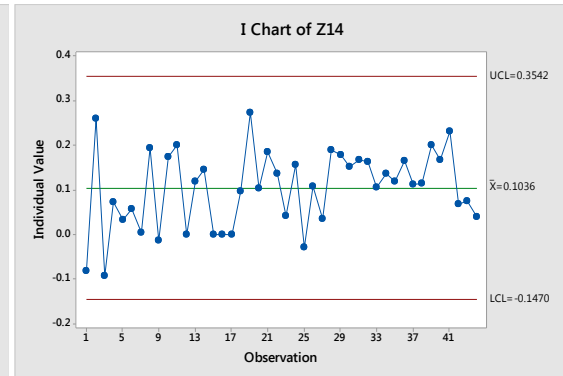


Süreç kontrol altında

Z_{14}



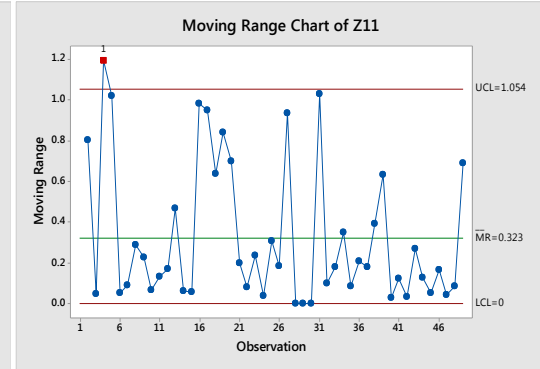
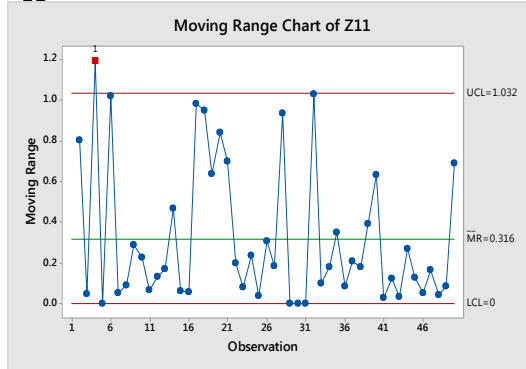
Kontrol dışı sinyaller:4,5,28-31



Süreç kontrol altında

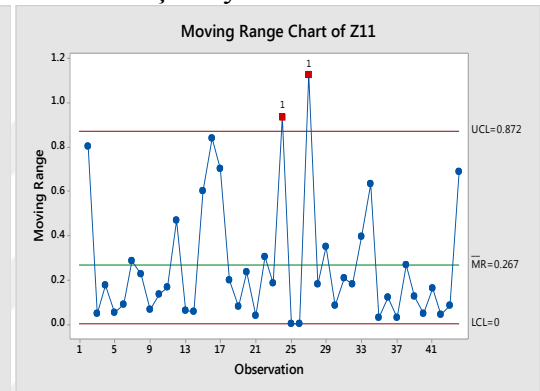
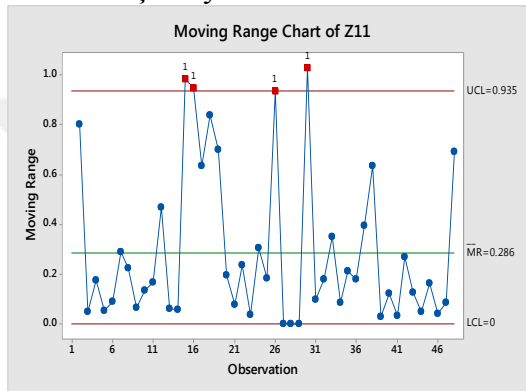
Ek-15:STTG Katsayılarının *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması

Z_{11}



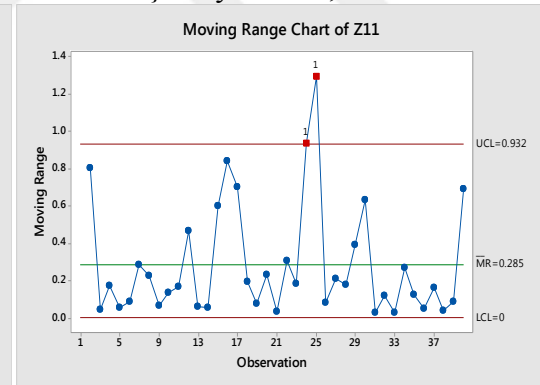
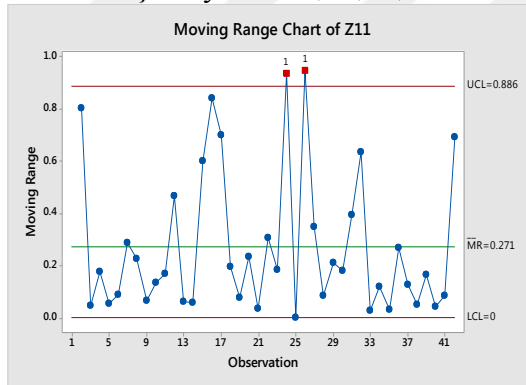
Kontrol dışı sinyaller:4

Kontrol dışı sinyaller:4



Kontrol dışı sinyaller:15,16,26,30

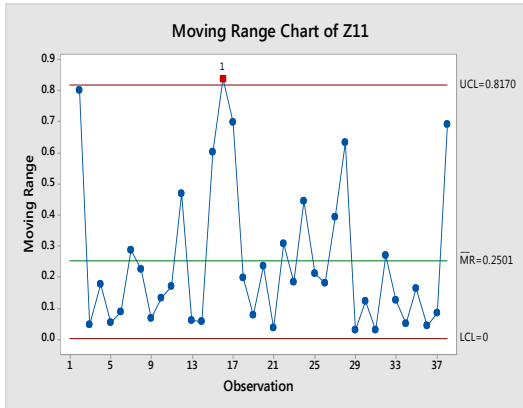
Kontrol dışı sinyaller:24,27



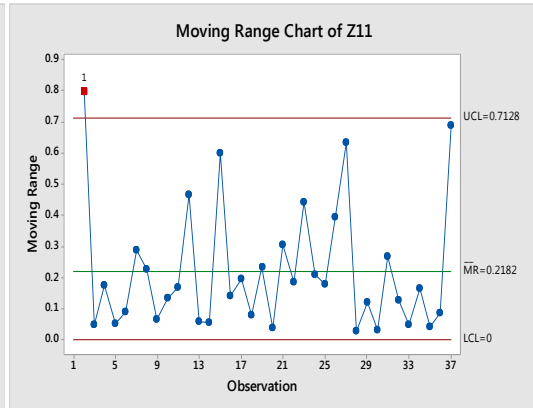
Kontrol dışı sinyaller:24,26

Kontrol dışı sinyaller:24,25

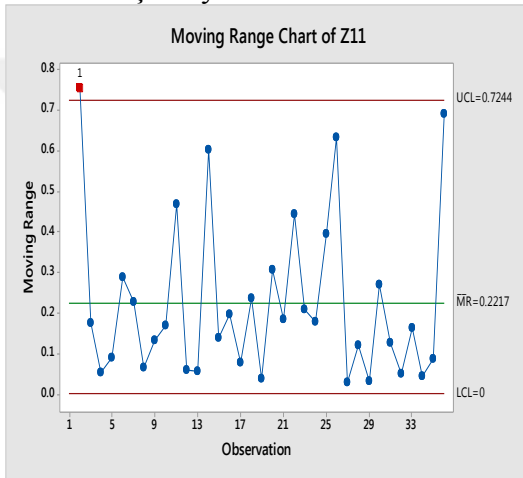
Ek-15:STTG Katsayılarının *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)



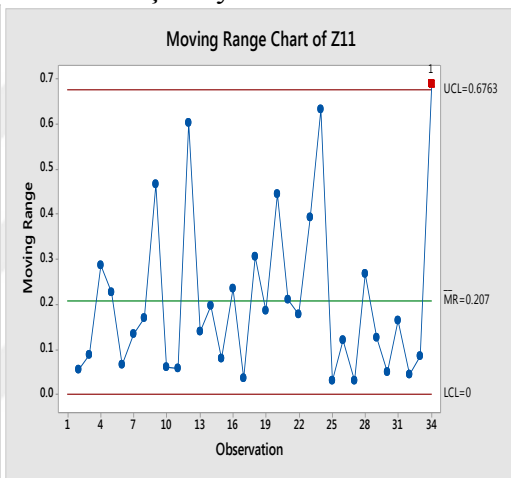
Kontrol dışı sinyaller:16



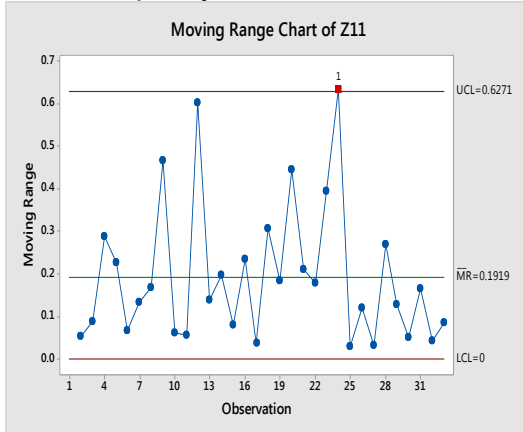
Kontrol dışı sinyaller:2



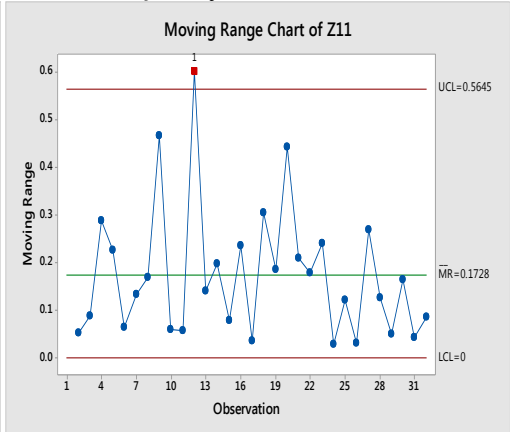
Kontrol dışı sinyaller:2



Kontrol dışı sinyaller:34

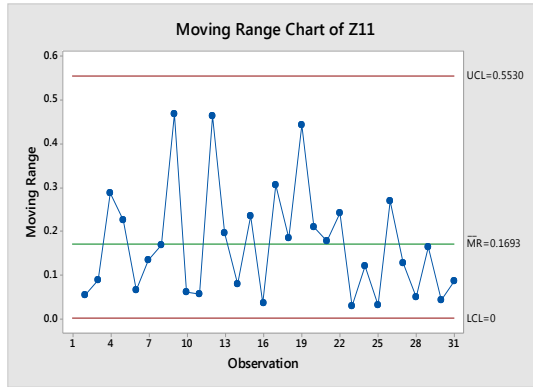


Kontrol dışı sinyaller:24



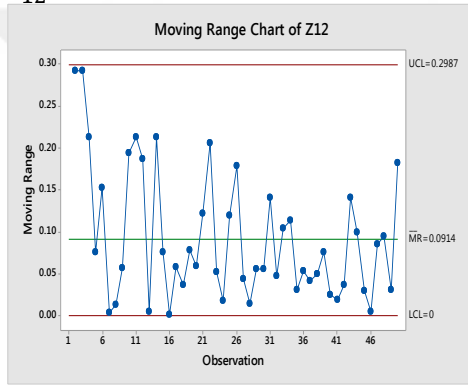
Kontrol dışı sinyaller:12

Ek-15:STTG Katsayılarının *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

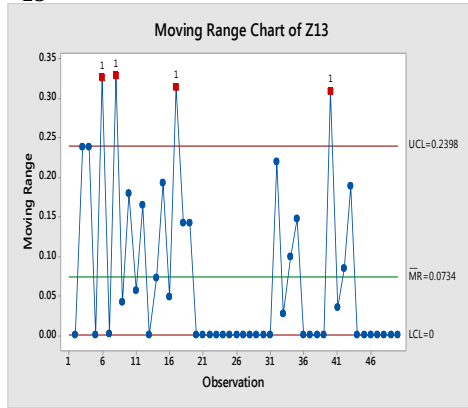


Süreç kontrol altında

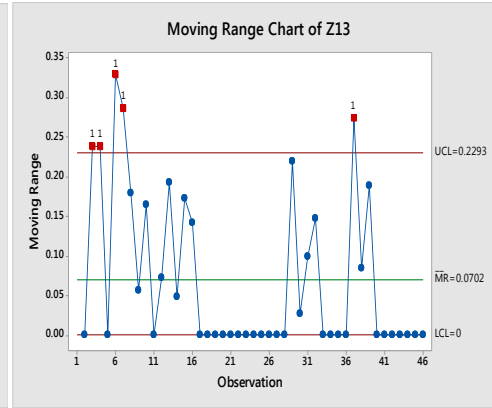
Z₁₂



Z₁₃

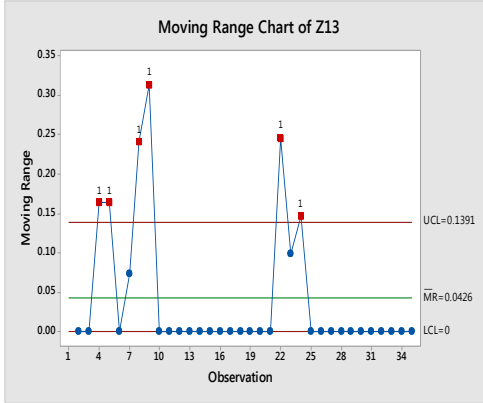
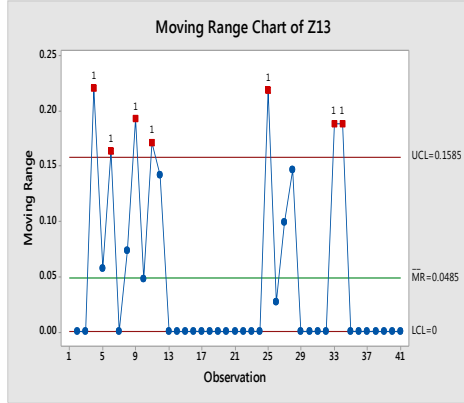


Kontrol dışı sinyaller:6,8,17,40

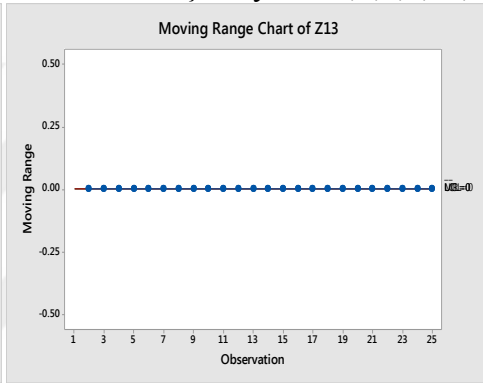
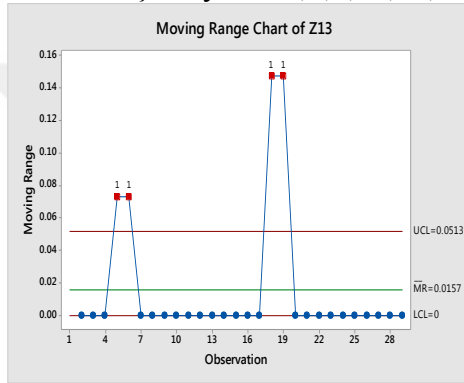


Kontrol dışı sinyaller:3,4,6,7,37

Ek-15:STTG Katsayılarının *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)



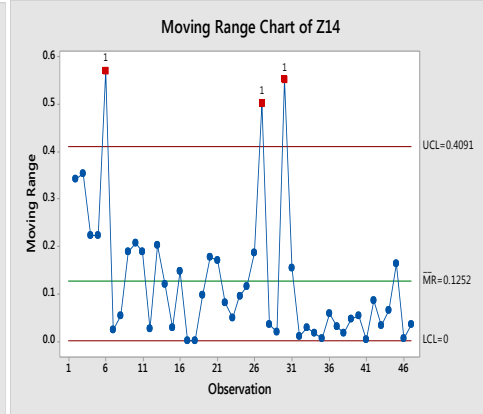
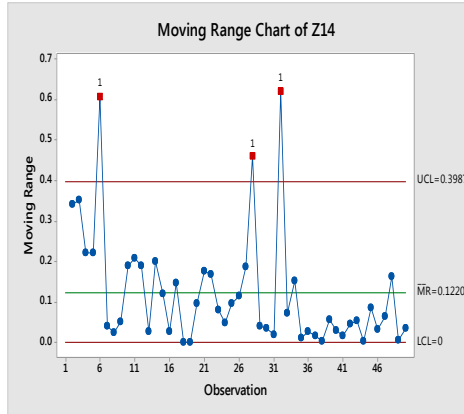
Kontrol dışı sinyaller:4,6,9,11,25,33,34 Kontrol dışı sinyaller:4,5,8,9,22,24



Kontrol dışı sinyaller:5,6,18,19

Süreç kontrol altında

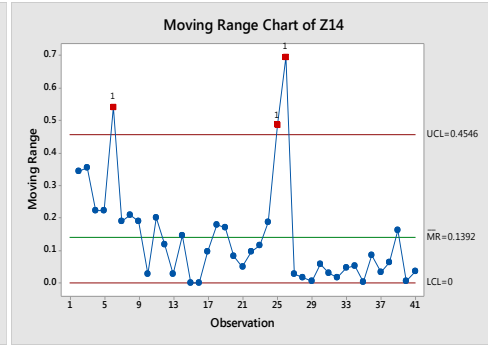
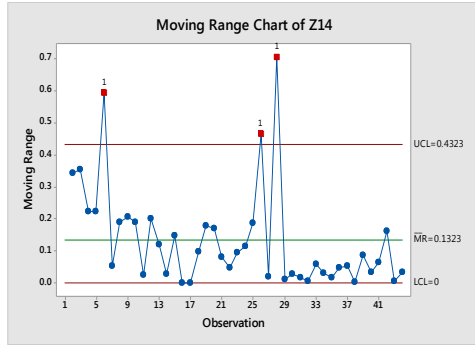
Z_{14}



Kontrol dışı sinyaller:6,28,32

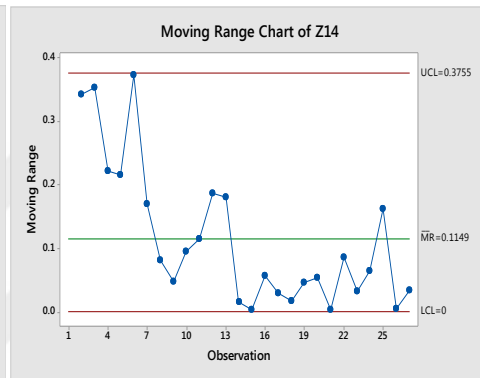
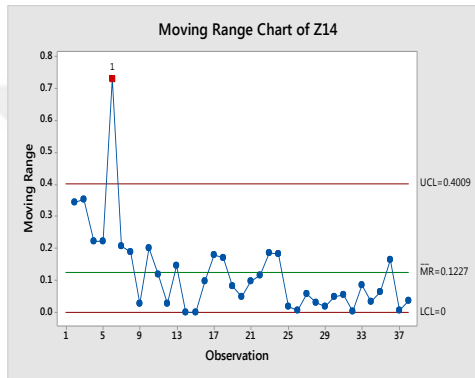
Kontrol dışı sinyaller:6,27,30

Ek-15:STTG Katsayılarının *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)



Kontrol dışı sinyaller:6,26,28

Kontrol dışı sinyaller:6,25,26

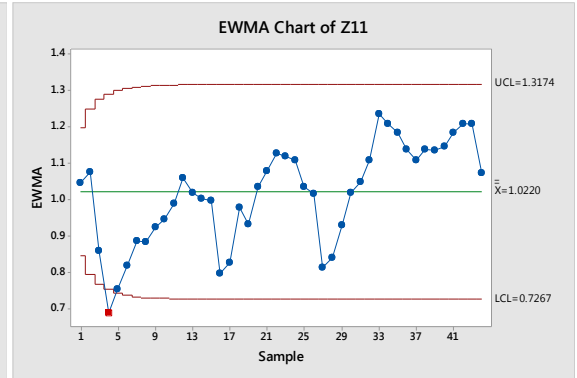
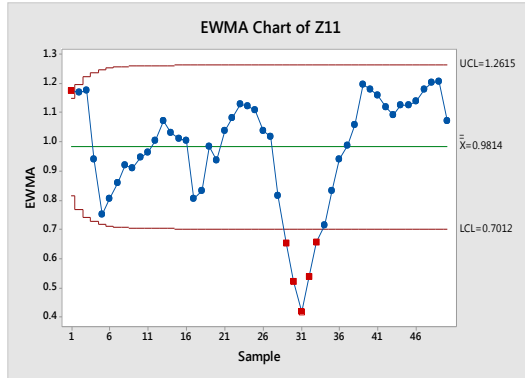


Kontrol dışı sinyaller:6

Süreç kontrol altında

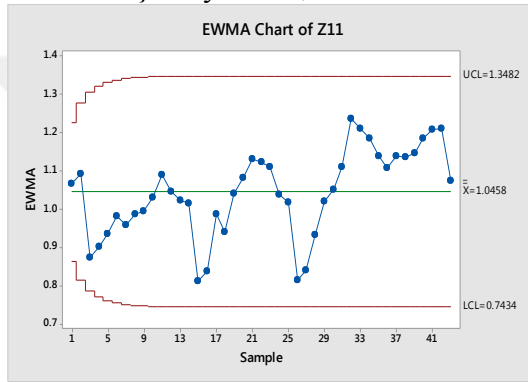
Ek-16:STTG Katsayılarının EWMA Kontrol Grafiği Faz I Aşaması

Z_{11}



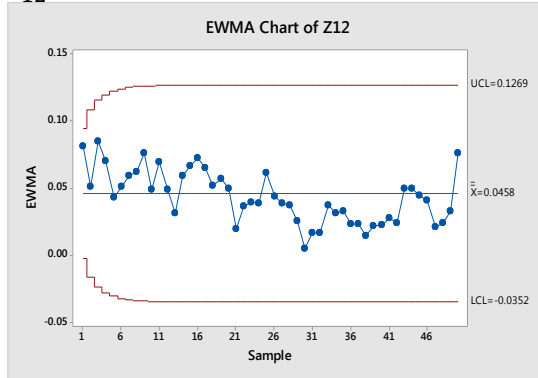
Kontrol dışı sinyaller: 1,29-33

Kontrol dışı sinyaller: 4



Süreç kontrol altında

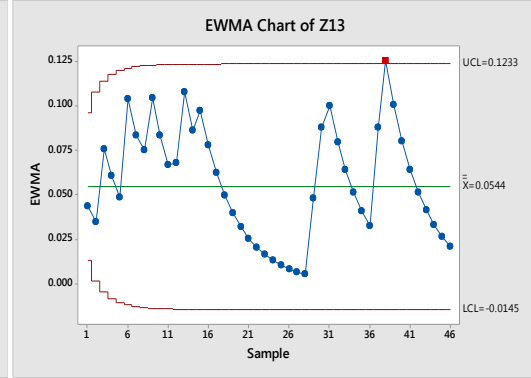
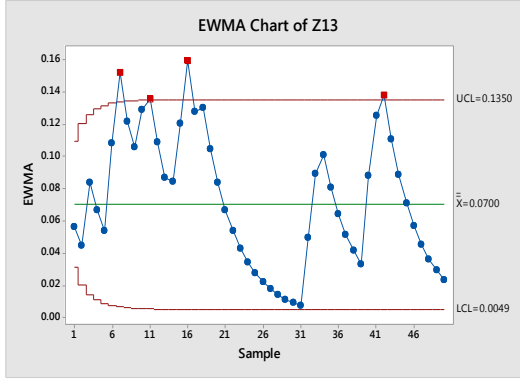
Z_{12}



Süreç kontrol altında

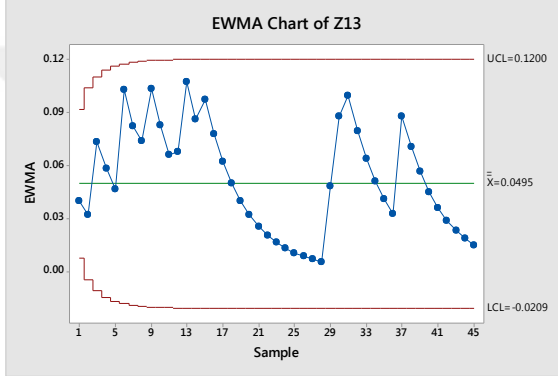
Ek-16:STTG Katsayılarının EWMA Kontrol Grafiği Faz I Aşaması (Devamı)

Z_{13}



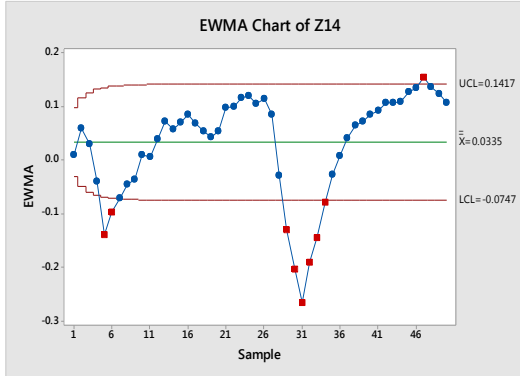
Kontrol dışı sinyaller:7,11,16,42

Kontrol dışı sinyaller:38

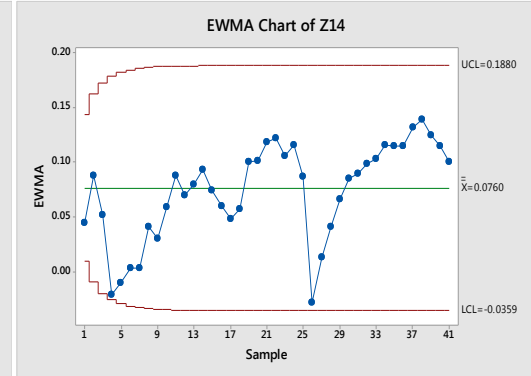


Süreç kontrol altında

Z_{14}

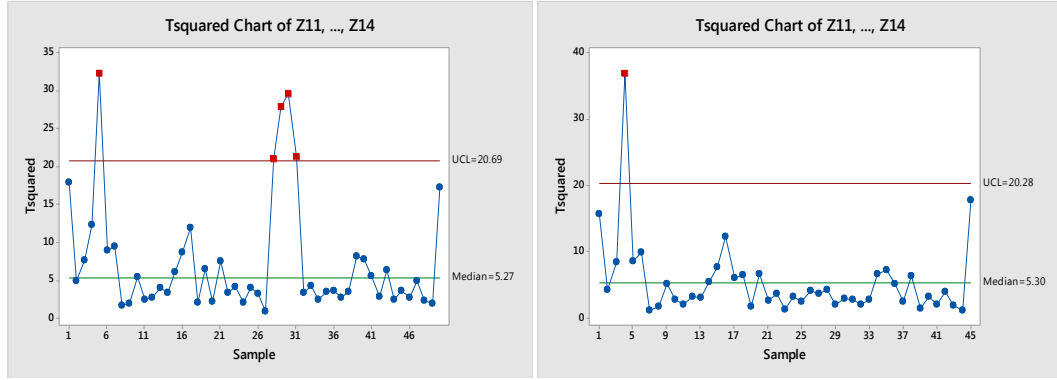


Kontrol dışı sinyaller:5,6,29-34,47



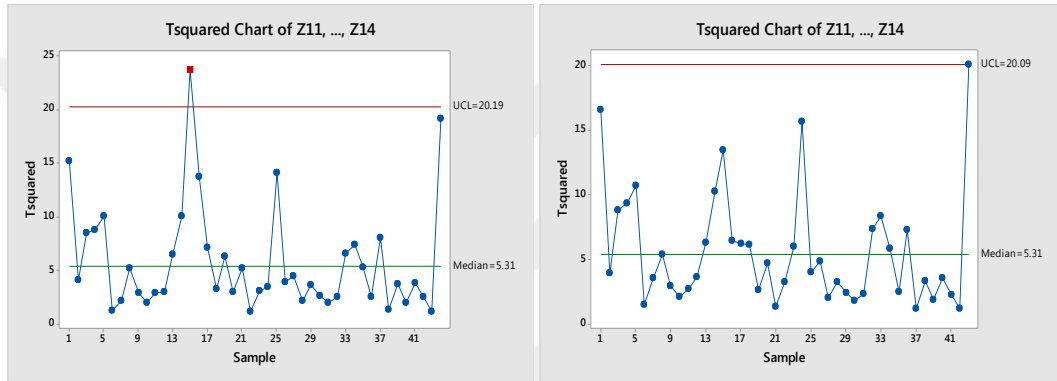
Süreç kontrol altında

Ek-17:STTG Katsayılarının Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması



Kontrol dışı sinyaller: **5,28-31**

Kontrol dışı sinyaller: **4**



Kontrol dışı sinyaller: **15**

Süreç kontrol altında

Ek 18:Örüntülerin Oluşturulması İçin R Dilinde Yazılan Programlar

Normal

```
w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,-
0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-
0.00178,0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
Tkaretop=0
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
Tkarenorm= (t(t(Z))-t(t(Zort)))*%solve(Zkov))*%*(t(t(Z))-t(t(Zort)))
Tkaretop=cbind(Tkaretop,Tkarenorm)}
w=cbind(w,round(Tkaretop[-1],2))}
w
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni1.csv")
plot.ts(w[,2])
```

Aşağı Trend:

```
w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,
-0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-0.00178,
0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
Tkaretop=0
r=runif(1,-0.5,-0.4)
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
Tkarenorm= (t(t(Z))-t(t(Zort)))*%solve(Zkov))*%*(t(t(Z))-t(t(Zort)))
Tkareasagitrend= Tkarenorm+(r*i)
Tkaretop=cbind(Tkaretop,Tkareasagitrend)}
w=cbind(w, round(Tkaretop[-1],2))}
w
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni2.csv")
plot.ts(w[,2])
```

Yukarı Trend:

```
w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,
-0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-0.00178,
0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
Tkaretop=0
r=runif(1,0.4,0.5)
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
```

Ek 18:Örüntülerin Oluşturulması İçin R Dilinde Yazılan Programlar (Devamı)

```

Tkarenorm= (t(t(t(Z))-t(t(Zort))))%*%solve(Zkov))%*%(t(t(Z))-t(t(Zort)))
Tkareyukarıtrend= Tkarenorm+(r*i)
Tkaretop=cbind(Tkaretop,Tkareyukarıtrend)}
w=cbind(w, round(Tkaretop[-1],2))}
w
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni3.csv")
plot.ts(w[,2])

```

Aşağı Kayma:

```

w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,
-0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-0.00178,
0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
u=1
KaymaMiktari=runif(1,2,3)
SS=0.670
Tkaretop=0
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
if(i>17)
TkarenormAşagıkayma=(t(t(t(Z))-t(t(Zort))))%*%solve(Zkov))%*%(t(t(Z))-t(t(Zort)))-
(u* KaymaMiktari*SS)
else
TkarenormAşagıkayma=((t(t(t(Z))-t(t(Zort))))%*%solve(Zkov))%*%(t(t(Z))-t(t(Zort))))
Tkaretop=cbind(Tkaretop,TkarenormAşagıkayma)}
w=cbind(w, round(Tkaretop[-1],2))}
w
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni4.csv")
plot.ts(w[,2])

```

Yukarı Kayma:

```

w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,
-0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-0.00178,
0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
u=1
KaymaMiktari=runif(1,2,3)
SS=0.670
Tkaretop=0
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
if(i>17)

```

Ek 18:Örüntülerin Oluşturulması İçin R Dilinde Yazılan Programlar (Devamı)

```
TkarenormYukarıkayma=(t(t(t(Z)))-t(t(Zort)))*%solve(Zkov))*%t(t(Z))-
t(t(Zort)))+(u* KaymaMiktarı*SS)
else
TkarenormYukarıkayma=((t(t(t(Z)))-t(t(Zort)))*%solve(Zkov))*%t(t(Z))-
t(t(Zort)))
Tkaretop=cbind(Tkaretop,TkarenormYukarıkayma)}
w=cbind(w, round(Tkaretop[-1],2))}
w
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni5.csv")
plot.ts(w[,2])
```

Tekrarlayan Çevrim (Cyclic):

```
w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,
-0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-0.00178,
0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
Tkaretop=0
k=runif(1,5,5.02)
p=0.09
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
Tkarenorm= (t(t(t(Z)))-t(t(Zort)))*%solve(Zkov))*%t(t(Z))-t(t(Zort))
Tkaretekrar= Tkarenorm+(k*sin((2*pi*i)/p))
Tkaretop=cbind(Tkaretop,Tkaretekrar)}
w=cbind(w, round(Tkaretop[-1],2))}
w
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni6.csv")
plot.ts(w[,2])
```

Sistematik (Systematic):

```
w=0
for(j in 1:500){
Zkov=matrix(c(0.065082,-0.0026,-0.00864,0.001087,-0.0026,0.006472,0.001508,
-0.00538,-0.00864,0.001508,0.014158,-0.00178,0.001087,-0.00538,-0.00178,
0.007507),4,4)
Zort=c(1.141,0.0539,0.0813,0.106)
Tkaretop=0
alfa=runif(1,6,7)
for(i in 1:35){
Z=mvnrm(1,Zort,Zkov)
Tkarenorm= (t(t(t(Z)))-t(t(Zort)))*%solve(Zkov))*%t(t(Z))-t(t(Zort))
Tkaremix= Tkarenorm+(alfa*(-1)^i)
Tkaretop=cbind(Tkaretop,Tkaremix)}
w=cbind(w, round(Tkaretop[-1],2))}
```

Ek 18:Örüntülerin Oluşturulması İçin R Dilinde Yazılan Programlar (Devamı)

```
w  
write.csv(w,"F:/TEZİM/örüntüverileri/yepyeni7.csv")  
plot.ts(w[,2])
```



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kenan ORÇANLI
Doğum Yeri ve Tarihi	Eskişehir 03 Mart 1973
Eğitim Durumu	
Lisans	Kara Harp Okulu/Sistem Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi	Atatürk Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü/İşletme
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce, Almanca
Bilimsel Faaliyetleri	Aşağıda yer almaktadır.
İş Deneyimi	
Stajlar	Yoktur.
Projeler	Yoktur.
Çalıştığı Kurumlar	Türk Silahlı Kuvvetleri
İletişim	
E-Posta Adresi	kenanorcanli@gmail.com
Tarih	27 Ekim 2017

03 Mart 1973 yılında Eskişehir'de doğdum. İlkokulu, Eskişehir'de Reşat Benli İlkokulu'nda 1984 yılında; ortaokulu, Eskişehir'de Osmangazi Ortaokulu'nda 1987 yılında; liseyi, İstanbul'da Kuleli Askeri Lisesi'nde 1991 yılında; üniversiteyi, Ankara'da Kara Harp Okulu'nda 1995 yılında bitirdim ve subay oldum. 1995 ile 2017 yılları arasında Türk Silahlı Kuvvetleri'nin çeşitli komuta kademelerinde görev yaptım. Halen bulunduğum göreve devam etmekteyim.

Uluslararası SCI Kapsamında Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Orçanlı, K., Oktay, E. and Birgören, B. (2017), “The Application of the Process Oriented Basis Representation in Casting Industry”, The European Journal of Industrial Engineering, **değerlendirmede.**

Ulusal Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Özdemir, A. ve **Orçanlı, K. (2012).** İki Aşamalı Kümeleme Algoritması ile Pazar Bölümlemesi, Müşteri Profillerinin Belirlenmesi ve Niş Pazarların Tespiti. Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (5/3), 1-27

Orçanlı, K. ve Özdemir, A. (2013). Kredi Kartı Seçimine Yönelik Bir Karar Modeli ve Uygulama: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)-ELECTRE Yöntemi, Çankırı

Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, 77-106.

Özen, U. ve **Orçanlı, K. (2013).** Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden *AHP* ve *TOPSIS*'in E-Kitap Okuyucu Seçiminde Uygulanması. Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15, 282-311.

Oktaç, E. ve **Orçanlı, K. (2014).** Atatürk Üniversitesinde İnternet Bankacılığının Kullanımını Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi, Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, S.7(2), 57-91.

Orçanlı, K., Oktaç, E. ve Birgören, B. **(2015)** Çok Değişkenli Kontrol Kartları Örüntü Tanıma Literatüründe Bir Araştırma, Social Sciences Research Journal, 4(2), 23-42.

Orçanlı, H.B. ve **Orçanlı, K. (2016).** Bilgisayar Destekli Geometri Öğretiminin 7. Sınıf Öğrencilerinin Geometri Başarısına ve Geometri Özyeterlik Algısına Etkisi.(*Parametrik Testler*) Social Sciences Research Journal, Volume 5, Issue 1, 80-97

Orçanlı, H.B. ve **Orçanlı, K. (2016).** Bilgisayar Destekli Geometri Öğretimi Hakkında Öğrenci Görüşlerinin Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt: 25 / Sayı: 3

Orçanlı, H.B., **Orçanlı, K.** ve Birgören, B. **(2016).** Bilgisayar Destekli Geometri Öğretiminin 7. Sınıf Öğrencilerinin Geometri Başarısına ve Geometri Özyeterlik Algısına Etkisi.(*Parametrik Olamayan Testler*), Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Sayı 18, 1-3, DOI:10.9775/kausbed.2016.000

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2017), Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri Yönteminde Hata Teriminde Kovaryansın Etkileri, Social Sciences Research Journal, 6(2), 20-40.

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2017), Döküm Sanayisinde Metal Alaşım Oranlarına Hotelling T^2 ve MEWMA Kontrol Grafikleri Uygulamaları, İstanbul Üniversitesi İktisadi İşletme Enstitüsü Yönetim Dergisi, değerlendirmede.

Uluslararası Bilimsel Sempozyum ve Kongrelerde Sunulan Bildiriler

Orçanlı, K. (2014) Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Promethee Yöntemi ile Antivirüs Programı Seçimi. 15th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics Abstracts Book, 10, Isparta, Turkey, May 22-24, 2014

Orçanlı, K. (2014) Parametrik Olmayan Çok Değişkenli Kontrol Kartı. 15th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics Abstracts Book, 181, Isparta, Turkey, May 22-24, 2014

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2015) A Survey of Multivariate Control Chart Pattern-Recognition Literature (2010–2015)”, XVIth International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics Abstracts Book, XVIth International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics Abstracts Book, 520-521, Trakya University, Edirne.

Orçanlı, K., ve Birgören, B. (2016) Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri İle Döküm Sanayisinde Bir Proses Kontrol Uygulaması 17th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics Özetler Kitabı, Tam metin, 355-359, 2-4 June 2016, Sivas, TURKEY.

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2016), Döküm Sanayisinde Metal Alaşım Oranlarına Hotelling T^2 ve MEWMA Kontrol Grafikleri Uygulamaları, Uluslararası Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Tam Metinler Kitabı, 12-14 Ekim, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2017), Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Örüntü Tanıma, Savunma Sanayisi Sempozyumu, 06-08 Nisan, Özetler Kitabı, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Orçanlı, K., Oktay E. and Birgören, B. (2017), The Applied and Practical Approach to the Process Oriented Basis Representation, Global Joint Conference on Industrial Engineering and its Application Areas-2017, Abstracts Book, İstanbul Technical University, Viyana.

Ulusal Bilimsel Sempozyum ve Kongrelerde Sunulan Bildiriler

Orçanlı, K., Birgören, B. ve Oktay, E. Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri için Çok Değişkenli İPK Çizelgelerinde MEWMA Uygulamaları, 35. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 9-12 Eylül 2015, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. Yapay Sinir Ağları ile Çok Değişkenli İstatistik Kontrol Kartlarında Örüntü Tanıma, 2. Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, 9-10 Ekim 2015, Erzurum

Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. Çok Değişkenli Kalite Kontrolünde Süreç Tabanlı Temel Gösterimlerinde Hata Teriminde Kovaryansın Etkileri, 36. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 13-15 Temmuz 2016, Yaşar Üniversitesi, İzmir.