

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİP-2 BULANIK KÜME YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE NİCEL
KONTROL DİYAGRAMLARININ TASARIMI VE BİR UYGULAMA**

Ataullah TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. İhsan KAYA

Mayıs, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİP-2 BULANIK KÜME YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE NİCEL
KONTROL DİYAGRAMLARININ TASARIMI VE BİR UYGULAMA**

Ataullah TURGUT tarafından hazırlanan tez çalışması 20.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İhsan KAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İhsan KAYA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Abit BALIN, Üye
İstanbul Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. İhsan KAYA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Tip-2 Bulanık Küme Yaklaşımı Çerçevesinde Nicel Kontrol Diyagramlarının Tasarımı ve Bir Uygulama başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ataullah TURGUT

İmza

Karşılıksız sevgi ve fedakarlığın simgesi Anneme



TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kalite kontrol süreçlerde ölçüm yapan operatör, ölçü aleti ve ölçüm metotlarından kaynaklanabilecek hataları en iyi şekilde temsil edebilmek için tip-2 yamuk bulanık sayılar kullanılarak bulanık nicel kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Geliştirilen diyagramlar, elektronik cihaz imalatı yapan bir firmada uygulanarak klasik ve bulanık kontrol diyagramları arasındaki benzerlikler ve farklılıklar gösterilmiştir.

Tez çalışmam boyunca bana danışmanlık ederek en iyi şekilde yönlendiren Sayın Prof. Dr. İhsan KAYA' ya, manevi kardeşim Yunus Emre SAADCI' ya, lisans eğitiminde ve iş hayatımda bana her türlü desteği sağlayan Sayın Yard. Doç. Dr. Eyüp ÇALIK' a, çalışma hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan Sayın Mehmet Özen' e ve hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim. Bu çalışma aynı zamanda TÜBİTAK tarafından 119K408 numaralı "Yeni Bulanık Mantık Yaklaşımlarının İstatistiksel Kalite Kontrol Üzerine Etkileri" isimli proje kapsamında desteklenmiştir.

Ataullah TURGUT

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	11
KISALTMA LİSTESİ	12
ŞEKİL LİSTESİ	14
TABLO LİSTESİ.....	17
ÖZET	18
ABSTRACT	20
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
2 Kalite Kavramı	4
2.1 Kalite	4
2.2 Kalitenin Tarihsel Gelişimi	4
2.3 Kalitenin Boyutları.....	8
2.4 Kalite Maliyetleri.....	8
2.5 Kalite Kontrol.....	10
2.6 Toplam Kalite Yönetimi	12
2.7 İstatistiksel Kalite Kontrol	12
2.7.1 İstatistiksel Kalite Kontrol Teknikleri.....	13
2.7.1.1 Akış Diyagramları.....	13
2.7.1.2 Çetele Diyagramı.....	14
2.7.1.3 Sebep-Sonuç Diyagramı	14

2.7.1.4	Histogram.....	15
2.7.1.5	Pareto Analizi.....	16
2.7.1.6	Dağılma (Saçılma) Diyagramı.....	17
2.8	Kontrol Diyagramları.....	17
2.8.1	Kontrol Diyagramları Oluşturma Adımları.....	20
2.8.2	Kontrol Diyagramlarında Özel Durumlar	21
2.9	Kontrol Diyagramı Çeşitleri	23
2.9.1	Nicel Kontrol Diyagramları	25
2.9.1.1	Ortalama ve Aralık Kontrol Diyagramları ($\bar{x} - R$)	25
2.9.1.2	Ortalama Ve Standart Sapma Kontrol Diyagramları ($\bar{x} - s$)	28
2.9.1.3	Bireysel Gözlem Değerleri Ve Hareketli Aralık Kontrol Diyagramları (I-MR)	29
2.9.2	Nitel Kontrol Diyagramları.....	30
2.9.2.1	Kusurlu Oranı Kontrol Diyagramı (p).....	31
2.9.2.2	Kusurlu Sayısı Kontrol Diyagramı (np).....	31
2.9.2.3	Kusur Sayısı Kontrol Diyagramı (c).....	32
2.9.2.4	Birim Başına Kusur Sayısı Kontrol Diyagramı (u).....	32
2.9.3	Diğer Kontrol Diyagramları	33
2.9.3.1	EWMA Kontrol Diyagramı	33
2.9.3.2	CUSUM Kontrol Diyagramı	35
3	Bulanık Mantık.....	38
3.1	Bulanık Mantık.....	38
3.2	Bulanık Mantık Çalışma Prensipleri.....	40
3.3	Bulanık Mantığın Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları.....	41
3.4	Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları	43
3.5	Klasik Bulanık Kümeler	44

3.5.1	Tip-1 Bulanık Küme Özellikleri	44
3.5.1.1	Aralık Tipi Bulanık Sayılar	46
3.5.1.2	Alfa Kesim Durumunda Aritmetik İşlemler	47
3.5.2	Tip-1 Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları.....	48
3.5.2.1	Üçgensel Üyelik Fonksiyonları.....	48
3.5.2.2	Yamuk Üyelik Fonksiyonu	49
3.5.2.3	LR Tipi Bulanık Sayılar	51
3.5.2.4	Gauss Üyelik Fonksiyonu	52
3.5.2.5	Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu	53
3.5.2.6	S Şekli Üyelik Fonksiyonu.....	54
3.5.3	Tip-1 Bulanık Kümeler İçin Matematiksel İşlemler.....	54
3.5.3.1	Kesişim İşlemi.....	55
3.5.3.2	Birleşim İşlemi.....	57
3.5.3.3	Tümleme İşlemi	58
3.5.3.4	De Morgan Kanunu	58
3.5.3.5	Tip-1 Bulanık Kümenin İşlemler Açısından Klasik Kümelerden Farkı.....	59
3.5.4	Tip-1 Bulanık Kümelerde Durulaştırma.....	60
3.5.4.1	En Büyük Üyelik İlkesi (Max-Membership Principle).....	60
3.5.4.2	Ağırlık Merkezi Yöntemi (Center of Area Method)	61
3.5.4.3	Ağırlıklı Ortalama Yöntemi (Weighted Average Method/ Mean of Maxima Method).....	62
3.5.4.4	Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi (Center of Maxima Method)	62
3.5.4.5	Toplamların Merkezi Yöntemi (Center of Sums)	63
3.5.4.6	En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi (Center of Largest Area).....	64

3.5.4.7	En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi Yöntemi (First or Last of Maxima	64
4	Diğer Bulanık Küme Yaklaşımları	66
4.1	Sezgisel Bulanık Kümeler.....	66
4.1.1	Sezgisel Bulanık Kümelerde İşlemler.....	68
4.1.2	Sezgisel Bulanık Sayı Türleri	68
4.1.2.1	Üçgen Sezgisel Bulanık Sayılar.....	68
4.1.2.2	Yamuk Sezgisel Bulanık Sayılar	71
4.2	Kararsız Bulanık Kümeler.....	73
4.2.1	Kararsız Bulanık Sayı Türleri	75
4.2.1.1	Kararsız Üçgensel Bulanık Sayılar	75
4.2.1.2	Kararsız Yamuk Bulanık Sayılar	76
4.3	Tip-2 Bulanık Kümeler.....	77
4.3.1	Tip-2 Bulanık Sayı Türleri	79
4.3.1.1	Tip-2 Üçgensel Bulanık Sayı.....	79
4.3.1.2	Tip-2 Yamuk Bulanık Sayı.....	81
4.3.2	Tip-2 Bulanık Kümelerde Tip İndirgeme ve Durulaştırma.....	84
4.3.2.1	Tip-2 Bulanık Kümelerde Tip İndirgeme	85
4.3.2.2	Tip-2 Bulanık Kümelerde Durulaştırma.....	88
4.4	Tez Kapsamı ve Tip-2 Bulanık Kümeler	91
5	Literatür Araştırması	93
6	Önerilen Metodoloji.....	107
6.1	Tip-2 Bulanık Sayılarla $\tilde{\bar{X}} - \tilde{\bar{R}}$ Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi.....	107
6.1.1	$\tilde{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	107
6.1.2	$\tilde{\bar{R}}$ Kontrol Diyagramı	110

6.2	Tip-2 Bulanık Sayılarla $\tilde{\bar{X}} - \tilde{\bar{S}}$ Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi.....	112
6.2.1	$\tilde{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	112
6.2.2	$\tilde{\bar{S}}$ Kontrol Diyagramı.....	114
6.3	Tip-2 Bulanık Sayılarla $\tilde{\bar{I}} - \widetilde{\bar{MR}}$ Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi....	115
6.3.1	$\widetilde{\bar{MR}}$ Kontrol Diyagramı.....	115
6.3.2	$\tilde{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	118
6.4	Durulaştırma Yöntemi.....	118
7	Uygulama	120
7.1	Firma Tanıtımı.....	120
7.2	Uygulamanın Amacı	120
7.3	$\bar{X} - R$ Kontrol Diyagramları için Örnek Uygulama.....	123
7.4	$\bar{X} - S$ Kontrol Diyagramları için Örnek Uygulama.....	138
7.5	I-MR Kontrol Diyagramları için Örnek Uygulama	149
8	Sonuç ve Öneriler	161
A	Kontrol Diyagramı Sabitleri Tablosu.....	164
B	X-R ve X-S Kontrol Diyagramları için Ölçüm Değerleri	165
	Kaynakça.....	173
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	190

SİMGE LİSTESİ

i	Gözlem değeri
k	Kontrol Limitleri Arasındaki Mesafe
m	Örneklem Sayısı
n	Örneklem Hacmi
np	Toplam Kusurlu Sayısı
p	Kusurlu Oranı
R	Değişim Aralığı
$\bar{R}$	Değişim Aralığı Ortalaması
s	Örnek Standart Sapması
u	Birim Başına Kusur Sayısı
μ	Ana Yığın Ortalaması
$\mu(x)$	Bulanık küme üyelik fonksiyonu
$\bar{x}$	Örnek ortalaması
β	II. Tip hata
α	I. Tip hata
σ	Standart sapma

KISALTMA LİSTESİ

ABC	Always Better Control
ARL	Ortalama Çalışma Uzunluğu
ASQC	The American Society for Quality Control
ASU	Arbitrary Sinyal Unit
BNP	En İyi Gerçek Olmayan Sayı
CL	Kontrol diyagramlarının merkez çizgisi
CUSUM	Kümülatif Toplam
DBY	Doğrudan Bulanık Yaklaşım
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EWMA	Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama
FOC	Bulanık İşlem Karakteristiği
FOU	Belirsizliğin Ayak İzi
GTrIFNg	Genelleştirilmiş Sezgisel Bulanık Yamuk Sayı
ISO	The International Standards Organization
İKK	İstatiksel Kalite Kontrol
JIS	Japon Sanayi Standartları Komitesi-
LCL	Kontrol Diyagramının Alt Kontrol Limiti
MR	Hareketli Değişim Aralığı
NCQP	National Council for Quality and Productivity
OSOS	Otomatik Sayaç İzleme Sistemi
PA	Alan yüzdesi
PCB	Elektronik Devre Kartı
TKY	Toplam Kalite Yönetimi

UCL	Kontrol Diyagramının Alt Kontrol Limiti
ÜBS	Üçgensel Bulanık Sayı
YBS	Yamuk Bulanık Sayı
WIVPM	Aralıklı Aralık Değerli Olasılıksal Ortalama
WPM	Ağırlıklı Olasılıksal Ortalama



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1 Kalite Maliyetleri	10
Şekil 2-2 Kalite Kontrol Gelişim Süreci.....	11
Şekil 2-3 Akış Diyagramı Örneği	13
Şekil 2-4 Neden-Sonuç (Balık Kılçığı) Diyagramı	15
Şekil 2-5 İlgili Örneğin Histogram ile Gösterilmesi	16
Şekil 2-6 ABC Analizi Eğrisi.....	17
Şekil 2-7 Genel Nedenlerden Kaynaklanan Varyasyona Sahip Süreç.....	18
Şekil 2-8 Özel Nedenlerden Kaynaklanan Varyasyona Sahip Süreç.....	19
Şekil 2-9 Bir Kontrol Diyagramı ve Temel Elemanları	20
Şekil 2-10 Kalite Kontrol Grafiklerinde A, B ve C Bölgeleri.....	22
Şekil 2-11 Kontrol Diyagramı Seçim Tablosu	25
Şekil 2-12 EWMA Kontrol Diyagramı	35
Şekil 2-13 V Maskesi.....	36
Şekil 3-1 Klasik Küme İle Tanımlanmış Su Sıcaklığı Grafiği	38
Şekil 3-2 Bulanık Küme ile Tanımlanmış Su Sıcaklık Grafiği	39
Şekil 3-3 Bulanık Mantık Çalışma Prensibi	41
Şekil 3-4 Bulanık Küme Üzerinde Özelliklerinin Gösterimi	44
Şekil 3-5 Normal ve Normal Altı Bulanık Küme	46
Şekil 3-6 Bulanık Kümelerde Dışbükeylik Özelliği.....	46
Şekil 3-7 Üçgensel Üyelik Fonksiyonu Gösterimi	48
Şekil 3-8 Yamuk Bulanık Sayı.....	50
Şekil 3-9 LR Tip Bulanık Sayılar	51
Şekil 3-10 Gauss Üyelik Fonksiyonu	53
Şekil 3-11 Sigmodial Üyelik Fonksiyonu	53
Şekil 3-12 S Şekilli Üyelik Fonksiyonu.....	54
Şekil 3-13 A ve B Bulanık Kümeleri	55
Şekil 3-14 A ve B Bulanık Kümelerinde Keşisim İşlemi.....	56
Şekil 3-15 Oluşan C Kümesi	56
Şekil 3-16 A ve B Bulanık Kümelerinde Birleşim İşlemi.....	57
Şekil 3-17 Oluşan C Kümesi	57

Şekil 3-18 Bulanık A Kümesine Ait Tümleme İşlemi	58
Şekil 3-19 Bulanık Kümelerin Klasik Kümelerden Farklılıkları	59
Şekil 3-20 En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemiyle Durulaştırma	61
Şekil 3-21 Ağırlık Merkezi Yöntemiyle Durulaştırma	61
Şekil 3-22 Ağırlıklı Ortalama Yöntemiyle Durulaştırma	62
Şekil 3-23 Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemiyle Durulaştırma	63
Şekil 3-24 Toplamların Merkezi Yöntemiyle Durulaştırma	63
Şekil 3-25 En Büyük Alanın Merkezi Yöntemiyle Durulaştırma	64
Şekil 3-26 En Büyük İlk ve Son Üyelik Derecesi Yöntemiyle Durulaştırma.....	65
Şekil 4-1 Sezgisel Bulanık Küme Grafikselsel Gösterimi.....	67
Şekil 4-2 Üçgen Sezgisel Bulanık Sayı	69
Şekil 4-3 Üçgen Sezgisel Bulanık Sayı	70
Şekil 4-4 Yamuk Sezgisel Bulanık Sayı.....	72
Şekil 4-5 Tip-2 Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonu.....	78
Şekil 4-6 FOU Grafiği.....	78
Şekil 4-7 Tip 2 Üçgensel Bulanık Sayı Grafikselsel Gösterimi.....	80
Şekil 4-8 Tip-2 Yamuksal Bulanık Sayı Grafikselsel Gösterimi.....	82
Şekil 4-9 Tip-1 Küme Çalışma Prensibi	85
Şekil 4-10 Tip-2 Küme Çalışma Prensibi	85
Şekil 4-11 Tip İndirgeme İşlemi Görüntüsü	86
Şekil 5-1 Bulanık Küme Tiplerine Göre Kontrol Diyagramları Dağılımı	105
Şekil 5-2 Yapılan Çalışmalara Göre Kontrol Diyagram Türleri	106
Şekil 6-1 $\tilde{X}$ Kontrol Diyagramı.....	110
Şekil 6-2 $\tilde{R}$ Kontrol Diyagramı.....	112
Şekil 6-3 $\tilde{S}$ Kontrol Diyagramı.....	115
Şekil 6-4 $\widetilde{MR}$ Kontrol Diyagramı.....	117
Şekil 7-1 Erkek Tip Geçmeli Klemens (Sol), Dişi Tip Geçmeli Klemens (Sağ) Örneği.....	121
Şekil 7-2 Erkek ve Dişi Tip Klemens Bağlantısı.....	121
Şekil 7-3 Dişi Tip Klemens Bağlantı Düzenneği	122
Şekil 7-4 Dişi Klemens İçerisindeki İlektten Pin	122
Şekil 7-5 Dişi Klemens Pini Ölçüm Yeri	123

Şekil 7-6 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	130
Şekil 7-7 Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	132
Şekil 7-8 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı.....	133
Şekil 7-9 $\bar{\bar{R}}$ Kontrol Diyagramı.....	135
Şekil 7-10 Durulaştırılmış $\bar{\bar{R}}$ Kontrol Diyagramı.....	137
Şekil 7-11 R Kontrol Diyagramı	138
Şekil 7-12 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	142
Şekil 7-13 Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	143
Şekil 7-14 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı.....	144
Şekil 7-15 $\bar{\bar{S}}$ Kontrol Diyagramı.....	146
Şekil 7-16 Durulaştırılmış $\bar{\bar{S}}$ Kontrol Diyagramı.....	148
Şekil 7-17 S Kontrol Diyagramı	148
Şekil 7-18 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	153
Şekil 7-19 Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı.....	155
Şekil 7-20 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı.....	155
Şekil 7-21 $\bar{\bar{MR}}$ Kontrol Diyagramı.....	157
Şekil 7-22 Durulaştırılmış $\bar{\bar{MR}}$ Kontrol Diyagramı.....	159
Şekil 7-23 MR Kontrol Diyagramı.....	160

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kalite Üzerine Yapılan Çalışmalar	6
Tablo 2.2 Bir Taşıma Şirketi için Hazırlanan Çetele Diyagramı.....	14
Tablo 2.3 Histograma İlişkin Veriler	15
Tablo 2.4 Kontrol Diyagram Türleri.....	24
Tablo 3.1 Bulanık Mantık Uygulama Alanları	42
Tablo 3.2 Bulanık Mantığım Bazı Endüstriyel Uygulamaları.....	42
Tablo 5.1 Literatür Özeti.....	103
Tablo 7.1 Yaklaşık Ölçüm Değerleri	123
Tablo 7.2 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı Örneklem Ortalamaları	126
Tablo 7.3 $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{\bar{R}}$ Kontrol Diyagramı İçin Örneklem Aralık Değerleri ve Ortalamaları.....	127
Tablo 7.4 $\bar{\bar{X}}$ Verilerin Durulaştırılması.....	131
Tablo 7.5 $\bar{\bar{R}}$ Verilerin Durulaştırılması.....	136
Tablo 7.6 $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{\bar{S}}$ Kontrol Diyagramı İçin Örneklerin Standart Sapma Değerleri ve Ortalamaları.....	139
Tablo 7.7 $\bar{\bar{S}}$ Verilerin Durulaştırılması.....	147
Tablo 7.8 Osos Cihazları Sinyal Gücü Değerleri	150
Tablo 7.9 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı İçin Örnek ve Örneklem Ortalamaları	151
Tablo 7.10 $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{\bar{MR}}$ Kontrol Diyagramı için MR değerleri ve Ortalamaları.....	151
Tablo 7.11 $\bar{\bar{X}}$ Verilerin Durulaştırılması.....	154
Tablo 7.12 $\bar{\bar{MR}}$ Verilerin Durulaştırılması.....	158

Tip-2 Bulanık Küme Yaklaşımı Çerçevesinde Nicel Kontrol Diyagramlarının Tasarımı ve Bir Uygulama

Ataullah TURGUT

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İhsan KAYA

Shewhart tarafından geliştirilen kontrol diyagramları kalitenin yedi temel araçlarından biri olup işletmelerin müşteri beklentilerini karşılayabilmeleri ve rekabetsel avantajlarını sürdürebilmeleri için istenilen kalite seviyesinde üretim yapabilmelerini sağlayan önemli istatistiksel kalite kontrol araçlarından biridir. Kontrol diyagramları sayesinde üretim süreçleri etkin bir şekilde izlenebilmekte ve süreç değişkenliği ortaya çıktığı anda müdahale edilebilmektedir.

Klasik nicel kontrol diyagramlarını inşa ederken ölçümü yapan operatör veya ölçüm aletlerinden kaynaklı hatalar meydana gelebilmektedir. Bu durumda bazı araştırmacılar Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantık metodolojisini kullanarak klasik (tip-1) bulanık kontrol diyagramları geliştirmişlerdir. Geliştirilen tip-1 bulanık kontrol diyagramlarında; süreç içerisinde alınan örneklerle belli bir tolerans aralığı verilerek ölçüm sonunda elde edilen sayıyı bulanık sayıya dönüştürerek kontrol diyagramları inşa edilmiştir. Bu sayede ölçüm işlemleri süreci içerisinde personel, metot veya ölçüm aletleri sebebiyle oluşabilecek hatalar temsil edilmeye çalışılmıştır. Son dönemlerde tip-1 bulanık kümelerin haricinde kontrol

diyagramlarının tasarlanmasında kararsız, sezgisel ve tip-2 bulanık küme türleri de kullanılmaya başlanmıştır. Tip-2 bulanık kümelerde üyelik derecelerinin de bulanık olması nedeniyle tip-1 bulanık kümelerle göre daha esnek bir modellemeye olanak tanımaktadır. Bu sebeple kontrol sürecinin daha esnek ve hassas olabilmesi için bulanık kümelerin yeni uygulamalarından olan tip-2 bulanık küme yaklaşımı etkin şekilde kullanılabilir.

Bu tez çalışması kapsamında tip 2 bulanık sayıları kullanarak nicel kontrol diyagramlarından $\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$, $I - MR$ kontrol diyagramları geliştirilmiş ve elektronik cihaz imalatı yapan bir firmanın kalite süreçlerinde uygulanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda tip-2 bulanık küme yaklaşımıyla oluşturulan kontrol diyagramlarının süreç içerisindeki küçük değişimleri efektif bir şekilde ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. İzlenecek olan kalite karakteristiğinin ölçüm değerleri hassas ve küçük değerlere dayalı ise sürecin gözlemlenmesinde klasik kontrol diyagramları yerine tip-2 bulanık kontrol diyagramlarının kullanılması daha verimli olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Kontrol Diyagramları, Tip-2 Bulanık Sayı

Design and Application of Variables Control Charts Based on Type-2 Fuzzy Sets

Ataullah TURGUT

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. İhsan KAYA

Control charts developed by Shewhart are one of the seven basic tools of quality and it is one of the most important statistical quality control tools that enable enterprises to meet customer expectations and to achieve the desired quality level in order to maintain their competitive advantages. By using the control charts, production processes can be monitored efficiently and the process can be intervened as soon as the variability occurs.

When constructing the classical variable control charts, errors can occur, caused by measurement taking operator or the measuring device. In this case, some researchers have developed type-1 (classical) fuzzy control charts by using the fuzzy logic methodology developed by Zadeh. In the developed type-1 fuzzy control charts; control charts were constructed by converting the number obtained at the end of the measurement to a fuzzy number by giving a certain tolerance interval to the samples taken from the process. In this way, while taking the measurements, the errors that may be caused by personnel, methods, or measuring devices were tried to be represented. In the recent period, apart from the type-1 fuzzy sets, hesitant, intuitionistic and type-2 fuzzy sets types have been used to design of control charts. Type-2 fuzzy sets are more eligible for flexible modeling in regard to type-1 fuzzy sets because type-2 fuzzy sets' membership levels are also consist of fuzzy numbers. For this reason, type-2 fuzzy sets approach, which is one of the new applications of

fuzzy sets, can be used effectively for the control process to be more flexible and sensitive.

In the scope this thesis, some of variable control charts haved $\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$, $I - MR$ have been designed by using type-2 fuzzy numbers. These control charts have been applied in the quality processes of a company which manufactures electronic devices.

As a result of this study, it has been observed that control charts designed based on type-2 fuzzy sets approach effectively reveal small changes in the process. If the measured values of the quality characteristic to be followed are based on sensitive and small values, it would be more efficient to use type-2 fuzzy control charts instead of classical control charts in observing the process.

Keywords: Fuzzy Logic, Control Charts, Type-2 Fuzzy Number

1.1 Literatür Özeti

W.A. Shewhart tarafından ortaya çıkarılan kontrol diyagramları zaman içerisinde yaygınlaşarak işletmelerin üretim süreçlerinin kontrol altında olup olmadığını takip edebilmelerini sağlayan en önemli istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinden biri olmuştur. Kontrol diyagramlarının oluşturulmasında en önemli yapı taşı ölçüm değerleridir. Ölçüm değerlerinin ölçüm yapan personel, ölçüm aleti, yöntemi veya hassasiyeti dolayısıyla hatalı bir şekilde ölçülerek kontrol diyagramlarının bu değerlere göre oluşturulması sürecin yanlış bir şekilde izlenmesine sebebiyet verebilir. Bu hata kaynaklarının etkilerini en aza indirmek için Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantık metodolojisinden yararlanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak Wang ve Raz [1] kalite özelliklerini mükemmel, iyi, orta, zayıf ve kötü olarak tanımlayarak dilsel değişkenleri kullanmışlar ve ilk kez bulanık nitel kontrol diyagramları geliştirmişlerdir. Kontrol limitlerini belirlenmesinde üyelik fonksiyonu ve olasılıksal yaklaşımı kullanmışlardır. Daha sonra Raz ve Wang [2] dilsel özellikleri kullanarak bulanık p kontrol diyagramı geliştirmişler ve örnek uygulama yaparak bulanık kontrol diyagramlarının klasik kontrol diyagramlarına göre süreç içerisindeki değişkenliği ve hassasiyeti daha iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Kanagawa vd. [3] dilsel verilerin olasılık dağılımlarını dikkate alarak bulanık kontrol diyagramı geliştirerek Wang ve Raz [1] yaklaşımındaki eksiklerini dile getirmişlerdir. 2000' li yıllardan itibaren bulanık kontrol diyagramları alanında pek çok geliştirme yapılmıştır. Gülbay ve Kahraman [4] bulanık kontrol diyagramlarının yorumlanmasında durulaştırma ihtiyacını ortadan kaldıran “Doğrudan Bulanık Yaklaşım” metodunu tanıtmışlardır. Bulanık kontrol diyagramını “kontrol altında” veya “kontrol dışında” sonuçlarının yanında “kısmen kontrol altında” ve “kısmen kontrol dışında” tanımlamalarını geliştirmişlerdir. Kaya ve Kahraman [5] üçgensel ve yamuk bulanık sayıları kullanarak $\bar{X} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişler ve

spesifikasyon limitleri ve süreç yeterlilik indislerini bulanık sayıları kullanarak tanımlamışlardır. Teksen ve Anagün [6] tip-2 bulanık yamuk sayıları kullanarak tip-2 bulanık $\bar{X} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Kalite, işletmelerin rekabet ortamında varlıklarını devam ettirebilmelerini sağlayan en önemli unsurlardan biridir. İşletmeler üretim süreçlerinde, müşteri tarafından beklenen kalite özelliklerinin istenilen seviyede olup olmadığını en ekonomik ve verimli bir şekilde takip edebilmek için istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden faydanırlar. Üretim süreçleri içerisindeki değişkenliğinin gözlenebilmesi için en yaygın olarak kullanılan istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinden biri kontrol diyagramlarıdır. Fakat üretim süreçleri içerisinde operatör, ölçüm yapan alet veya ölçüm yöntemleri sebebiyle veya ölçüm değerlerinin çok hassas olduğu durumlarda ölçüm değerleri hatalı elde edilebilir. Bu durum kontrol diyagramlarının hatalı bir şekilde oluşturulmasına ve sürecin yanlış yorumlanması sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple son dönemlerde belirtilen hata kaynaklarındaki riski en aza indirmek için tip-1 bulanık küme yaklaşımı kullanılarak bulanık kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Tip-1 bulanık kontrol diyagramları sayesinde ölçüm değerlerine üyelik fonksiyonları yardımıyla tolerans aralığı sağlanmakta ve hata riski en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Ölçüm hassasiyetinin arttığı durumlarda tip-1 bulanık küme yaklaşımı da hatayı tam olarak temsil edemeyebilir. Bu eksikliği gidermek için bu çalışmada üyelik fonksiyonlarının da bulanık olarak atanabildiği tip-2 bulanık küme yaklaşımı kullanarak nicel bulanık kontrol diyagramları ($\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$, $I - MR$) geliştirilmiştir ve elektronik cihaz imalatı yapan bir işletmede uygulanarak tip-2 bulanık kontrol diyagramlarıyla klasik kontrol diyagramları karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışması kapsamında nicel kontrol diyagramlarının oluşturulmasında ölçüm yapan personel, ölçüm aleti, yöntemi veya hassasiyeti sebebiyle oluşabilecek ölçüm hatalarının minimum seviyeye indirilebilmesi amacıyla üyelik derecelerinin de bulanık olarak atanabildiği tip-2 bulanık yaklaşımının klasik ve tip-1 bulanık küme yaklaşımına göre daha efektif olacağı savunulmaktadır. Bu amaçla tip-2 bulanık

küme yaklaşımı kullanılarak nicel bulanık kontrol diyagramları geliştirilmiş ve elektronik cihaz imalatı yapan bir işletmede uygulama yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde kalite kavramı ele alınarak istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde bulanık mantık kavramı tanıtılarak tip-1 (klasik) bulanık kümeler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde tip-1 bulanık kümelerin yetersiz kaldığı durumlar için geliştirilmiş olan sezgisel, kararsız ve tip-2 bulanık küme yaklaşımları irdelenmiştir. Beşinci bölümde bulanık kontrol diyagramları alanında yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Altıncı bölümde tip-2 yamuk bulanık sayılar kullanılarak $\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$ ve I-MR kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Yedinci bölümde ise elektronik cihaz imalatı yapan bir işletmenin kalite kontrol süreci için tip-2 bulanık kontrol diyagramıyla incelenmiş ve klasik kontrol diyagramıyla aralarındaki farklar ve benzerlikler gösterilmiştir. Son olarak sekinci bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2.1 Kalite

Kalite, bir mal veya hizmetin müşteri isteklerini karşılayabilme seviyesi olarak tanımlanabilir [7]. Müşteri istekleri sınırsız olduğu için herkes tarafından kabul edilebilen salt bir kalite tanımı yapmak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple birden fazla kalite tanımı ortaya çıkmıştır. Kalite ile ilgili bazı tanımlamalar şöyle sıralanabilir.

- Ürün veya hizmeti ekonomik yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren bir üretim sistemidir. (Japon Sanayi Standartları Komitesi-JIS)
- Ürünün kullanım amacına uygunluğudur. (J.M. Juran)
- Ürünün istenilen özelliklere uygunluk derecesidir. (P. Crosby)
- Ürünün müşteri isteklerine en iyi uyumudur. (Feigenbaum)

Kaliteyi gerçek ve algılanan kalite olarak ikiye ayırabiliriz. Ürün veya hizmeti sunan işletmenin katlandığı maliyet ve çaba onu en iyi spesifikasyonlarına ulaştırıyorsa elde edilen kalite gerçek kalitedir. Algılanan kalite ise müşterinin subjektif yargısıdır. Müşteri aldığı mal veya hizmetten memnun kalırsa bu mal veya hizmetten beklentilerini karşılamış demektir ve algılanan kaliteyi oluşturur [8].

2.2 Kalitenin Tarihsel Gelişimi

Kaliteye ilişkin ilk bulgu M.Ö. 2150 yılında Hammurabi Kanunları'nda yer almaktadır. Hammurabi Kanunlarında; "Eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp ev sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa o inşaat ustasının başı uçurulur" ibaresi yer almaktadır. Bunun dışında M.Ö. 1450 yılında Mısır' da taş bloklarının dikliğinin tel yardımıyla yapıldığı bilinmektedir [9].

Kalitenin asıl gelişimi sanayi devrimi sonrasına dayanmaktadır. Sanayi devrimi öncesinde üretimler evlerde ya da küçük işyerlerinde yapılmaktaydı ve bu dönemde üretimi yapan kişi aynı zamanda kalite kontrol görevini de üstleniyordu. Sanayi devriminden sonra fabrikaların açılmasıyla birlikte iş planlaması önem kazandı. Frederick Taylor iş planlaması üzerine çalışmalar yaparak bilimsel yönetimin öncülüğünü yapmıştır. Henry Ford hareketli montaj hatları kurarak işleri küçük parçalara ayırarak üretim maliyetlerini düşürmüştür. İşlerin küçük parçalara ayrılması işçilerin ürünün belirli bir kısmına hâkim olup bütününden habersiz olmalarına sebebiyet vermiştir. Bu sebeple kalite personelleri üretilen partileri kontrol eder kabul ve ret işlemlerini gerçekleştirirdi [10]. 2. Dünya Savaşı başlamasıyla birlikte kalite anlayışında önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Bu dönemde %100 muayene yöntemi yerine W. A. Shewhart' ın 1924 yılında Bell Telefon Laboratuvarları' nda geliştirdiği istatistiksel kalite kontrol yöntemleri kullanılmaya başlanılmıştır [11]. Shewhart' ın geliştirdiği istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinin sanayide yaygın olarak kullanılması 2. Dünya Savaşı sonrası Japonya' da olmuştur. Deming' in Japonya' da yapmış olduğu kalite çalışmaları istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinin kullanılmasına yardımcı olmuştur [12]. Aynı dönemlerde Juran' ın kalite maliyetleri üzerindeki çalışmaları ve A. Feigenbaum' un kalitenin sadece üretim anında değil ham madde girişinden ürün tasarımına kadar geniş bir yelpazede ele alınması ait görüşleri toplam kalite kontrolün temellerini oluşturmuştur [10].

Kalite alanında bugüne kadar yapılan önemli çalışmalar ve yapılan faaliyetler Tablo 2.1' de gösterilmiştir [13].

Tablo 2.1 Kalite Üzerine Yapılan Çalışmalar

Tarih Aralığı	Yapılan Faaliyetler/ Çalışmalar
1875	Frederick W. Taylor' ın "Bilimsel Yönetim" ilkelerinin tanıtımıyla iş süreçleri parçalanarak verimlilik üzerine odaklanılmıştır.
1900-1930	Henry Ford, montaj hattı dengeleme üzerine çalışmalar yapmıştır.
1901	İngiliz Standartları Enstitüsü kurulmuştur.
1907-1908	AT&T' de (American Telephone and Telegraph Company) ürün test ve kontrolü çalışmaları başlamıştır.
1919	İngiltere'de Kalite Güvence Enstitüsü olmuştur.
1922-1923	R. A. Fishers, deney tasarımı üzerine çalışmalar yapmıştır. Tarımsal alanda uygulamalar gerçekleştirmiştir.
1924	Bell Telefon Laboratuvarları'nda W.A. Shewhart, "kontrol diyagramları" kavramını ortaya çıkarmıştır.
1928	H. F. Dodge ve H. G. Romig, kabul örnekleme metodunu geliştirmişlerdir.
1932-1933	İngiliz tekstil ve Alman ilaç endüstrisi firmaları ürün ve süreç geliştirmede deney tasarımı uygulamalarına başlamışlardır.
1940	The U.S. War Department, proses analizi için kontrol diyagramlarının kullanılması için yönerge yayınlamıştır.
1940-1943	Bell Laboratuvarı, askeri standartları için örneklem planları geliştirmiştir.

1946	Birçok kalite derneğinin birleştirilmesi ile The American Society for Quality Control (ASQC) ve Ayrıca The International Standards Organization (ISO) kurulmuştur. Deming, Japon endüstrisinin yeniden yapılandırılması amacıyla Economic and Japonya'ya davet edilmiştir.
1946-1949	Deming, istatistiksel kalite kontrol konularında Japonya' da çeşitli seminerler vermiştir.
1948	G. Taguchi, deneysel tasarım üzerine çalışma ve uygulamalarına başlamıştır.
1950	K. Ishikawa, balık kılçığı diyagramını ortaya çıkarmıştır.
1951	A. V. Feigenbaum, "Total Quality Control" kitabını yayınlamıştır.
1954	Joseph M. Juran, kalite yönetimi konusunda Japon Endüstrisine katkı sağlaması için Japonya'ya davet edildi.
1960	K. Ishikawa, kalite kontrol döngü çemberi kavramını tanıtmıştır.
1961	Büyük Britanya'da, "National Council for Quality and Productivity (NCQP)" kurulmuştur.
1960'lar	Amerikan endüstrisinde "Sıfır Hata" metodolojisi tanımlanmıştır.
1970'ler	Büyük Britanya'da NCQP ve "Institute of Quality Assurance" birleşerek "British Quality Association" kurulmuştur.
1975-1978	Kuzey Amerika'da Toplam Kalite Yönetimi anlayışı yaygınlaşmaya başlamıştır.
1980'ler	Taguchi deney tasarımı, Amerika' da tanıtılmıştır.
1987	İlk kalite standardı ISO yayınlanmıştır. Motorola altı sigma metodolojisine kendisine uyarlamaya başlamıştır.

1997	Altı sigma metodolojisi diğer endüstrilerde de yaygınlaşmaya başlamıştır.
2000'ler	ISO 9000:2000 standardı yayınlanmıştır.

2.3 Kalitenin Boyutları

Üreticilerden mal ve hizmeti talep eden müşterilerin istek ve beklentileri zamanla değişikliğe uğramakta ve çoğalmaktadır. Müşteri algısının en iyi şekilde belirlenmesi ve bunun sonucunda işletme iç parametrelerinin bu kriterlere uyum sağlayacak şekilde oluşturulması veya düzenlenmesi kalitenin iyileştirmesini sağlamaktadır. Bu gelişim sürecinde kullanılan kriterler kalitenin boyutları olarak adlandırılmaktadır [14]. Kalitenin 8 farklı boyutu vardır ve aşağıda belirtilmiştir [13].

- **Performans:** Ürün veya hizmetin kendinden beklenen temel fonksiyonların yerine getirip getirmeme yeteneği olarak adlandırılır.
- **Güvenilirlik:** Ürünün kullanım ömrü içerisinde performans sürekliliğidir.
- **Uygunluk:** Ürün için belirlenen standartlara uygun üretilmesidir.
- **Dayanıklılık:** Kullanım ömrünün uzunluğudur.
- **Hizmet Görürlük:** Satış sonrası hizmetlerdir. Ürün bozulduğunda üretici firmanın müşteriye memnun edecek şekilde ürün arızasını çözmesidir.
- **Estetik:** Ürünün müşteriye karşı albenisinin olmasıdır.
- **İtibar:** Ürün ya da markanın müşteri gözündeki değeridir.
- **Özellik:** Ürünün temel özellikleri dışında müşteriye memnun eden ek özelliklerdir.

2.4 Kalite Maliyetleri

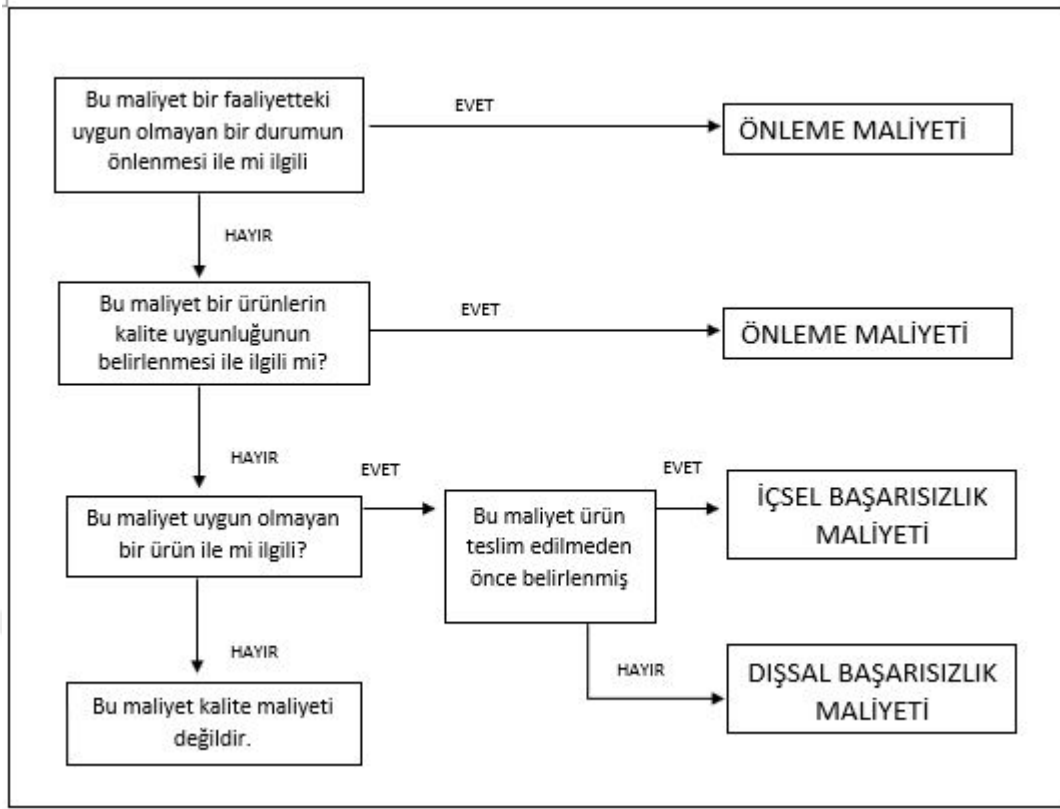
İşletmeler, istenilen kalite seviyesine ulaşabilmek için belli bir maliyete katlanırlar. Ayrıca kalitesizliğin sonucunda da uygunsuzluğu ortadan kaldırmak için de bir

maliyete katlanırlar. Belirtilen bu kapsam kalite maliyetleri olarak adlandırılmaktadır. Kalite maliyetleri işletmelerin kalite hedeflerine ulaşma derecelerini gösteren bir gösterge özelliği taşımaktadır [15].

Kalite maliyetleri; önleme, değerlendirme, iç başarısızlık ve dış başarısızlık maliyetleri olarak 4' e ayrılmaktadır.

- **Önleme Maliyeti:** Hataların ortaya çıkmadan önce gerekli önlemleri almak için katlanılan maliyetler önleme maliyetleri olarak adlandırılır. Kalite planlama, eğitimi, denetimi ve iyileştirme programları önleme maliyetlerine örnek olarak gösterilebilir [16].
- **Değerleme (Ölçme) Maliyeti:** Mal ve hizmetin kalite gereksinimlerine uygunluğunun ölçülmesi için katlanılan ölçme, yürütme ve denetleme maliyetleridir [16].
- **İç Başarısızlık Maliyeti:** Uygunsuz olarak üretilen ürün ya da hizmetin müşteriye sunulmadan önce düzeltici faaliyetler için katlanılan maliyetlerdir [17]. Hurda, işçilik, yeniden işleme gibi maliyet kalemleri bu gruba girer [16].
- **Dış Başarısızlık Maliyeti:** Ürün veya hizmetin müşteriye ulaşmasından sonra yetersiz kalite sonucu ortaya çıkan maliyetlerdir. Garanti, iade ve kaybedilen satışlar bu maliyet gruba girer [16].

Yüklenilen bir maliyetin kalite maliyeti olup olmadığı eğer kalite maliyeti ise hangi maliyet türüne ait olduğunu tanımlayabilmek için Şekil 2.1' deki diyagram kullanılabilir [18].



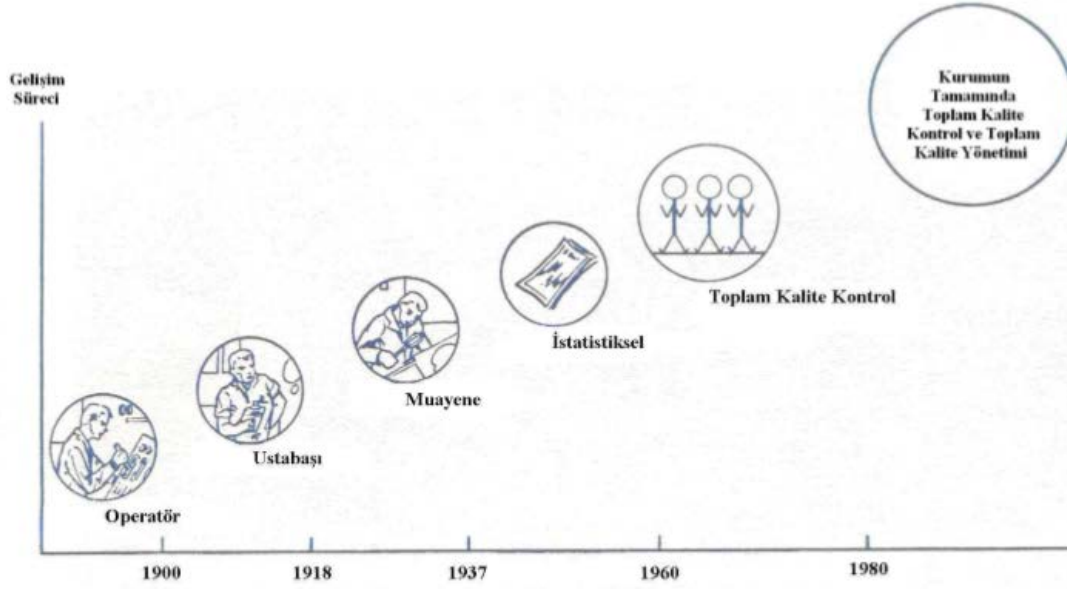
Şekil 2-1 Kalite Maliyetleri

2.5 Kalite Kontrol

Kalite kontrol, kaliteyi korumak ve geliştirmek amacıyla üretim öncesi, anı ve sonrasında yapılan faaliyetler olarak adlandırılmaktadır [19]. Başka bir deyişle, üretim sürecinin sistematik olarak gözlenmesi ve yetersiz kaliteye sebep olan etkenleri önleme ve ortadan kaldırma faaliyetleridir [20].

Kalite kontrol, seri işlemlerin doğal sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bir çalışan, mal veya hizmeti baştan sona kadar tüm süreçlerini kendisi yönetir ve yaparsa ya mevcut operasyonunda ya da bir sonraki operasyonda yaptığı hatanın etkileri görecektir ve bunun sonucunda hatayı giderecek faaliyetlerde bulunacaktır. İş bölümünün yapıldığı seri bir üretimde ise hataların meydana geldiği anda ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu durum kalite kontrolün üretimin ayrılmaz bir parçası olması gerektiğini göstermektedir [21].

Kalite kontrolün tarihsel gelişimi Şekil 2.2' de gösterilmiştir [22].



Şekil 2-2 Kalite Kontrol Gelişim Süreci

Şekil 2.2 incelendiğinde sanayi devrimi öncesinde üretimi yapan kişi aynı zamanda kalitesinden de sorumludur. Sanayi devrimi sonrası fabrikaların açılmasıyla birlikte kalite ayrı bir birim olarak düşünülmüş ve ürünler muayene edilerek kabul veya red işlemi gerçekleştirilmiştir. Muayenenin maliyetli olması dolayısıyla istatistiksel kalite kavramının gelişimi ile birlikte üretim süreçleri kontrol diyagramları yardımıyla efektif bir şekilde takip edilmeye başlanmıştır. Kalitenin sadece bir birime ait olamayacağı felsefesinin yaygınlaşması ve kabul görmesiyle günümüzde toplam kalite kontrol felsefesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kalite kontrolü; standartların belirlenmesi, standartlara uygunluğun sağlanması, düzeltici kararlar alınması ve geliştirme çabaları olarak 4 aşamaya ayırabiliriz [22].

- **Standartların Belirlenmesi:** Müşterilerin talep ve beklentileri göz önüne alınarak maliyet, performans ve güvenilirlik standartlarının belirlenmesidir.
- **Standartlara Uygunluğun Sağlanması:** Ürünün tasarım aşamasında istenilen standartlara uygun olarak üretilebilmesidir.
- **Düzeltilici Kararlar Alınması:** Üretim sürecinde ürünün kalite standartları bakımından kabul edilen tolerans sınırlarının dışına çıkması durumunda düzeltici faaliyetler için alınan kararlardır.

- **Geliştirme Çabaları:** Maliyet, performans ve güvenilirlik kriterleri göz önüne alınarak kalite seviyesi arttırmak için yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni teknolojilerin araştırılmasıdır.

2.6 Toplam Kalite Yönetimi

Toplam kalite yönetimi (TKY) malzeme veya hizmet üretimi olan işletmelerde kalite ve verimliliği en üst düzeye taşıyabilmeyi amaçlayan bir yönetim sisteminidir [23]. Bu yönetim sisteminde kalite sadece bir bölüme ait olmayıp organizasyon içerisinde bulunan tüm bölümlerdeki personellerin görevidir. TKY, en üst yönetimden başlayarak tüm personelleri, müşterileri ve tedarikçileri de kapsayan bütüncül bir süreçtir. Toplam kalite yönetiminde amaç hataların ayıklanması değil, ilk seferde doğru üretimi yapmaktır. Diğer bir deyişle hataların ortaya çıkmasının önlenmesine dayalı bir yaklaşımdır [24].

Bir işletmede toplam kalite yönetimini etkin bir şekilde uygulamak için aşağıdaki ilkerlerin benimsenmiş olması gerekmektedir [25].

- Hatalı ürün oluşumunu önlemek
- İstatistiksel kalite kontrol (İKK) yöntemlerini işletmede etkin bir biçimde kullanmak
- Etkin bir toplam katılımcılık sağlamak
- Sürekli iyileştirme felsefesini örgüt kültürü haline getirmek
- Toplam kalite yönetiminin üst yönetim tarafından benimsenmesini sağlamak

2.7 İstatistiksel Kalite Kontrol

İstatistiğin kalite kontrol (İKK), 2. Dünya savaşı sırasında kısıtlı kaynaklarla kaliteli ürün üretme ihtiyacının ortaya çıkmasıyla kendine geniş bir kullanım alanı açmıştır. Bu dönemde kontrol diyagramları ve örnekleme kabul testleri yoğun olarak kullanılmıştır. Bu süreçten sonra İKK alanındaki çalışmalar bu eşik değerinden sonra günümüze kadar gelişerek devam etmiştir [26].

İKK, ürün kalitesini ölçmeye ve yorumlamaya ve gerektiğinde düzeltici faaliyetlere yol açan istatistiksel tekniklerdir. İKK ile kalite sorunlarına sebep olan etkenleri çok

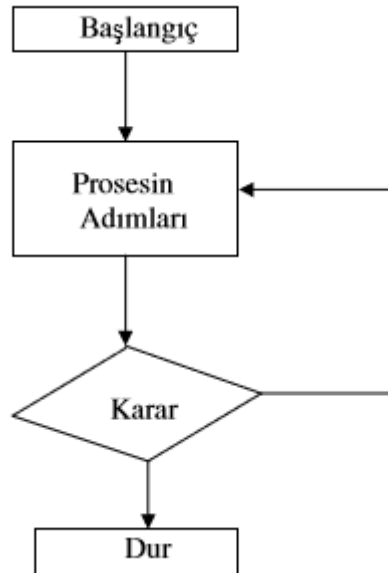
iyi bir şekilde analiz edebilir ve en doğru problem çözme yaklaşımı uygulayabilir [27].

2.7.1 İstatistiksel Kalite Kontrol Teknikleri

Kalite konusunda öncü isimlerden olan K. Ishikawa işletmelerin kalite ile ilgili yaşadıkları problemlerin %95' inin kalite kontrolün yedi tekniği ile çözümlenebileceğini savunmuştur. Bu yedi teknik günümüzde de kalite kontrolle ilgili yaşanan sorunlarda verilerin toplanmasında, sınıflandırılmasında ve çözüm yollarının belirlenmesinde etkin olarak kullanılmaktadır. Kalite kontrolün yedi tekniğini süreç akış diyagramları, pareto analizi, çetele diyagramı, sebep-sonuç diyagramı, histogram, saçılma ve kontrol diyagramları oluşturmaktadır [28].

2.7.1.1 Akış Diyagramları

Akış diyagramları yapılan işin adımlarını ve operasyon türlerini belirlenen şekil üzerinde gösterilmesine dayanmaktadır. Bu sayede yapılan işler net bir biçimde tanımlanabilmektedir. Ayrıca işlemler adım adım gösterildiği için soruna sebebiyet veren etkenler de kolay bir şekilde fark edilip analiz edilebilmektedir [11]. Örnek bir akış diyagramı Şekil 2.3' de gösterilmiştir [23].



Şekil 2-3 Akış Diyagramı Örneği

Akış diyagramlarının işletme için faydaları aşağıdaki gibidir [23].

- Süreç kolay bir şekilde anlaşılabilir bu sayede süreç etkin bir biçimde kontrol altında tutulabilir.
- Sürecin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gereken yönleri kolaylıkla görülebilir.

2.7.1.2 Çetele Diyagramı

Çetele tabloları bir olayın ne sıklıkla meydana geldiğini gösteren oluşturulması ve kullanımı kolay olan İKK tekniklerinden biridir [23]. Çetele diyagramlarının kullanım amacı genelde verileri toplayarak hataların sıklık derecesini ölçmektir [29]. Çetele diyagramları oluşturulurken belirli bir zaman aralığında olaylar olduğu gibi aktarılır [23]. Örnek bir çetele diyagramı Tablo 2.2’ de gösterilmiştir [28].

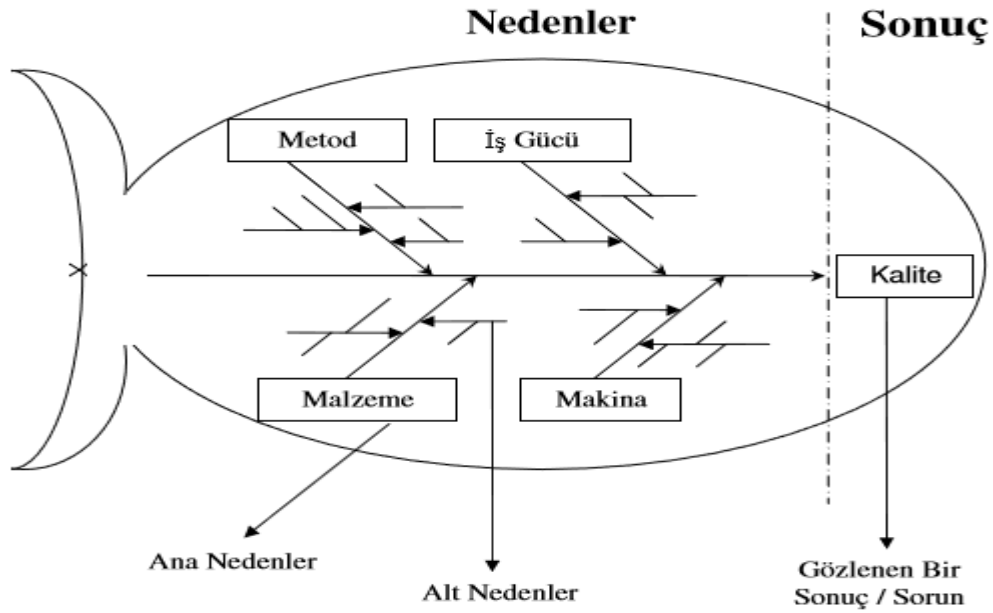
Tablo 2.2 Bir Taşıma Şirketi için Hazırlanan Çetele Diyagramı

ÇETELE DİYAGRAMI <i>Müşteriden Gelen Şikayetler</i>		
<i>Kırılan camlar</i>		13
<i>Yanlış adrese teslim</i>		3
<i>Araç üzerindeyken mobilyanın araca sürülmesi</i>		32
<i>Geç teslimat</i>		7
<i>Kayıp parçalar</i>		10
<i>Sert hareket nedeniyle oluşan sıyrık ve çizikler</i>		28
<i>Kirlenmiş döşemeler</i>		6
TOPLAM		99

2.7.1.3 Sebep-Sonuç Diyagramı

Ishikawa tarafından geliştirilen sebep-sonuç diyagramları ilk olarak Japonya’ da daha sonra ise tüm dünyada büyük ilgi görmüştür [30]. Bu diyagramın bilinen diğer bir adı ise “balık kılçığı diyagramı” dır. Sebep- sonuç diyagramları; süreçte karşılaşılan bir hatayı meydana getiren etkenleri sistematik bir şekilde sınıflandırarak hata kaynaklarını etkin bir biçimde ortadan kaldırmak için kullanılan İKK tekniklerinden biridir [31]. Sebep-sonuç diyagramında; insan, makine, metot ve malzeme olarak 4 çeşit hata kaynağı bulunmaktadır. Hatayı meydana getirebilecek olgular bu sınıflara atanır ve hatanın kaynağı bu sayede

kolayca görülebilir. Örnek bir sebep-sonuç diyagramı Şekil 2.4' de gösterilmiştir [23].



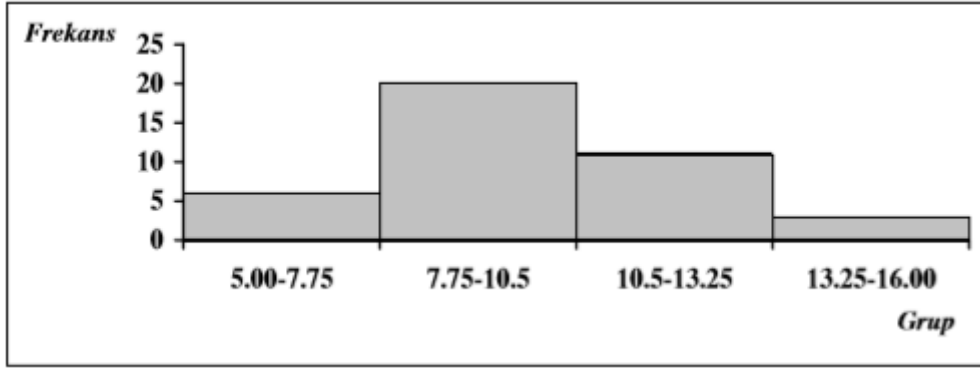
Şekil 2-4 Neden-Sonuç (Balık Kılçığı) Diyagramı

2.7.1.4 Histogram

Histogram; geniş verileri özetleyen, verilerin şeklini ve değişkenliğini gösteren istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden biridir [32]. Histogramlarda veriler sınıflandırılarak grafik üzerinde gösterilir. Böylece verilerin dağılımı kolay bir biçimde görülmüş olur. Histogramlar ayrıca sıklık diyagramı olarak da adlandırılmaktadır [31]. Örnek bir histogram Şekil 2.5' de gösterilmiştir. Histogram verileri ise Tablo 2.3' de gösterilmiştir [28].

Tablo 2.3 Histograma İlişkin Veriler

Gruplar	Frekans
5.00 – 7.75	6
7.75 – 10.50	20
10.50 – 13.25	11
13.25 – 16.00	3

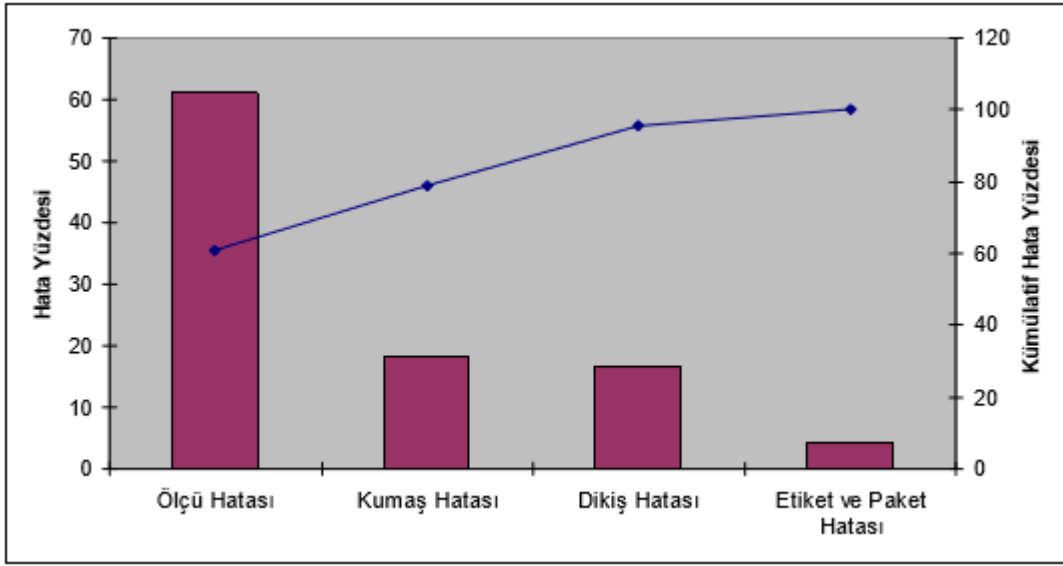


Şekil 2-5 İlgili Örneğin Histogram ile Gösterilmesi

2.7.1.5 Pareto Analizi

İktisatçı ve sosyolog Vilferdo Pareto tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan pareto analizi, karşılaşılan bir sorunda verileri tasnif ederek önemli sebeplerle daha önemsiz sebeplerinin analiz edilmesini sağlayan İKK tekniklerinden biridir. Pareto analizi prensibine literatürde “80-20”, “70-30” veya “90-10” kuralı da denilmektedir [33]. Pareto analizi sayesinde az önemli hatalar ile önemsiz hatalar yüzdesel olarak birbirinden ayrılmış olur. Bu sayede az sayıdaki önemli hatanın asıl problemi meydana getiren etkenlerin büyük çoğunluğunu oluşturduğu görülebilir ve çok daha verimli bir biçimde problem ortadan kaldırılmış olur [31].

Pareto analizinde hatayı oluşturan sebepler “çok önemli”, “orta derecede önemli” ve “az önemli” olmak üzere 3 gruba ayrılır ve pareto analizi bu sınıflamadan dolayı ABC analizi (Always Better Control) olarak da adlandırılmaktadır. Analiz sayesinde hata kaynağını ortadan kaldırmak için önem sırasına göre hareket edilmiş olur bu durum maliyet ve zaman kaybının engellenmesini sağlar [33]. Şekil 2.6’ te örnek bir pareto analizi gösterilmiştir [34].



Şekil 2-6 ABC Analizi Eğrisi

2.7.1.6 Dağılım (Saçılma) Diyagramı

Dağılım diyagramları, herhangi bir değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişkiyi görmek için kullanılmaktadır. Uygulamada; değişkenlerden biri değiştirilerek diğerlerinin nasıl tepki verdiği gözlemlenir. Bu sayede değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı ve kuvveti anlaşılmış olur [23]. Diyagramın yatay ekseninde değerlendirilen değişken yer alırken dikey ekseninde etkilenecek beklenen değişkenler yer alır. Değişkenlerden biri artarken diğeri de artıyorsa değişkenler arasında pozitif ilişki, aksi taktirde negatif ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır [35].

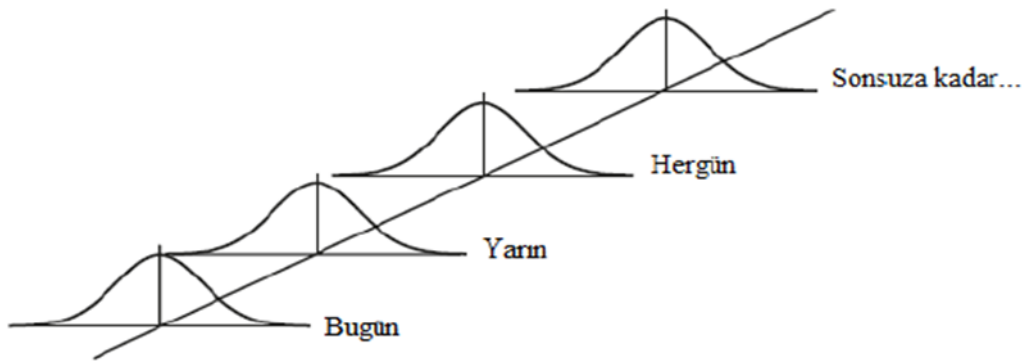
2.8 Kontrol Diyagramları

Kontrol diyagramları; üretim sürecinin kabul edilen sınırlar içerisinde devam edip etmediğini, eğer belirlenen sınırların dışına sarkma söz konusu ise gerekli uyarıları göstererek sürecin istenilen düzeyde kalmasını sağlayan İKK tekniklerinden biridir [22]. Kontrol diyagramları uygulamalarında üretim süreci içerisinde belirli bir metodolojiye göre örneklemeler alınır ve gözlemlenen kalite özelliğın zaman içindeki değişimleri gözlemlenir [36]. Kontrol diyagramları sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını ve aynı zamanda ne zaman müdahale edilmesini gerektiğini etkin bir biçimde gösterir [37].

Üretim süreci boyunca tüm koşullar her zaman sabit tutulmaya çalışılsa bile değişkenliğin süreç içinde var olması dolayısıyla çıktılarda kalite özellikleriyle ilgili

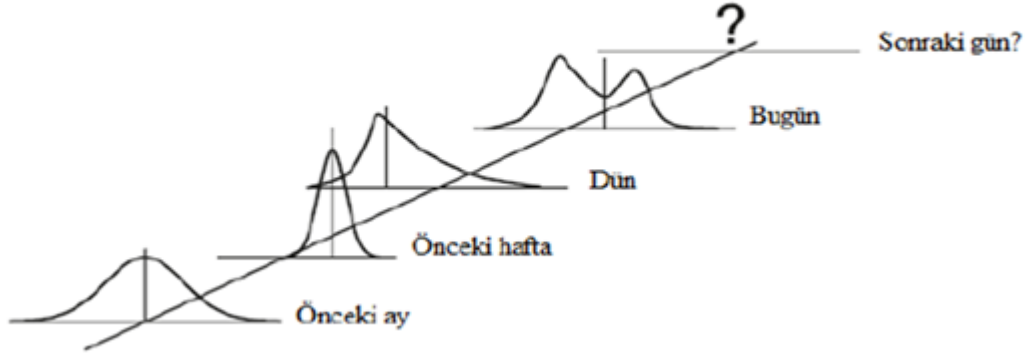
farklılıkların meydana gelmesi doğaldır. Çıktılarda değişkenliğe sebep olan faktörler proses, malzeme, çevre şartları, operatör ve muayene kaynaklı olabilir. Bu değişkenlik kaynakları tesadüfi bir şekilde dağıldığında farklılıklara sebebiyet verirler. Bunlar genel nedenler olarak adlandırılır. Genel nedenler sürecin kendisinde bulunan ve sebebi anlaşılmayan nedenlerdir. Etkileri oldukça düşük olduğu için ürün kalitesine etkisi eser derecededir. Ama bu nedenler süreçte her zaman varlıklarını sürdürürler ve değişime sebebiyet verirler. Değişimler genel olarak çok küçüktür ve kalite düzeyi kabul edilebilir seviyededir. Genel nedenlerin dışında özel nedenler olarak adlandırılan kısım ise süreçte büyük değişikliklere sebebiyet vererek kalite seviyesini düşürebilirler. Bu nedenler araştırma sonuçlarında görülebilir ve kontrol altına alınabilir. Kontrol diyagramlarının da var oluş sebebi bu değişkenlikleri süreçte hissederek sebeplerini yok etmek ve sürecin doğal dengeli akışına devam edebilmesini sağlamaktır. Özel nedenlerin kalite seviye etkisini fark eden Shewhart 1924 yılında ilk uygulaması yapmıştır ve bu katkısından dolayı bu grafiklere Shewhart grafikleri de denilmektedir [38].

Genel ve özel nedenler arasındaki ilişki Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’ de görebiliriz [39].



Şekil 2-7 Genel Nedenlerden Kaynaklanan Varyasyona Sahip Süreç

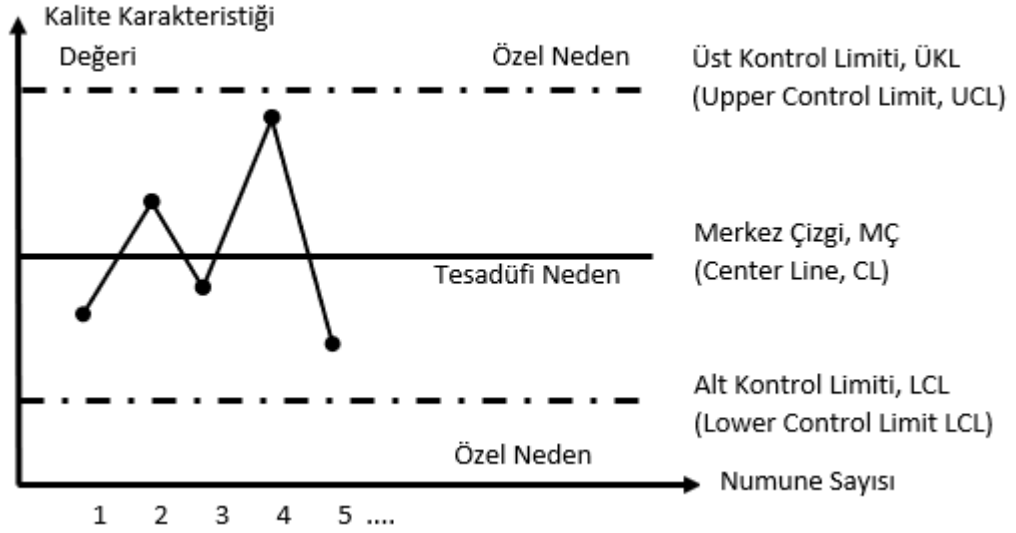
Şekil 2.7’ de görüldüğü üzere değişkenler arasında minimum varyans bulunmaktadır. Bu durum da gelecekteki durumun kolay tahmin edilebilmesini sağlamaktadır. Her bir dağılımın ortalaması farklı olmasına rağmen varyanslar arasında değişkenlik azdır. Bu sebeple sadece genel nedenlere sahip süreçlerin değişkenliği oldukça azdır [39].



Şekil 2-8 Özel Nedenlerden Kaynaklanan Varyasyona Sahip Süreç

Şekil 2.7 ile Şekil 2.8 kıyaslandığında Şekil 2.8’ deki varyasyon sebebiyle gelecek tahmini oldukça güç şekil almaktadır. Bu durum da süreçte özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliğin varlığına işaret etmektedir [39].

Kontrol diyagramları merkez çizgi (MÇ) (Center Line, CL), alt kontrol limiti (AKL) (Lower Control Limit, LCL) ve üst kontrol limitlerinden (ÜKL) (Upper Control Limit, UCL) meydana gelmektedir. Merkez çizgi hedeflenen kalite değerini temsil ederken, alt ve üst kontrol limitleri tolerans limitlerini temsil etmektedir. Örneklem değerlerinin alt ve üst kontrol limitleri içine düşmesi beklenir aksi durumda sürecin kontrol dışına çıktığı anlaşılmaktadır. Örnek bir kontrol diyagramı Şekil 2.9’ da gösterilmiştir [14].



Şekil 2-9 Bir Kontrol Diyagramı ve Temel Elemanları

Şekil 2.9’ da görüldüğü üzere süreç üzerinde tesadüfi nedenler bulunuyorsa kalite üzerinde büyük bir etkisi olmayacak ve süreç kontrol altında olacaktır. Eğer süreç içerisinde özel nedenler bulunursa süreç limitler dışına çıkacak ve kontrol altında olmamış olacaktır. Kontrol diyagramları sayesinde üretim sürecini olumsuz etkileyen faktörler etkin bir şekilde gözlenip sürecin verimli bir şekilde devam etmesi sağlanır.

2.8.1 Kontrol Diyagramları Oluşturma Adımları

Sürecin karakteristiğine bağlı olarak İKK yöntemleri değişse bile genel perspektif açısından izlenmesi gereken adımlar aşağıda gösterilmiştir [40].

- Kullanım amacının belirlenmesi: Üretim sürecindeki hataları minimuma indirmek, müşterinin istediği spesifikasyonlara uygun ürün üretmek gibi amaçlar belirlenir.
- Değişkenliğin belirlenmesi ve en uygun kontrol diyagramının seçilmesi: Kontrol diyagramları nicel ve nitel olarak ikiye ayrılır. Üretim süreci ve hata karakteristiğine göre nitel ve nicel kontrol diyagramlarından biri seçilir.
- Örneklem hacminin ve örneklem sayısının belirlenmesi: Örneklem ana kütleyi temsil edecek olan veri setidir. Süreci en iyi şekilde temsil edebilecek örneklem büyüklüğünün iyi seçilmesi gerekmektedir. Örneklem büyüklüğünün tüm süreç

incelemelerinde sabit olması gerekir. Örneklem sayısı ise, belirli zaman dilimleri içerisinde alınacak örneklemelerin sayısını ifade eder ki süreç değişiminin gözlemlenmesi için çok önemlidir.

- Ölçme ve değerlendirme tekniğinin belirlenmesi: Süreçte kontrol edilmek istenen değişkenliğin hangi teknikle ve hangi ölçü aleti ile ölçülmesine ait kararları içerir. Ölçme yönteminin güvenilir, ölçme aletinin ise ölçüm için yeterli hassasiyete sahip olması gerekir.
- Verilerin toplanması ve kaydedilmesi: Üretim sürecinden örneklemeler ölçümleri ile değerlendirmenin yapılabilmesi için verilerin kayıt altına alınması gerekir.
- Örneklem istatistiğinin hesaplanması ve kontrol diyagramının çizilmesi: Uygulanması planlanan kontrol diyagramı için ilgili istatistiksel hesaplamalar yapılır ve merkez çizgisi ile alt, üst kontrol limitleri grafik üzerinde tanımlanır.
- Grafik üzerindeki noktaların incelenmesi ve yorumlanması: Grafikte yer alan noktalar incelenir ve sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilir.
- Sürecin kontrol dışında olması durumunda nedenlerin araştırılması: Kontrol dışı durumda öncelikle ölçme işleminin doğruluğu kontrol edilir ve başka bir örneklem grubu edinilir. Kontrol dışı süreç devam ediyorsa neden-sonuç, pareto analizi gibi kalitenin 7 temel araçları kullanılarak sürecin kontrol dışında olmasına sebep olan özel değişkenliğin sebebi araştırılır.
- Kontrol dışındaki durumlara müdahale etmek ve gerekli önlemlerin alınması: Sürecin kontrol dışına çıkma sebepleri belirlendikten sonra bu nedenlerin kaldırılmasına yönelik faaliyetler yapılır ve kontrol limitleri tekrar hesaplanır.

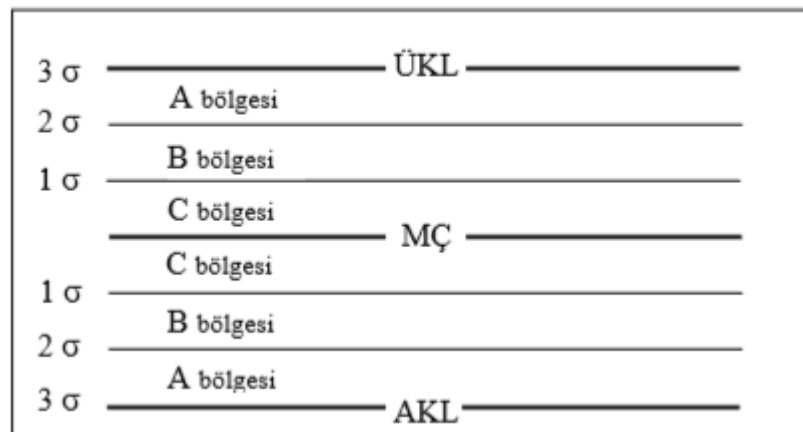
2.8.2 Kontrol Diyagramlarında Özel Durumlar

Kontrol diyagramlarında grafik üzerindeki noktalar alt ve üst kontrol limitlerinin arasında ise sürecin kontrol altında olduğunu, dışında ise sürecin kontrol dışında olduğunu söyleyebiliriz. Bazen noktalar alt ve üst kontrol limitleri arasında belirli bir desen veya örgü halinde dağılabilirler. Böyle durumlarda da süreç kontrol dışındadır. Bu desen ve örüntülerin varlığını önceden görüp tespit etmek sürece

erken durumda müdahale edilmesine yardımcı olur ve süreç kontrol altına alınır. Kontrol diyagramlarındaki özel durumlar aşağıda listelenmiştir [41].

- **Dairesel örüntü:** Kontrol diyagramı içindeki noktaların belirli bir düzende artması veya azalması olarak tanımlanır.
- **Eğilim:** Kontrol diyagramı içindeki noktaların belirli bir düzende ve sürekli olarak artması veya azalması olarak tanımlanır.
- **Karışım:** Kontrol diyagramı içerisindeki noktaların büyük bir çoğunluğunun alt ve üst kontrol limitlerine yakın seviyede, geri kalan az kısmın ise merkez çizgisinin yakınında konumlanması olarak tanımlanır.
- **Tabakalanma:** Karışımın aksi halini temsil eder. Kontrol diyagramı içerisindeki noktaların büyük bir çoğunluğunun merkez çizgisine yakın seviyede, geri kalan az kısmın ise alt ve üst kontrol limitlerine yakınına konumlanması olarak tanımlanır.
- **Süreç Ortalamasında Kayma:** Kontrol diyagramında tüm noktaların ortalaması merkez çizginin çevresinde değil ise bu durum süreç kayması olarak tanımlanır.

Kontrol dışı durumları tanımlayabilmek için kontrol diyagramları $\pm 3\sigma$ 'ya bölünmüştür. Bu şekilde bölgelere ayrılmış kontrol diyagramı Şekil 2.10' da gösterilmiştir [41].



Şekil 2-10 Kalite Kontrol Grafiklerinde A, B ve C Bölgeleri

Şekil 2.10' da kontrol diyagramında merkez çizginin $\pm 1\sigma$ ile bölünmüş kısmı C, $\pm 2\sigma$ ile bölünmüş kısmı B, $\pm 3\sigma$ ile bölünmüş kısmı A bölgesi olarak tanımlanmıştır [41]. Sürecin kontrol altında olmayan genel kurallar aşağıda tanımlanmıştır [42], [43], [44].

- Alt ve üst kontrol çizgisinin dışında nokta olması
- Ard arda gelen 3 noktadan 2' sinin A bölgesi içerisinde olması
- Ard arda gelen 5 noktadan 4' ünün B bölgesi içerisinde veya dışında olması
- Ard arda gelen 8 noktanın merkez çizginin bir yanında olması
- Ard arda gelen 6 noktanın sürekli artması veya azalması
- Ard arda gelen 15 noktanın C bölgesi içerisinde olması
- Ard arda gelen 14 noktanın sürekli olarak artması veya azalması
- Ard arda gelen 8 noktanın C bölgesi dışında olması
- Diyagramda rastgele bir örüntünün olması

2.9 Kontrol Diyagramı Çeşitleri

Kontrol diyagramları ölçülebilen (nicel) ve ölçülemeyen (nitel) özellikler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Nicel ve nitel kontrol diyagramlarının en genel türleri aşağıda gösterilmiştir [45].

- Nicel kontrol diyagramları
 - o Ortalama ve aralık kontrol diyagramları ($\bar{x} - R$)
 - o Ortalama ve standart sapma kontrol diyagramları ($\bar{x} - S$)
 - o Bireysel gözlem değerleri ve hareketli aralık kontrol diyagramları (I-MR)
- Nitel kontrol diyagramları
 - o Kusurlu oranı kontrol diyagramı (p)
 - o Kusurlu sayısı kontrol diyagramı (np)
 - o Kusur sayısı kontrol diyagramı (c)

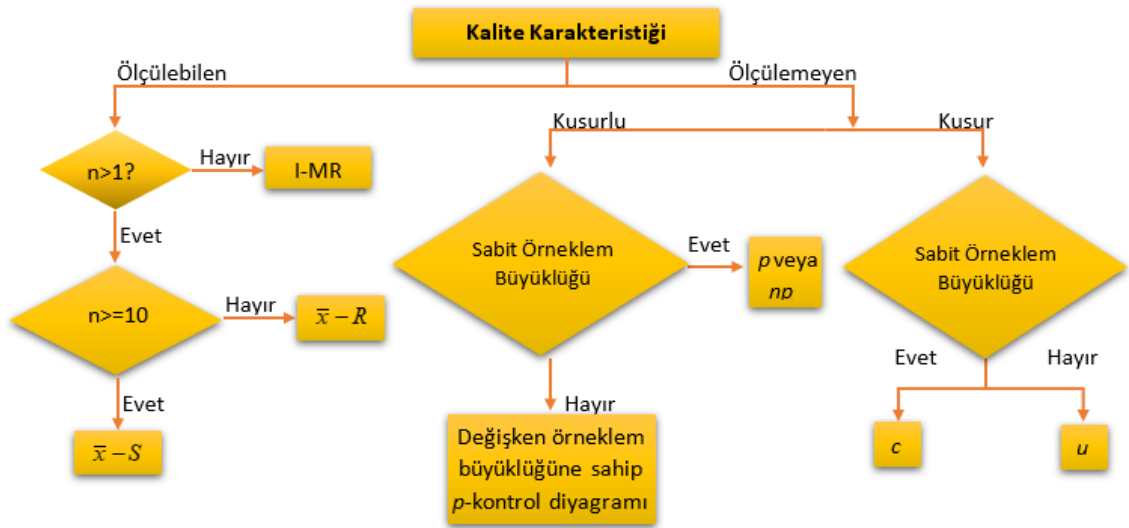
- o Birim başına kusur sayısı kontrol diyagramı (u)

Yukarda belirtilen diyagramları için özet veriler Tablo 2.4' de gösterilmiştir [46].

Tablo 2.4 Kontrol Diyagram Türleri

Diyagram Adı	Veri Tipi	Ölçü
$\bar{x} - R$	Ölçülebilen	Değişken Verinin Ortalaması
$\bar{x} - S$	Ölçülebilen	Değişken Verinin Standart Sapması
I-MR	Ölçülebilen	Bireysel Değişken Verisi
p	Ölçülemeyen	Hatalı Ürün Oranı
np	Ölçülemeyen	Hatalı Ürün Sayısı
c	Ölçülemeyen	Hatanın Sayısı
u	Ölçülemeyen	Birim Başına Hata Sayısı
CUSUM	Ölçülebilen, Ölçülemeyen	Kümülatif Toplam Değerleri
EWMA	Ölçülebilen	Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama

Ölçülebilen ve ölçülemeyen kalite özellikleri içerisinde örneklem büyüklüğü (n) ve değişkenliğine göre en uygun kontrol diyagramı için Şekil 2.11' den faydalanılabilir [47].



Şekil 2-11 Kontrol Diyagramı Seçim Tablosu

2.9.1 Nicel Kontrol Diyagramları

En, boy, ağırlık gibi ölçülebilir ve sayılarla ifade edilebilen kalite özellikleri için nicel kontrol diyagramları kullanılmaktadır [48]. Bu bölümde nicel kontrol diyagramları çeşitlerine değinilecektir.

2.9.1.1 Ortalama ve Aralık Kontrol Diyagramları ($\bar{x} - R$)

Bölüm 2.8’ de belirtildiği üzere kontrol diyagramları merkez çizgi ve alt, üst kontrol limitlerinden meydana gelmektedir. Kontrol diyagramlarında varyasyonun normal dağılım sergilediği varsayılır. Süreç içerisinde belli zaman aralıklarında sabit sayıda örneklem alınarak kurulacak diyagram tipine göre gerekli hesaplamalar yapılır ve diyagram inşa edilir.

$\bar{x} - R$ Kontrol diyagramları uzunluk, sıcaklık ve ağırlık gibi değişkenler kalite süreçlerini izlemek için kullanılır [49]. $\bar{x}$ konum yani sürecin zamana göre merkezi eğilimini hesaplamak için R ise sürecin zamana göre yayılımı hesaplamak için kullanılmaktadır [50].

Sürecin ortalaması (μ) ve standart sapmasının (σ) bilindiği durumlarda n alt örneklem büyüklüğü olmak üzere $\bar{x}$ kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli olan UCL, CL, ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [51].

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.1)$$

$$CL = \mu \quad (2.2)$$

$$LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

Sürecin ortalaması (μ) ve standart sapması (σ) her zaman bilinemeyebilir. Kontrol diyagramı oluşturabilmek için bu parametreler $\bar{\bar{x}}$, s ve R ile tahmin edilir [52]. Alt örneklem büyüklüğü n ve m farklı sayıda gözlem içeren bir süreçte her bir alt örnekleme ait ortalama (2.4) eşitliği yardımıyla bulunur [45].

$$\bar{\bar{x}} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2.4)$$

m sayıda alt örneklemin ortalaması (2.5) eşitliği yardımıyla bulunur [45].

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2.5)$$

$\bar{\bar{x}}$ değeri sürecin ortalamasını temsil etmektedir ve merkez çizgi bu değer temel alınarak hesaplanmaktadır [53]. Aralık değeri (R) her bir alt örneklemden en büyük ve en küçük x değerleri arasındaki farktır ve bu değer alt, üst kontrol limitlerinin hesaplamasında kullanılmaktadır. R değeri (2.6) eşitliği yardımıyla hesaplanır [45].

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.6)$$

m sayıda alt örnekleme ait ortalama ise (2.7) eşitliğiyle hesaplanır [45].

$$\bar{\bar{R}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (2.7)$$

Süreç ortalamasının ve standart sapmasının bilinmediği durumlarda $\bar{x}$ kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [45].

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (2.8)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (2.9)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (2.10)$$

Sürecin ortalaması (μ) ve standart sapmasının (σ) bilindiği durumlarda R kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli olan UCL, CL, ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [54].

$$UCL = \mu_R + 3\sigma_R \quad (2.11)$$

$$CL = \mu_R \quad (2.12)$$

$$LCL = \mu_R - 3\sigma_R \quad (2.13)$$

Süreç ortalamasının ve standart sapmasının bilinmediği durumlarda R kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [45].

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (2.14)$$

$$CL = \bar{R} \quad (2.15)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (2.16)$$

Denklemlerde belirtilen A_2 , D_3 ve D_4 değerleri EK A' da gösterilen örneklem hacmine göre farklı değerler alabilen katsayılardır.

2.9.1.2 Ortalama Ve Standart Sapma Kontrol Diyagramları ($\bar{x} - s$)

Örneklem hacminin $n \geq 10$ olması durumunda $\bar{x} - s$ kontrol grafikleri kullanılmaktadır [44]. s kontrol diyagramı süreç değişkenliği hakkında bilgi verir [41].

Alt örneklem büyüklüğü n ve m farklı sayıda gözlem içeren bir süreçte her bir alt örnekleme ait standart sapma (2.17) eşitliği yardımıyla hesaplanır [46].

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.17)$$

m sayıda alt örnekleme ait standart sapmaların ortalaması (2.18) eşitliği yardımıyla hesaplanır [46].

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_m}{m} \quad (2.18)$$

Sürecin ortalaması (μ) ve standart sapmasının (σ) bilindiği durumlarda n alt örneklem büyüklüğü olmak üzere $\bar{x}$ kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [55].

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.19)$$

$$CL = \mu \quad (2.20)$$

$$LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.21)$$

Süreç ortalamasının ve standart sapmasının bilinmediği durumlarda $\bar{x}$ kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [41].

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \quad (2.22)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (2.23)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \quad (2.24)$$

Süreç ortalamasının ve standart sapmasının bilindiği durumlarda s kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [55].

$$UCL = \mu_s + 3\sigma_s \quad (2.25)$$

$$CL = \mu_s \quad (2.26)$$

$$LCL = \mu_s - 3\sigma_s \quad (2.27)$$

Süreç ortalamasının ve standart sapmasının bilinmediği durumlarda s kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [41].

$$UCL = B_4 \bar{s} \quad (2.28)$$

$$CL = \bar{s} \quad (2.29)$$

$$LCL = B_3 \bar{s} \quad (2.30)$$

Denklemlerde belirtilen A_3 , B_3 ve B_4 değerleri EK A' da gösterilen örneklem hacmine göre farklı değerler alabilen katsayılardır.

2.9.1.3 Bireysel Gözlem Değerleri Ve Hareketli Aralık Kontrol Diyagramları (I-MR)

Süreçte takip edilen birden fazla kalite karakteristiği mevcutsa, süreç içerisinde birden fazla örnek alınamıyorsa veya süreç çok uzunsa hareketli aralık kontrol diyagramları kullanılmaktadır ve bu diyagramda alt örneklem hacmi 1 olarak alınmaktadır [41].

Hareketli aralık (2.31) eşitliği yardımıyla hesaplanır [56], [57].

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (2.31)$$

I kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [41].

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2.32)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (2.33)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2.34)$$

$\overline{MR}$; tüm gözlemlere ait hareketli genişlik ortalamasını temsil etmektedir. m adet gözlem olması durumunda m-1 adet hareketli genişlik meydana gelmektedir [41].

MR kontrol diyagramını oluşturabilmek için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [56], [57].

$$UCL = D_4 \overline{MR} \quad (2.35)$$

$$CL = \overline{MR} \quad (2.36)$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} \quad (2.37)$$

Denklemlerde belirtilen d_2 , D_3 ve D_4 değerleri EK A' da gösterilen birim sayısına göre farklı değerler alabilen katsayılardır.

2.9.2 Nitel Kontrol Diyagramları

Kalite karakteristiği olarak ürünlerin hata veya kusurlarıyla ilgileniliyorsa bu durumda nitel kontrol diyagramları kullanılmaktadır. Hatalı ürünlerle ilgilenildiğinde süreçte oluşacak kaymaları saptamak için p ve np kontrol diyagramı kullanılırken kusur sayısı ile ilgilenildiğinde c ve u kontrol diyagramları kullanılmaktadır [50].

2.9.2.1 Kusurlu Oranı Kontrol Diyagramı (p)

Süreçte ürünlerin kusurlu olup olmadığı ile ilgileniliyorsa p kontrol diyagramları kullanılmaktadır [11]. Sürecin değişkenliği iyi temsil edebilmesi için örnek büyüklüğü 50' den fazla olmalıdır [40].

Alınan her bir örnekteki kusur oranı p ile gösterilirken örneklerin kusur ortalaması $\bar{p}$ ile gösterilmektedir. Örnek hacmi n olmak üzere p kontrol diyagramı için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [58].

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.38)$$

$$CL = \bar{p} \quad (2.39)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.40)$$

2.9.2.2 Kusurlu Sayısı Kontrol Diyagramı (np)

Süreçte kusurlu oranı yerine kusurlu sayısı takip edilmek istenirse np kontrol diyagramları kullanılmaktadır. Karakteristik olarak p kontrol diyagramı ile aynı özellikleri sergiler. Örnek hacimleri aynı olan süreçlerde p ve np kontrol diyagramları aynı sonucu verecektir [59].

Örneklerin kusur ortalaması $\bar{p}$ ve örnek hacmi n olmak üzere np kontrol diyagramı için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [57].

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (2.41)$$

$$CL = n\bar{p} \quad (2.42)$$

$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (2.43)$$

2.9.2.3 Kusur Sayısı Kontrol Diyagramı (c)

Üretim süreci sonucu ortaya çıkan ürünlerde bir veya birden fazla kusur olabilir bazen kusurların sonucu olan kusurlu sayısı veya oranı yerine kusur sayısı veya oranı gözlenebilmek istenebilir bu durumlarda c ve u kontrol diyagramları kullanılmaktadır [49].

Örnekteki kusur sayısı c ve örneklerin kusur sayıları ortalamaları $\bar{c}$ olmak üzere c kontrol diyagramı için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [58].

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.44)$$

$$CL = \bar{c} \quad (2.45)$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.46)$$

2.9.2.4 Birim Başına Kusur Sayısı Kontrol Diyagramı (u)

u kontrol diyagramları birim başına düşen kusur sayısı gözlemlenmek istendiğinde kullanılmaktadır. u kontrol diyagramı ile c kontrol diyagramı arasındaki fark p ve np kontrol diyagramı arasındaki farkla eşleşmektedir. Örnek hacimleri aynı olan süreçlerde c ve u kontrol diyagramları aynı sonucu verecektir [50].

Birim başına düşen kusur sayısı ortalaması $\bar{u}$ ve n örnek hacmi olmak üzere u kontrol diyagramı için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [53].

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (2.47)$$

$$CL = \bar{u} \quad (2.48)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (2.49)$$

2.9.3 Diğer Kontrol Diyagramları

2.9.3.1 EWMA Kontrol Diyagramı

EWMA (Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama) kontrol diyagramı ilk olarak 1959 yılında Robets tarafında geliştirilmiştir. CUSUM kontrol diyagramıyla benzer özellikler taşıyan EWMA kontrol diyagramı CUSUM kontrol diyagramına göre çok daha kolay bir şekilde oluşturulabilmektedir. EWMA kontrol diyagramı bir sonraki gözlem değerinin tahminlenmesi için de kullanılabilir [60]. EWMA kontrol diyagramında veriler sürekli ve karakteristik olarak normal dağılıma uygunsa diyagram uygun sonuçlar verir [61].

Örneklem hacmini n ve örneklem ortalaması $\bar{X}_j$ ($j = 1, 2, 3, \dots, t, \dots, k$), $\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{j=1}^k \bar{X}_j}{k}$ ise t dönemi ait üstel ortalama (2.50) gibi olur ve $t=1$ için $Z_0 = \bar{\bar{x}}$ 'dır [62].

$$Z_t = \lambda \bar{X}_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} \quad (2.50)$$

(2.50) eşitliğinde bulunan Z_t değeri t dönemine ait ağırlık üstel ortalamayı temsil etmektedir [62]. Ayrıca eşitlikte belirtilen λ değeri üstel yumuşatma değerini temsil etmektedir. $\lambda = 1$ alındığında son gözlem değeri temel alınıp önceki gözlem değerlerinin etkisini 0 olacaktır [63].

Kontrol diyagramının limit hesaplamalarında standart sapma kullanılır ve (2.51) eşitliği ile hesaplanır [40].

$$\sigma_{z_t} = \sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)n}} \quad (2.51)$$

Eğer σ değeri bilinmiyorsa kontrol limitleri hesaplamasında (2.52) eşitliği kullanılır [40].

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (2.52)$$

Ana kütle ortalaması ve standart sapma değerinin bilinmemesi durumunda EWMA kontrol diyagramına ait kontrol limitleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [64].

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (2.53)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (2.54)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (2.55)$$

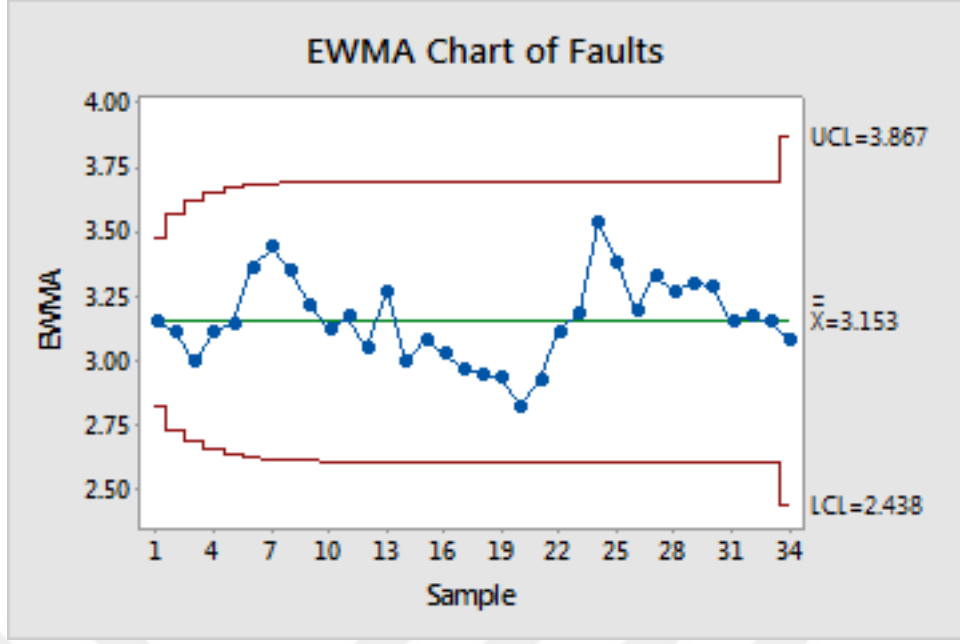
Ana kütle ortalaması ve standart sapma değerinin bilinmesi durumunda EWMA kontrol diyagramı için gerekli değerler olan UCL, CL ve LCL sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır [65].

$$UCL = \mu_0 + 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \quad (2.56)$$

$$CL = \mu_0 \quad (2.57)$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \quad (2.58)$$

Örnek bir EWMA kontrol diyagramı Şekil 2.12' de gösterilmiştir [66].



Şekil 2-12 EWMA Kontrol Diyagramı

2.9.3.2 CUSUM Kontrol Diyagramı

CUSUM (Kümülatif Toplam) kontrol diyagramları süreç içerisinde Shewhart kontrol diyagramları tarafından ortalama ve ortalamanın altındaki değişimleri yansıtlamayan durumlar için kullanılmaktadır. İlk olarak 1954 yılında E.S. Page tarafından geliştirilmiştir. CUSUM kontrol diyagramları temel olarak örneklem ortalaması ile hedeflenen değer arasındaki farkların kümülatif farklarının toplamı esas alınarak oluşturulur [67]. CUSUM kontrol diyagramları süreç içerisinde beliren ani değişimleri hemen tespit edebilmekte ve zaman belirgin olarak görülebilmektedir [68].

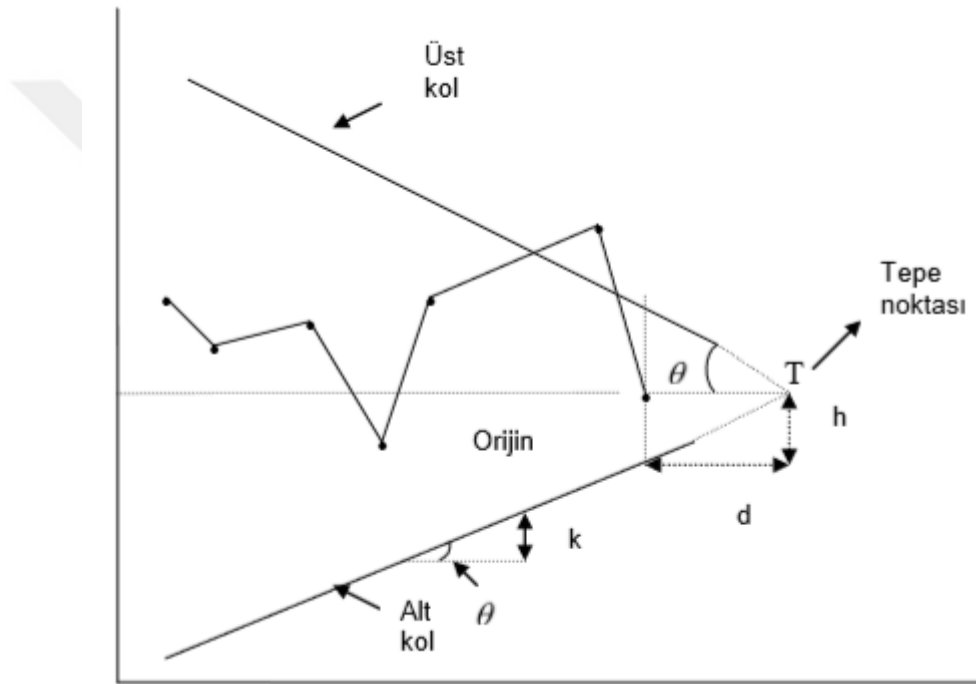
Süreç içerisindeki gözlem değerleri x_i olarak tanımlanırsa bu değerlerin kümülatif toplamı (2.59)' deki gibi olmaktadır [67].

$$S_t = \sum_{i=1}^t (x_i - k) = S_{t+1} + (x_1 - k) \quad (2.59)$$

Eşitlikte belirtilen k değeri hedeflenen değeri temsil etmektedir. CUSUM değeri ise (2.60) eşitliği yardımıyla hesaplanır [67].

$$S_t = \sum_{i=1}^t (\bar{x}_j - k) \quad (2.60)$$

CUSUM kontrol diyagramlarında Shewhart kontrol diyagramlarında kullanılan limitlere benzer olarak V maskesi kullanılmaktadır. Cusum kontrol diyagramlarında bu limitler V şekline benzediği için adlandırma V maskesi olarak yapılmıştır. Shewhart kontrol diyagramlarında olduğu gibi gözlem değerleri V maskesi içerisinde ise süreç kontrol altındadır aksi halde süreç kontrol dışındadır [67]. Örnek bir V maskesi Şekil 2.13' de gösterilmiştir [69].



Şekil 2-13 V Maskesi

CUSUM kontrol diyagramlarında her bir gözlem değeri C_i olarak tanımlanmaktadır. Her yeni gözlem değerinde V maskesi tekrar oluşturularak ve süreç değerlendirilir. Elde edilen değer grafikte O noktasına yerleştirilir. Değerden paralel olarak d birim uzaklığında tepe noktası belirlenir. Tepe noktasında belirli bir θ açısı ile iki doğru çizilir. Gözlem değerlerinin bu iki doğru arasında olup olmama durumuna göre sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilir [69].

V maskesini oluşturabilmek için d ve θ değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler sırasıyla (2.61) ve (2.62) eşitlikleri yardımıyla hesaplanır [65].

$$d = \left(\frac{2}{\delta^2} \right) \ln \left(\frac{1-\beta}{\alpha} \right) \quad (2.61)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta}{2A} \right) \quad (2.62)$$

(2.61) eşitliğinde bulunan α değeri süreç ortalamasında kayma olmamasına rağmen kayma olma olasılığının hesaplanmasını temsil ederken β değeri süreç ortalamasında kayma varken tespit edeme olasılığını temsil etmektedir. Δ değeri ise süreç ortalamasındaki kaymayı temsil etmektedir. (2.61) eşitliğinde bulunan δ değeri (2.63) eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır [65].

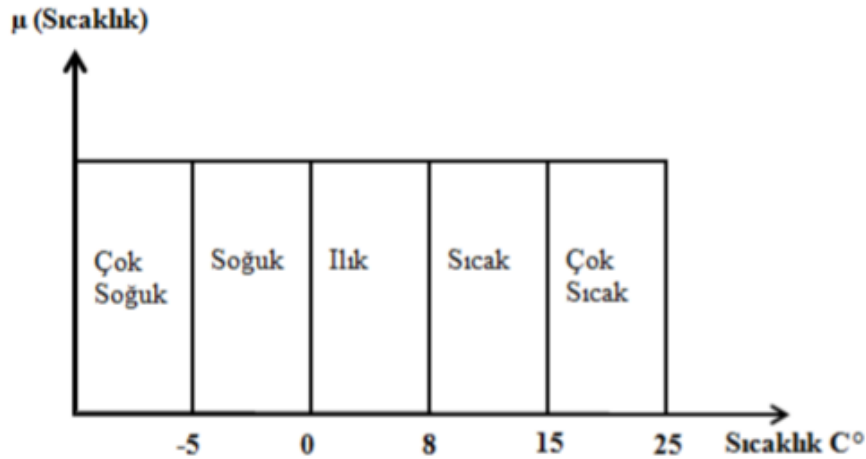
$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}} \quad (2.63)$$

Kontrol diyagramı oluşturma sürecinde verilerin netliği kontrol diyagramının etkinliği için en önemli etkidir. Personel, kullanılan ölçüm aleti veya metottan kaynaklı olarak elde edilen ölçümlerden %100 olarak emin olamayız. Bulanık mantık, klasik mantıkta modellenemeyen belirsizliği etkin bir biçimde modelleyebilmektedir. Bu sebepten dolayı bahsi geçen hata kaynaklarından elde edilen verilerin doğruluğu için bulanık mantık metodolojisi son dönemlerde kullanılmaya başlanmıştır. Tip-1 (klasik) bulanık küme yaklaşımıyla oluşturulan kontrol diyagramları temelde üyelik fonksiyonları yardımıyla ölçüm değerlerine tolerans aralığı sağlamaktadır. Bu sebeple ölçüm değerlerinin doğruluk derecesinin artırılması sağlanmaktadır. Üretim faaliyetlerinin ve kalite karakteristiğinin çok hassas olduğu süreçlerde tip-1 bulanık küme yaklaşımı yerine üyelik derecelerinin de bulanık olarak atanabildiği tip-2 bulanık küme yaklaşımı daha efektif sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple bu tez çalışması kapsamında nicel kontrol diyagramı içerisinde bulunan $\bar{x} - R$, $\bar{x} - s$ ve I-MR kontrol diyagramları tip-2 bulanık küme yaklaşımı kullanılarak tasarlanmıştır.

3.1 Bulanık Mantık

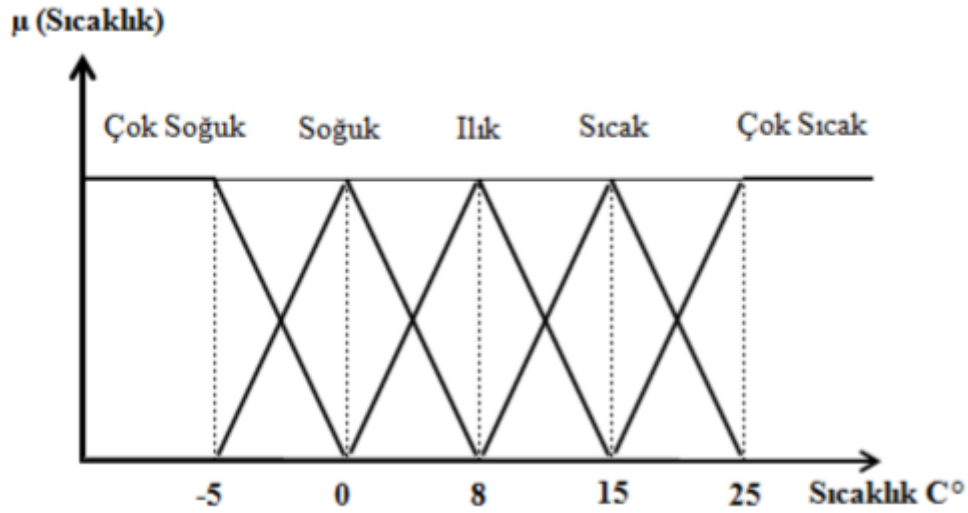
Klasik mantık keskin çizgilerle sınırlandırılmıştır. Klasik mantığa göre bir şey ya “doğru” dur (bu durum 1 ile gösterilir.) ya da “yanlış” tır (bu durum 0 ile gösterilir.). Bunun dışındaki ara değerleri hiçbir biçimde ifade edemeyiz [70], [71]. Günlük hayatta karşılaşılan problemlerde, tahminlerde veya karar vermede kesin ifadeler kullanamayabiliriz. Bu gibi durumlarda nitel olarak ifade edilen verilerin modellenmesi çok güç olacaktır. Bulanık mantık nitel verilerin nicelleştirilmesini sağlayarak kolaylıkla matematiksel model kurmamıza yardımcı olmaktadır [72]. Çünkü bulanık mantıkta bir önermeyi 0 ve 1 gibi kesin çizgiler yerine $[0,1]$ arasında belirli derecelerle ifade edebiliriz. Bu sayede bir şeyin aynı anda ne kadar doğru ne kadar yanlış olduğunu ifade edebilmiş oluruz.

Bulanık mantıkla klasik mantık arasındaki belirgin farklılığı bir suyun soğuk mu sıcak mı kararını verme örneğinde görebiliriz. Şekil 3.1’ de klasik küme ile tanımlanmış su sıcaklığı grafiği gösterilmiştir [73].



Şekil 3-1 Klasik Küme İle Tanımlanmış Su Sıcaklığı Grafiği

Şekil 3.1' e göre $[-5,0]$ derece soğuk, $[0,8]$ derece ılık, $[8,15]$ derece sıcak, $[15,25]$ derecedeki su ise çok sıcak suyu ifade etmektedir. Grafikte; 0 derece, soğuk ve ılık arasında sınırı oluşturmaktadır. Yani 0,1 derecedeki su ılık olarak değerlendirilirken -0,1 derecedeki su ise soğuk olarak değerlendirilmektedir. Bu durumu gerçek hayatta yorumlamak istersek şu kaniya varırız. Eğer 0.1 derecedeki su ılıksa -0.1 derecedeki su da ılığa çok yakındır. Bu durumla ilgili ikinci bir fark da şurada bulunmaktadır. Yine grafikte 1 derecedeki su ile 7 derecedeki su ılık grubuna ait olmasına rağmen bu durumu yine gerçek hayatta yorumladığımızda 1 derecedeki sıcaklıkla 7 derecedeki sıcaklık arasında kayda değer bir fark vardır. Bu fark da iki farklı değerin ılıklik seviyelerinin farklı olması gerektiğini gösterir. Klasik kümedeki bu keskin çizgileri suyun sıcaklık grafiğini bulanık küme ile gösterdiğimizde ortadan kaldıracabiliriz. Bulanık küme ile oluşturulan su sıcaklığı grafiği Şekil 3.2' de gösterilmiştir [73].



Şekil 3-2 Bulanık Küme ile Tanımlanmış Su Sıcaklık Grafiği

Şekil 3.2 'ye göre 0 derece tam olarak soğuk grubuna aittir fakat aynı anda çok soğuk ve ılık grubunun da başlangıcıdır. Suyun sıcaklık değerini 0,1 olarak ele alalım. Bu sıcaklık değeri çok büyük bir üyelik derecesiyle soğuk grubuna aitken aynı zamanda çok küçük bir üyelik derecesiyle de ılık grubuna aittir. Aynı zamanda -0,1 sıcaklık değeri çok büyük bir üyelik derecesiyle soğuk grubuna aitken çok küçük bir üyelik derecesiyle de çok soğuk grubuna dahildir. Görüldüğü üzere bulanık mantık da

keskin sınırlar bulunmamakta gruplar arasında geçişler olmaktadır. Farklı bir taraftan bakmak istersek, 1 derecedeki su çok ufak bir üyelik derecesiyle ılık grubuna aitken 7 derecedeki su çok yüksek bir üyelik derecesiyle ılık gruba aittir. Yani; bulanık mantık sayesinde gruplar içindeki elemanlar da belirli üyelik derecesiyle o gruba ait olmaktadır [73].

Bu gibi sebeplerden dolayı karşılaşılan olayların çözümünde bulanık küme metodolojisi tercih edilmektedir. Bulanık küme gösterimi (3.1) eşitliğindeki gibidir [72].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = [0,1] \quad (3.1)$$

Eğer bulanık küme $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ gibi kesikli ise gösterimi (3.2) eşitliğindeki gibi olmaktadır [72].

$$\tilde{A} = \sum_i^n x_i / \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (3.2)$$

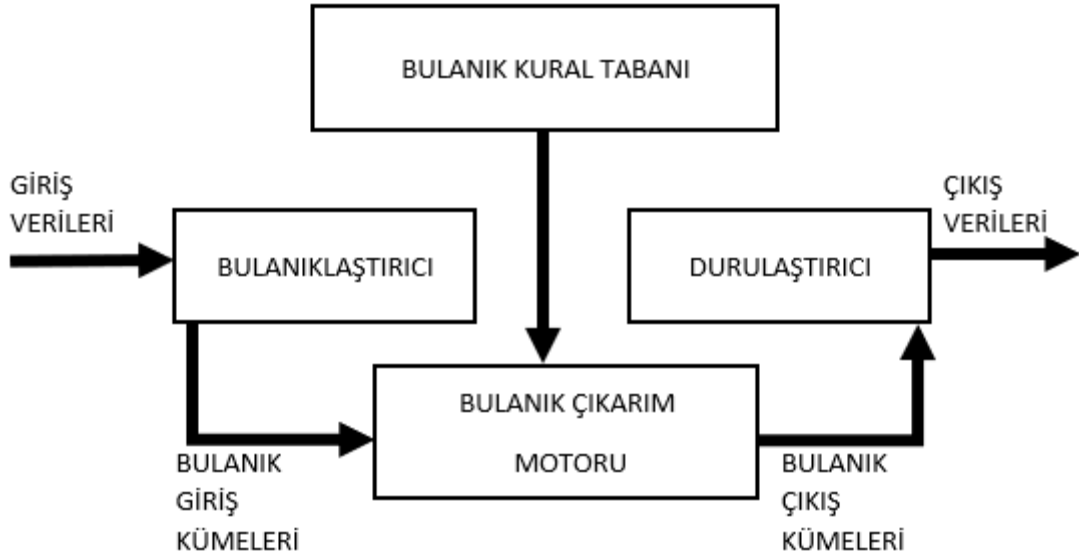
Eğer bir bulanık küme sürekli ise gösterimi (3.3) eşitliğindeki gibi olur [72].

$$\tilde{A} = \int x_i / \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (3.3)$$

3.2 Bulanık Mantık Çalışma Prensibi

Bulanık mantıkta sözel ifadeleri dikkate alarak modelleme yapabilmemiz için belirli bir metodoloji uygulanması gerekmektedir. Süreç; girdilerin belirli bir üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılması ile başlar. Daha sonra girdilere belli bir kural tabanında örüntüleme işlemi yapılarak çıkarımlar oluşturulur ve bulanık sayılar durulaştırılarak kesin net sonuçlar elde edilir.

Bulanık mantık çalışma prensibi Şekil 3.3' de gösterilmiştir [74].



Şekil 3-3 Bulanık Mantık Çalışma Prensibi

Şekil 3.3 'ün temel elemanlarının açıklamaları aşağıdaki gibidir [74].

- **Giriş veriler:** İncelenecek olan verilerdir.
- **Bulanıklaştırıcı:** Sözel olarak ifade edilen verilerin belirli bir üyelik derecesi ile üyelik fonksiyonlarına atanması işlemlerini içerir.
- **Bulanıksal kural tabanı:** Mantıksal ilişkilerin kurulduğu aşamadır.
- **Bulanık çıkarım motoru:** Mantıksal ilişkilerin hepsini bir araya getirerek düzenli ve sistemli bir bilgi akışının sağlandığı aşamadır.
- **Durulaştırıcı:** Bulanık sonuçları belirgin sayısal çıktılara dönüştürüldüğü aşamadır.
- **Çıktı birimi:** Sistemden elde edilen sonuçları içerir.

3.3 Bulanık Mantığın Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları

Prof. Lotfi A. Zadeh 1965 yılında yayınlanan bir makalesinde “Bulanık Mantık” kavramını akademik dünyaya tanıtmıştır [75]. 1973 yılında yayınlanan bir makalesinde de dilbilimsel değişkenliği ele almıştır [76].

Bulanık mantık kavramının ortaya çıkışından itibaren pek çok şirket ürün ve hizmet geliştirmesinde bulanık mantık metodolojisini kullanmıştır. İlk uygulamalar buhar

makinesi denetimi, çimento fırını denetimi ve metro istasyonu tasarımında yapılmıştır [77]. Bulanık mantığın uygulama alanları birkaç örnekle Tablo 3.1’ de gösterilmiştir [78].

Tablo 3.1 Bulanık Mantık Uygulama Alanları

Uygulama Alanı	Uygulama
Biyoloji ve Tıp	Teşhis sistemleri, kanser araştırmaları
Yönetim Kara Destek Sistemler	Fabrika yeri seçimi, satış stratejilerinin belirlenmesi
Psikoloji	İnsan davranışı analizi
Ekonomi ve finans	Maliyet- fayda analizleri, yatırım değerlendirmesi
Çevre Bilimi	Hava Tahmini, su kontrolü
Mühendislik ve Bilgisayar Bilimi	Kontrol sistemleri, bilgisayar ağ dizaynı

Bulanık mantık kullanılarak yapılan bazı endüstriyel uygulamalar Tablo 3.2’ de gösterilmiştir [77].

Tablo 3.2 Bulanık Mantığın Bazı Endüstriyel Uygulamaları

Şirket	Ürün
AEG, Sharp, Goldstar	Çamaşır makinesi
Whirlpool	Buzdolabı
Tefal	Fırın/Kızartıcı
Sharp	Mikrodalga Fırını
Bosch	Şarj Cihazı
Philips, Siemens	Elektrikli Süpürge

Ford	Klima Denetim
Kredi Kartı	GE Corporation

3.4 Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Klasik küme mantığından farklı olarak gerçek hayatın uyarlanmasında çok daha esnek olan bulanık mantığın da diğer matematiksel sistemler gibi avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bulanık mantığın avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır [79].

- İnsan düşünce tarzına uyumludur.
- Kesin değer verilemeyen sözel ifadeler matematiksel olarak kolaylıkla modellenenir.
- Doğrusal olarak ifade edilemeyen fonksiyonların modellenmesine olanak tanır.
- Modelleme, yazılımsal hale kolaylıkla getirilebilir.
- Uygulamalarda mutlaka matematiksel modele ihtiyaç duyulmaz.
- Uzman kişilere danışılarak sonuçları gerçeğe yakın model kurulabilir.
- Kontrol tekniklerine uyumludur.

Bulanık mantığın dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır [77].

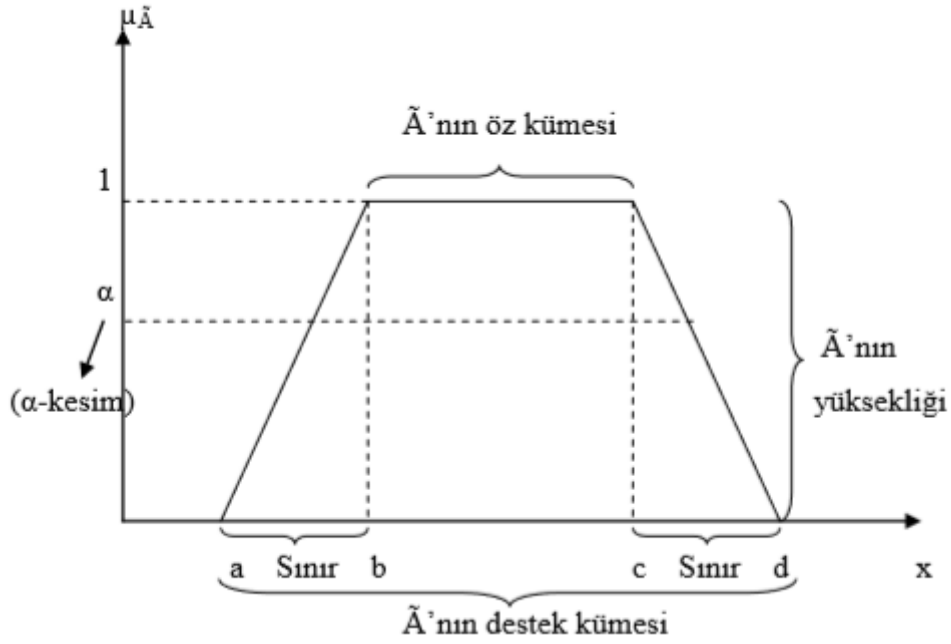
- Kurulan sistemin kararlılığı ve denetlenebilirliğini analiz edecek belirli bir yöntem bulunmamaktadır.
- Üyelik dereceleri kurulacak olan sisteme özgüdür. Başka sistemlerde istenilen sonuçları veremeyebilir.
- Üyelik derecelerinin belirlenmesi kolay değildir ve bu aşama uzun süreye ihtiyaç duyabilir.
- Kuralların uzman kişiler tarafından tanımlanması gerekir. Kuralları tanımlamak zor olabilir.
- Üyelik değişkenlerinin belirlenmesinde standart bir yöntem bulunmamaktadır. Çoğu zaman en iyi sonuçlar deneme yoluyla elde edilir.

3.5 Klasik Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler, klasik kümelerden farklı olarak belirsizliklerin modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bulanık küme kavramı son zamanlarda belirsizlik türlerine göre daha da çeşitlenmeye başlamıştır. Bu bölümde Zadeh tarafından geliştirilen klasik (tip-1) bulanık kümelerin matematiksel özelliklerine değinilecektir.

3.5.1 Tip-1 Bulanık Küme Özellikleri

Evrensel küme üzerinde tanımlanan bulanık kümeler destek, öz, sınır, yükseklik, normallik gibi özelliklere sahiptir. Bu bölümde bulanık kümelerin bu özelliklerinden bahsedilecektir. Anlatılacak özelliklerin tümü Şekil 3.4' de gösterilen bulanık küme üzerinden görsel olarak görülebilmektedir [80].



Şekil 3-4 Bulanık Küme Üzerinde Özelliklerinin Gösterimi

Destek Kümesi: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık kümede üyelik derecesi 0' dan büyük olan tüm elemanların oluşturduğu klasik kümeye ilgili bulanık kümenin destek kümesi olarak adlandırılmaktadır. Destek kümesinin matematiksel gösterimi (3.4) eşitliğindeki gibi olmaktadır [81], [82].

$$Destek(\tilde{A}) = \{x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (3.4)$$

Öz Kümesi: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık kümede üyelik derecesi 1'e eşit olan tüm elemanların oluşturduğu klasik kümeye ilgili bulanık kümenin öz kümesi olarak adlandırılmaktadır. Öz kümesinin matematiksel gösterimi (3.5) eşitliğindeki gibi olur [83].

$$\text{Öz}(\tilde{A}) = \{x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (3.5)$$

Sınır Kümesi: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık kümede üyelik derecesi 0 ile 1 arasında olan tüm elemanların oluşturduğu klasik kümeye ilgili bulanık kümenin sınır kümesi denilmektedir. Sınır kümesinin matematiksel gösterimi (3.6) eşitliğindeki gibi olmaktadır [84], [85].

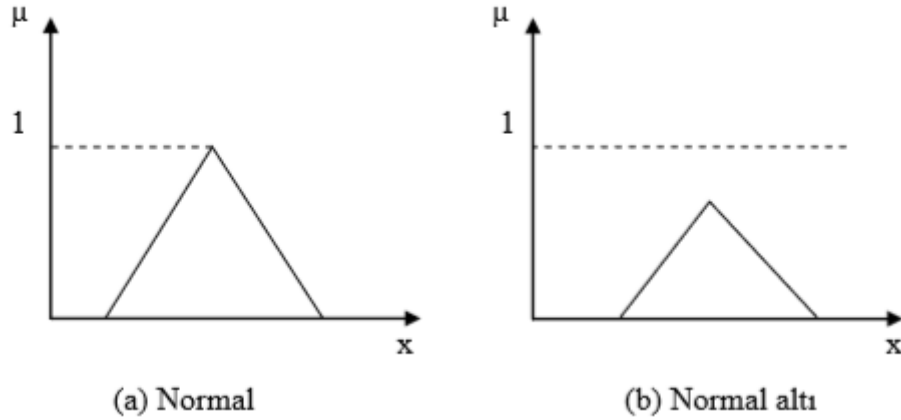
$$\text{Sınır}(\tilde{A}) = \{x \in X, 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\} \quad (3.6)$$

Alfa (α) Kesim Kümesi: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık kümede belirli bir üyelik derecesinin üstündeki küme elemanlarının ilgili bulanık kümeye üyelik derecelerini 1 yapmak istersek α kesim işlemi yapmak gerekir. Yapılacak olan α kesim işleminde α 'nin değeri $[0,1]$ arasında olabilir [80], [82].

Yükseklik: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan nokta ilgili bulanık kümenin yüksekliğini göstermektedir. Yüksekliğin matematiksel gösterimi (3.7) eşitliğindeki gibidir [81].

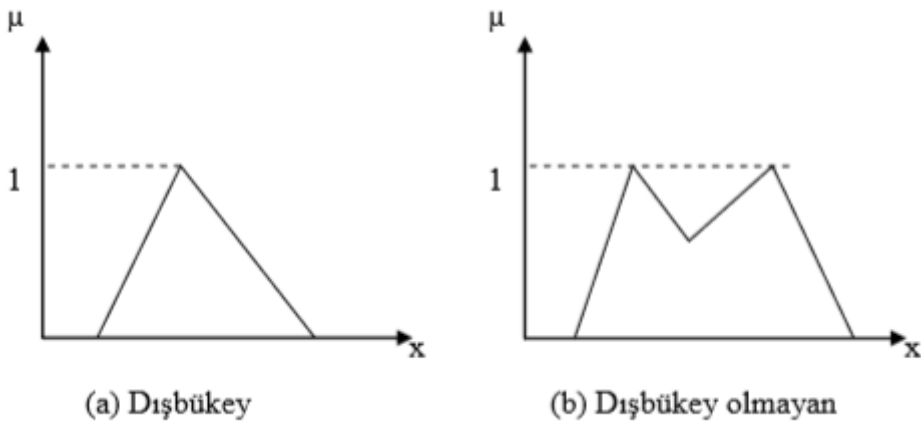
$$h(\tilde{A}) = \sup_{x \in X} (\mu_{\tilde{A}}(x)) \quad (3.7)$$

Normallik: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık kümenin yüksekliği 1'e eşit ise ($h(\tilde{A}) = 1$) bu küme normal, eğer 1'den küçükse ($h(\tilde{A}) < 1$) bu küme normal altı olarak tanımlanmaktadır [86]. Şekil 3.5' de normal ve normal altı küme gösterilmiştir [87], [88].



Şekil 3-5 Normal ve Normal Altı Bulanık Küme

Dışbükeylik: Evrensel kümede tanımlanan bir bulanık küme içerisinde seçilen iki noktanın birleşimiyle ortaya çıkan aralıktaki tüm elemanlar bulanık kümeye aitse bulanık küme dışbükey özelliği gösterirken, aksi durumda bulanık küme dışbükeylik özelliği göstermez. Bulanık kümelerde dışbükeylik Şekil 3.6' da gösterilmiştir [85].



Şekil 3-6 Bulanık Kümelerde Dışbükeylik Özelliği

3.5.1.1 Aralık Tipi Bulanık Sayılar

Bulanık değeri belirli iki sayı arasında verilen bulanık sayılar aralık tipi bulanık sayı olarak adlandırılmaktadır. Bu sayılara ait aritmetik işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [89].

Toplama işlemi:

$$[a;b] \oplus [c;d] = [a+c; b+d] \quad (3.8)$$

Çıkarma işlemi:

$$[a;b] - [c;d] = [a-d; b-c] \quad (3.9)$$

Çarpma işlemi:

$$[a;b] \otimes [c;d] \cong [enk(ac; ad; bc; bd); enb(ac; ad; cb; bd)] \quad (3.10)$$

Sabit sayıyla çarpma:

$$k \otimes [a;b] \cong [ka, kb], k > 0 \quad (3.11)$$

Bölme işlemi:

$$[a;b] / [c;d] \cong [enk(a/c; a/d; b/c; b/d); enb(a/c; a/d; c/b; b/d)], \quad (3.12)$$

$$k > 0 \quad c \neq 0, d \neq 0$$

3.5.1.2 Alfa Kesim Durumunda Aritmetik İşlemler

$\tilde{A}_\alpha = [a_1^\alpha, a_2^\alpha]$ ve $\tilde{B}_\alpha = [b_1^\alpha, b_2^\alpha]$; $[0,1]$ aralığında alfa kesimi yapılmış bulanık sayı olmak üzere temel aritmetik işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [90].

Toplama işlemi:

$$(\tilde{A} + \tilde{B})_\alpha = [a_1^\alpha + b_1^\alpha, a_2^\alpha + b_2^\alpha] \quad (3.13)$$

Çıkarma işlemi:

$$(\tilde{A} - \tilde{B})_\alpha = [a_1^\alpha - b_2^\alpha, a_2^\alpha - b_1^\alpha] \quad (3.14)$$

Çarpma işlemi:

$$(\tilde{A} \times \tilde{B})_\alpha = [a_1^\alpha \times b_1^\alpha, a_2^\alpha \times b_2^\alpha] \quad (3.15)$$

Bölme İşlemi:

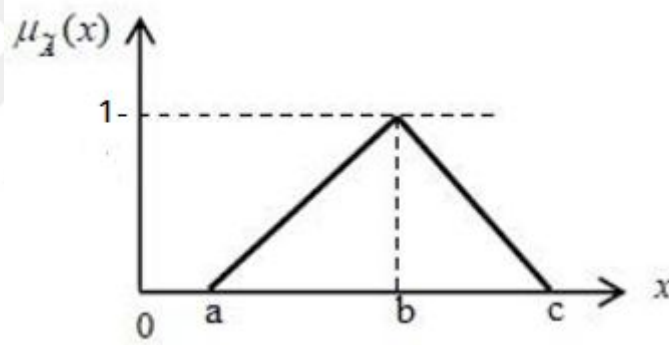
$$(\tilde{A} / \tilde{B})_{\alpha} = [a_1^{\alpha} / b_1^{\alpha}, a_2^{\alpha} / b_2^{\alpha}] \quad (3.16)$$

3.5.2 Tip-1 Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları

Tüm bulanık sistemler temelinde bulanık kümeler dayanmaktadır. Bulanık küme oluştururken de üyelik fonksiyonlarından faydalanırız. Üyelik fonksiyonları tanımlanacak olan sistemin özgün yapısına göre karar verici tarafından seçilir. En çok tercih edilen üyelik fonksiyonları sırasıyla üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonlarıdır [91].

3.5.2.1 Üçgensel Üyelik Fonksiyonları

$\tilde{A} = (a, b, c)$ şeklinde ifade edilen üçgensel bulanık sayıya (ÜBS) ait üyelik fonksiyonu grafik gösterimi Şekil 3.7' deki gibi olmaktadır [92], [93].



Şekil 3-7 Üçgensel Üyelik Fonksiyonu Gösterimi

Üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılarda a parametresi en düşük sınırı, c parametresi en yüksek sınırı ve b parametresi ise a ile c sınırları arasında bulunan en büyük üyelik fonksiyonuna sahip sınırı göstermektedir. Üyelik fonksiyonu gösterimi (3.17) eşitliğindeki gibi olmaktadır [94].

$$\mu_{\tilde{A}}(x, a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \text{ ise} \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \text{ ise} \\ 0 & x < a \text{ veya } x > c \text{ ise} \end{cases} \quad (3.17)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip pozitif iki bulanık sayı ve k pozitif bir gerçel sayı olmak üzere üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümelerdeki aritmetik işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [95], [96].

Toplama işlemi:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (3.18)$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) - (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (3.19)$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (3.20)$$

Sabit Sayıyla Çarpma:

$$\tilde{A} \otimes k = (a_1, a_2, a_3) \otimes k = (a_1 \times k, a_2 \times k, a_3 \times k) \quad (3.21)$$

Bölme İşlemi:

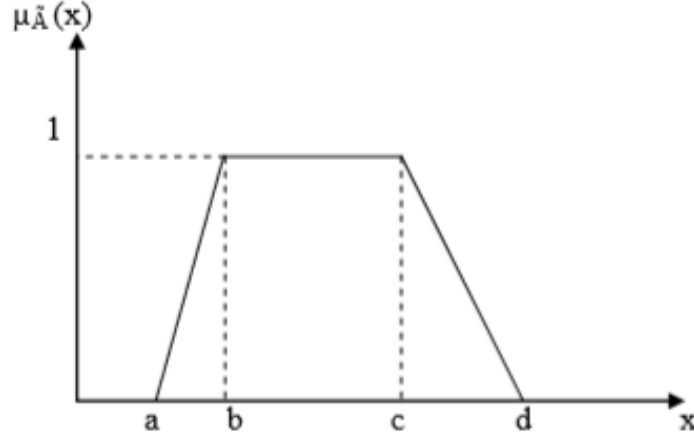
$$\tilde{A} / \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) / (b_1, b_2, b_3) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3) \quad (3.22)$$

Tersini Alma:

$$\tilde{A}^{-1} = (a_1, a_2, a_3)^{-1} = (1/a_1, 1/a_2, 1/a_3) \quad (3.23)$$

3.5.2.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

$\tilde{A} = (a, b, c, d)$ şeklinde ifade edilen yamuk bulanık sayıya (YBS) ait üyelik fonksiyonu grafik gösterimi Şekil 3.8' de matematiksel gösterimi ise (3.30) eşitliğindeki gibi olmaktadır [97].



Şekil 3-8 Yamuk Bulanık Sayı

Şekil 3.9' da $[a, d]$ aralığı yamuk bulanık sayının destek noktalarını oluştururken, $[b, c]$ aralığı üyelik derecesi 1'e eşittir ve bulanık sayının özünü temsil eder [98].

$$\mu_{\tilde{A}}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x \leq d \\ 0 & x < a \vee x > d \end{cases} \quad (3.30)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ yamuk üyelik fonksiyonuna sahip pozitif iki bulanık sayı ve k pozitif bir gerçel sayı olmak üzere yamuk üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümelerdeki aritmetik işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [95].

Toplama işlemi:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (3.31)$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) - (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4) \quad (3.32)$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3, a_4 \times b_4) \quad (3.33)$$

Sabit Sayıyla Çarpma:

$$\tilde{A} \otimes k = (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes k = (a_1 \times k, a_2 \times k, a_3 \times k, a_4 \times k) \quad (3.34)$$

Bölme İşlemi:

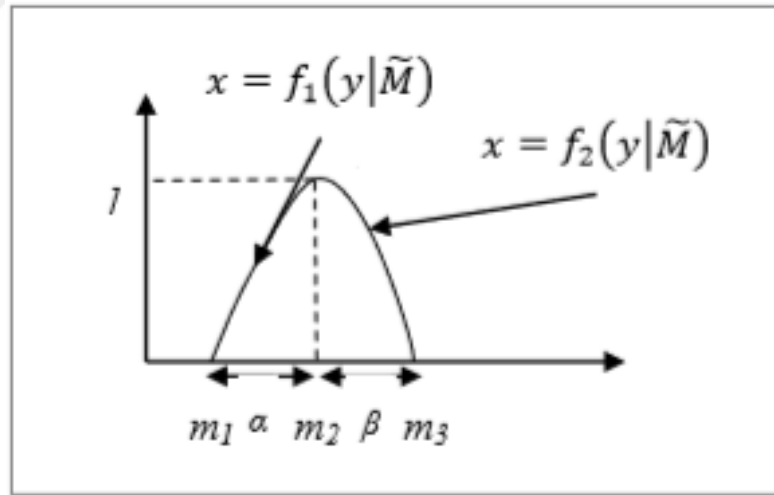
$$\tilde{A} / \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4) / (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 / b_4, a_2 / b_3, a_3 / b_2, a_4 / b_1) \quad (3.35)$$

Tersini Alma:

$$\tilde{A}^{-1} = (a_1, a_2, a_3, a_4)^{-1} = (1/a_4, 1/a_3, 1/a_2, 1/a_1) \quad (3.36)$$

3.5.2.3 LR Tipi Bulanık Sayılar

Bulanık sayılarda LR tip gösterimi Dubois ve Prade (1978) tarafından geliştirilmiştir. LR üyelik fonksiyonları ÜBS gibi 3 parametre ile tanımlanır. Bu parametreleri sırasıyla m, α ve β diye adlandırabiliriz. LR tip bulanık sayılarda sıralama sol, orta ve sağ referans noktaları olarak tanımlanmıştır. LR tipi üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi Şekil 3.9’de matematiksel gösterim ise (3.24) eşitliğindeki gibi olmaktadır [99].



Şekil 3-9 LR Tip Bulanık Sayılar

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L((m-x)/\alpha) & x \leq m, \alpha > 0 \\ R((x-m)/\beta) & x \geq m, \beta > 0 \end{cases} \quad (3.24)$$

$\tilde{A} = (m, \alpha, \beta)$ ve $\tilde{B} = (n, \gamma, \delta)$ iki pozitif LR tip bulanık sayı ve k pozitif gerçel sayı olmak üzere temel aritmetiksel işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [99], [100].

Toplama:

$$\tilde{A}_{LR} + \tilde{B}_{LR} = (m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} \cong (m+n, \alpha+\gamma, \beta+\delta)_{LR} \quad (3.25)$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{A}_{LR} - \tilde{B}_{LR} = (m, \alpha, \beta)_{LR} - (n, \gamma, \delta)_{LR} \cong (m-n, \alpha+\delta, \beta+\gamma)_{LR} \quad (3.26)$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{A}_{LR} \otimes \tilde{B}_{LR} = (m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} \cong (mn, m\gamma + n\alpha, m\delta + n\beta)_{LR} \quad (3.27)$$

Sabit Sayıyla Çarpma:

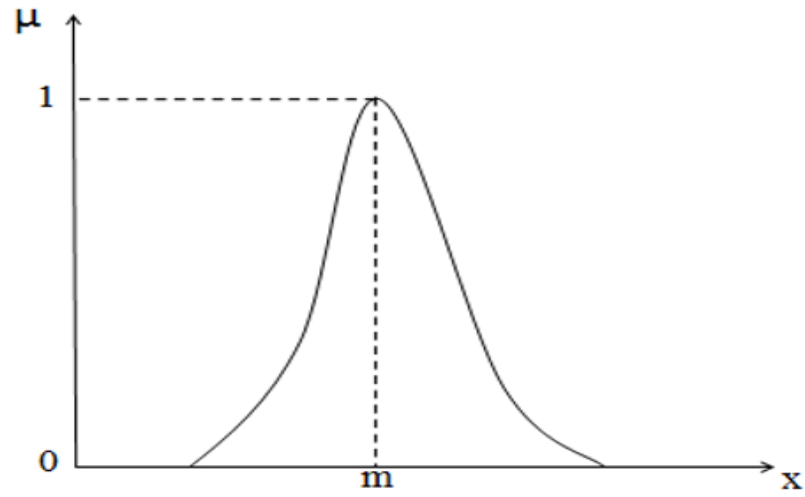
$$\tilde{A}_{LR} \otimes k = (m, \alpha, \beta)_{LR} \otimes k \cong (m \times k, \alpha \times k, \beta \times k)_{LR} \quad (3.28)$$

Bölme işlemi:

$$\tilde{A}_{LR} / \tilde{B}_{LR} = (m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} \cong \left(\frac{m}{n}, \frac{\delta m + \alpha n}{n^2}, \frac{\gamma m + \beta n}{n^2} \right)_{LR} \quad (3.29)$$

3.5.2.4 Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonları 2 parametre ile tanımlanır. Bu parametreler sırasıyla m ve σ 'dir. Gauss üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi Şekil 3.10' da matematiksel gösterimi ise (3.37) eşitliğindeki gibi olmaktadır [101].



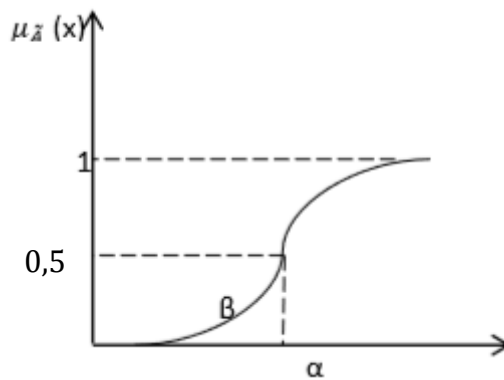
Şekil 3-10 Gauss Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = e^{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.37)$$

“m” merkez değerini temsil ederken σ değeri ise standart sapmayı temsil etmektedir. Standart sapma ne kadar küçülürse çan daralmakta, ne kadar büyürse çan da genişlemektedir [101].

3.5.2.5 Sigmodial Üyelik Fonksiyonu

Sigmodial üyelik fonksiyonları 2 parametre ile tanımlanır. Bu parametreler sırasıyla β ve α ’dır. Sigmodial üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi Şekil 3.11’ de matematiksel gösterimi ise (3.38) eşitliğindeki gibi olmaktadır [102].



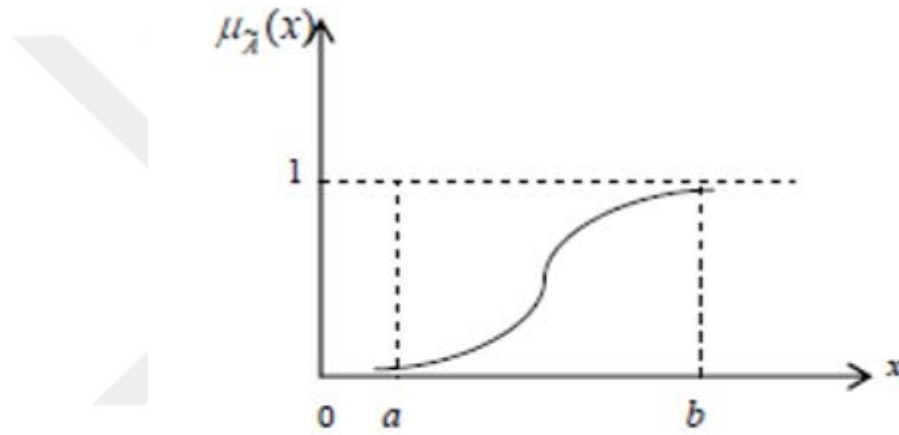
Şekil 3-11 Sigmodial Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \beta, \alpha) = \left(\frac{1}{1 + e^{-\beta(x-\alpha)}} \right) \quad (3.38)$$

Eşitlikteki β eğimi temsil ederken α fonksiyonun geçiş noktasını temsil etmektedir [103].

3.5.2.6 S Şekilli Üyelik Fonksiyonu

S şekilli üyelik fonksiyonları 2 parametre ile tanımlanır. Bu parametreler sırasıyla a ve b 'dir. S şekilli üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi Şekil 3.12' de matematiksel gösterimi ise (3.39) eşitliğindeki gibi olmaktadır [104].



Şekil 3-12 S Şekilli Üyelik Fonksiyonu

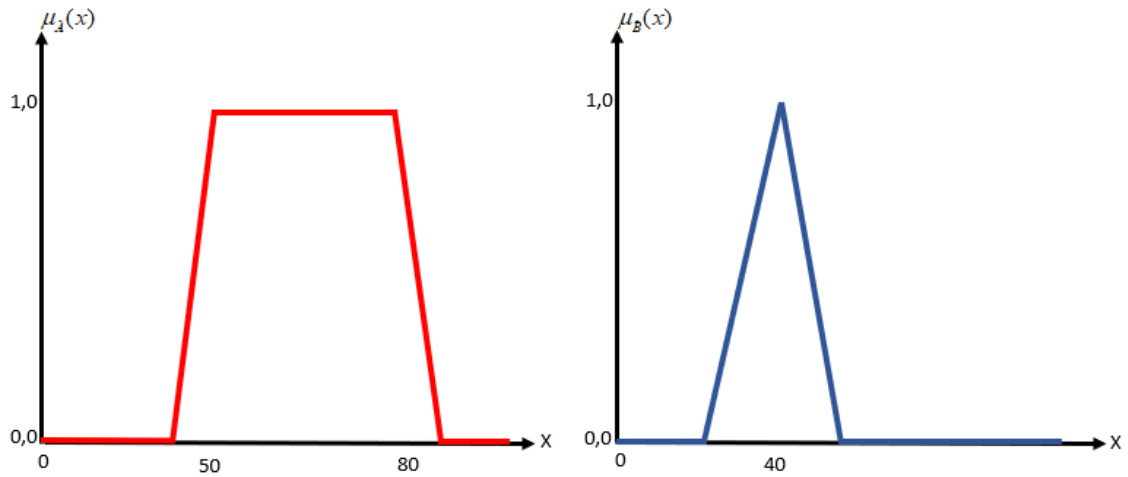
$$\mu_{\tilde{A}}(x; a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 \left[\frac{x-a}{b-a} \right]^2 & a \leq x \leq \left[\frac{a+b}{2} \right] \\ 1 - 2 \left[\frac{x-b}{b-a} \right]^2 & \left[\frac{a+b}{2} \right] \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \end{cases} \quad (3.39)$$

3.5.3 Tip-1 Bulanık Kümeler İçin Matematiksel İşlemler

Bu bölümde bulanık küme üzerinde birleşim, kesişim, tümleme işlemleri gösterilecektir. Ayrıca klasik kümelerde geçerli olan De Morgan kanununun bulanık kümeler üzerinde yansıması da gösterilecektir. Tüm bu matematiksel işlemler için

kullanılacak olan bulanık kümeler sırasıyla X evreninde tanımlı olan $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ bulanık kümeleridir. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri üzerlerinde işlem yapılan kümeler olup $\tilde{C}$ bulanık kümesi ise bu işlemler sonucunda ortaya çıkan sonucu göstermek için tanımlanmıştır.

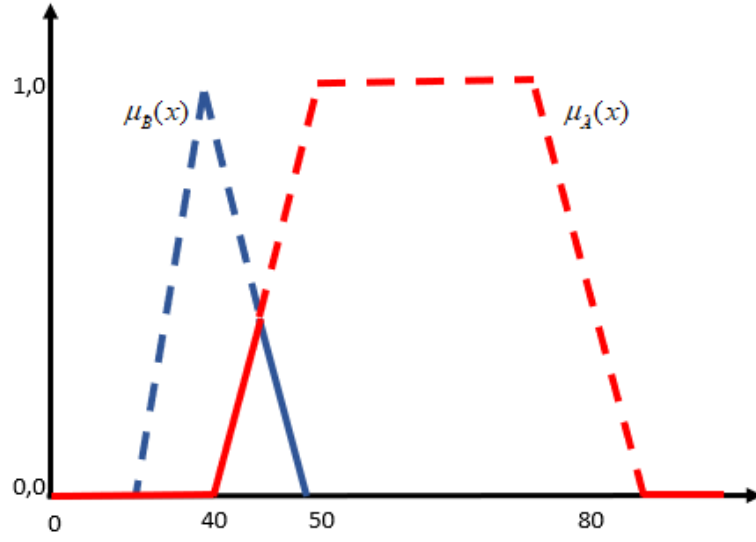
Üzerinde işlemlerin anlatılacağı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri Şekil 3.13' de gösterilmiştir [105].



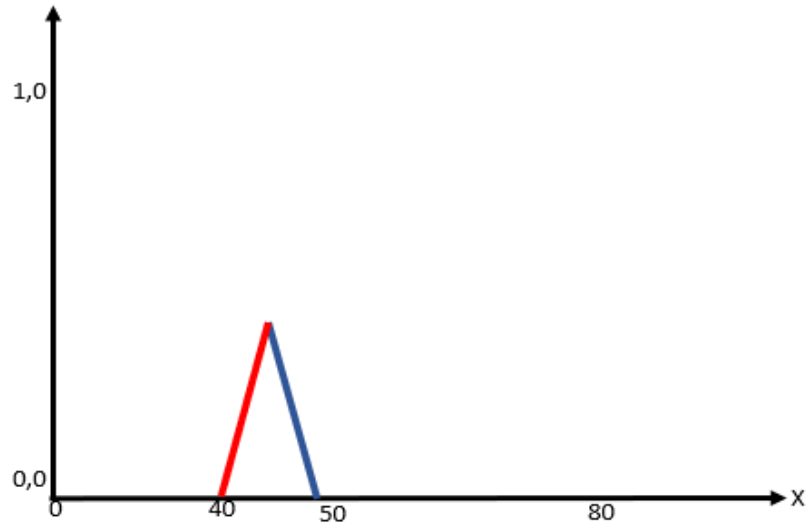
Şekil 3-13 A ve B Bulanık Kümeleri

3.5.3.1 Kesişim İşlemi

Üzerinde işlem yapılacak olan bulanık sayılarda aynı bulanık değere sahip A ve B kümesinin üyelik derecelerinin en küçüğü seçilerek oluşturulan yeni bulanık C kümesi A ve B bulanık kümelerinin kesişim kümesini oluşturur [67]. Kesişim işlemi ve bunun sonucunda oluşan C kümesi sırasıyla Şekil 3.14 ve Şekil 3.15' de gösterilmiştir [105].



Şekil 3-14 A ve B Bulanık Kümelerinde Keşisim İşlemi



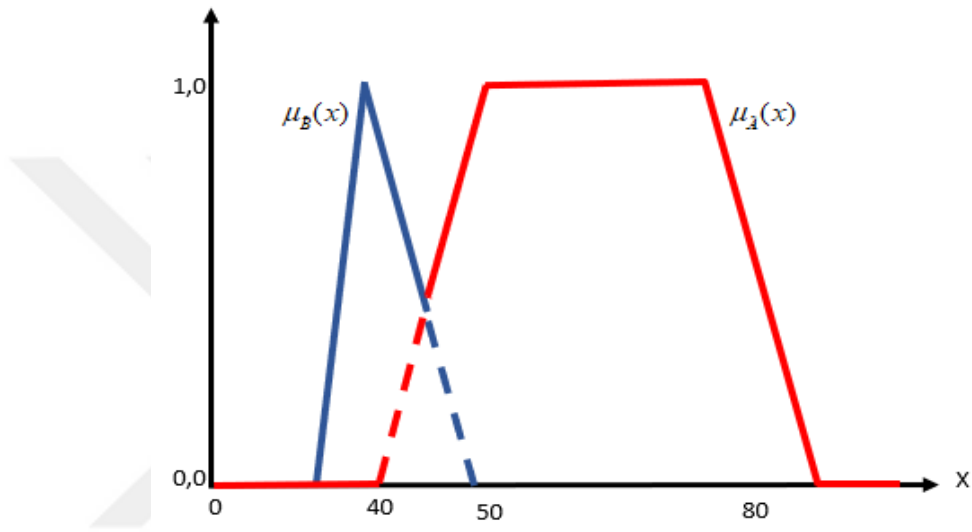
Şekil 3-15 Oluşan C Kümesi

Bulanık küme üzerindeki keşisim işleminin matematiksel gösterimi ise (3.40) eşitliğindeki gibi olmaktadır [87].

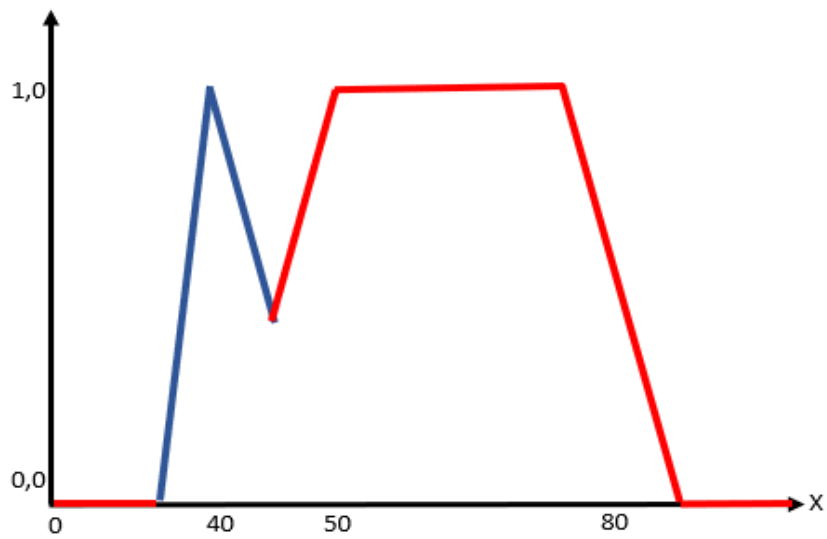
$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)] \quad (3.40)$$

3.5.3.2 Birleşim İşlemi

Üzerinde işlem yapılacak olan bulanık sayılarda aynı bulanık değere sahip A ve B kümesinin üyelik derecelerinin en büyüğü seçilerek oluşturulan yeni bulanık C kümesi A ve B bulanık kümelerinin birleşim kümesini oluşturur [67]. Birleşim işlemi ve bunun sonucunda oluşan C kümesi sırasıyla Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’ de gösterilmiştir [105].



Şekil 3-16 A ve B Bulanık Kümelerinde Birleşim İşlemi



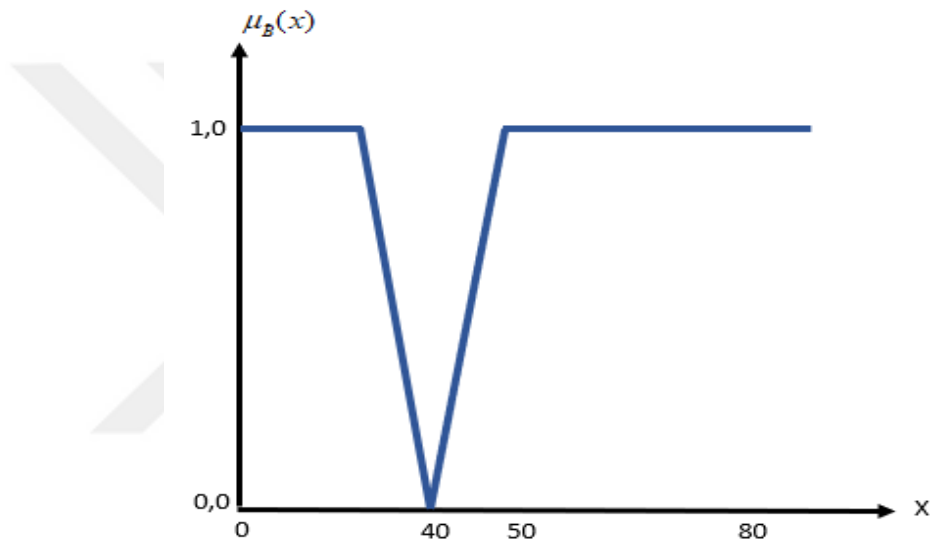
Şekil 3-17 Oluşan C Kümesi

Bulanık küme üzerindeki birleşim işleminin matematiksel gösterimi ise (3.41) eşitliğindeki gibi olmaktadır [87].

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)] \quad (3.41)$$

3.5.3.3 Tümlleme İşlemi

Bir bulanık kümenin elemanlarına ait üyelik dereceleri 1' den çıkarılırsa o bulanık kümeye ait tümlleme işlemini gerçekleştirilmiş olur. A bulanık kümesine ait tümlleme işleminin grafiksel gösterimi Şekil 3.18' de matematiksel gösterimi ise (3.42) eşitliğinde gösterilmiştir [105].



Şekil 3-18 Bulanık A Kümesine Ait Tümlleme İşlemi

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.42)$$

3.5.3.4 De Morgan Kanunu

Klasik kümelerde geçerli olan De Morgan kanunu bulanık kümelerde de geçerlidir. De Morgan kanununun bulanık kümelerdeki gösterimi aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [85].

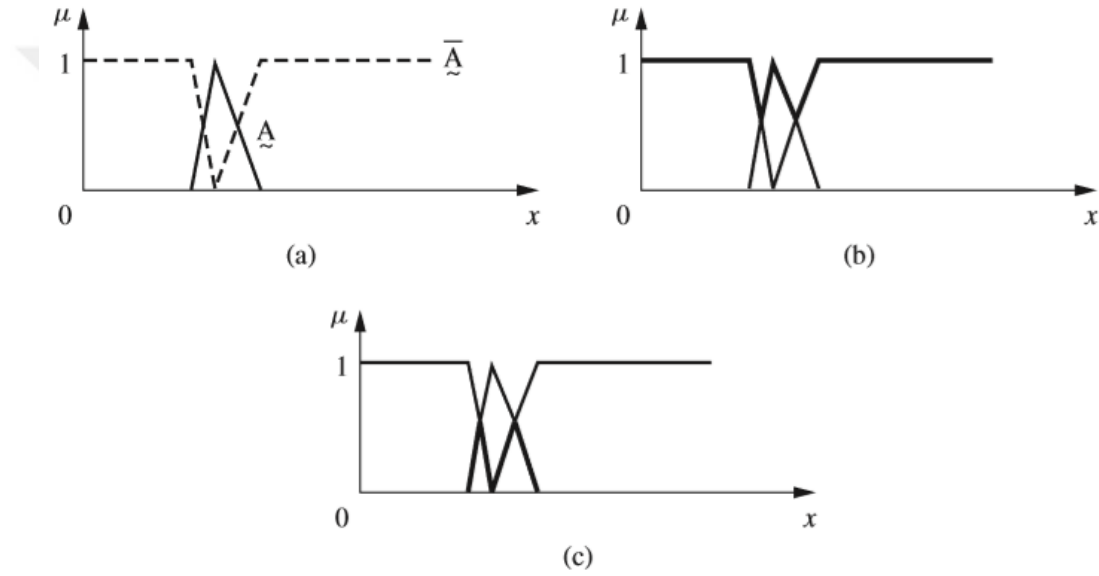
$$\overline{\tilde{A} \cup \tilde{B}} = \tilde{A} \cap \tilde{B} \quad (3.43)$$

$$\overline{\tilde{A} \cap \tilde{B}} = \tilde{A} \cup \tilde{B} \quad (3.44)$$

3.5.3.5 Tip-1 Bulanık Kümenin İşlemler Açısından Klasik Kümelerden Farkı

Klasik kümelerle bulanık kümeler bazı noktalarda birbirinden ayrılmaktadır. Klasik kümelerle bulanık kümeler arasında en önemli farklılıklardan birisi de klasik kümelerde bir kümenin kendisi ve tümleyeninin birleşimi evrensel kümeyi oluştururken bulanık küme işlemlerinde aynı özellik sağlanamamaktadır. Ayrıca klasik kümelerde bir kümenin tümleyeni ile kendisinin kesişimi boş kümeyi oluştururken bulanık kümelerde bu özellik de sağlanamamaktadır [106].

Bu durumun şekilsel gösterimi Şekil 3.19’ da matematiksel gösterim ise (3.45) ve (3.46) eşitliklerindeki gibi olmaktadır [85].



Şekil 3-19 Bulanık Kümelerin Klasik Kümelerden Farklılıkları

- a) A Bulanık Kümesinin Tümleyeni
- b) Bulanık kümenin tümleyeni ile birleşiminin evrensel kümeye eşit olmaması
- c) Bulanık kümenin tümleyeni ile kesişiminin boş kümeye eşit olmaması

$$\underline{A} \cup \bar{\underline{A}} \neq X \quad (3.45)$$

$$\underline{A} \cap \bar{\underline{A}} \neq \emptyset \quad (3.46)$$

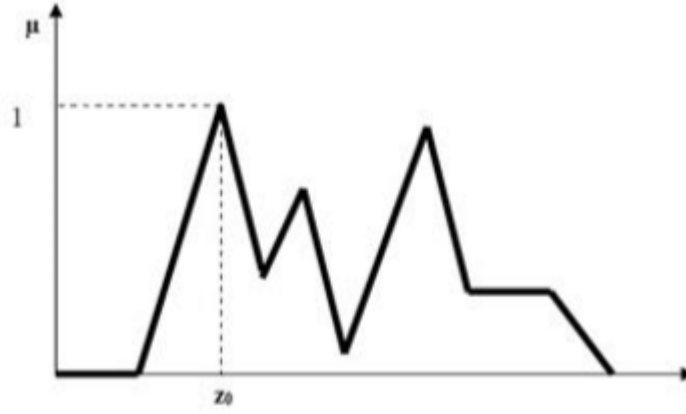
3.5.4 Tip-1 Bulanık Kümelerde Durulaştırma

Bulanık kümelerden kesin bilgiler elde etmek için yapılan cebirsel işlemler durulaştırma olarak adlandırılmaktadır [107], [108], [109], [110], [111], [112]. Bu sayede bulanık olarak kurduğumuz bir sistemden tek bir sayı elde eder ve bunun sonucunda bu veriyi karar vermek için kullanabiliriz. Literatürde 30' dan fazla durulaştırma yöntemi bulunmaktadır [113]. Alt bölümde aşağıda listelenen durulaştırma yöntemleri anlatılacaktır.

- En Büyük Üyelik İlkesi (Max-Membership Principle)
- Ağırlık Merkezi Yöntemi (Center of Area Method)
- Ağırlıklı Ortalama Yöntemi (Weighted Average Method/ Mean of Maxima Method)
- Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi (Center of Maxima Method)
- Toplamların Merkezi Yöntemi (Center of Sums)
- En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi (Center of Largest Area)
- En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi Yöntemi (First or Last of Maxima)

3.5.4.1 En Büyük Üyelik İlkesi (Max-Membership Principle)

Bu yöntem çıkarım kümesindeki en büyük üyelik derecesine sahip elemanın seçilmesine olanak verir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için çıkarım kümesinde bir veya birden fazla tepenin olması gerekmektedir. En büyük üyelik ilkesi yöntemiyle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.20' de matematiksel gösterimi ise (3.47) eşitliğindeki gibi olmaktadır [114].



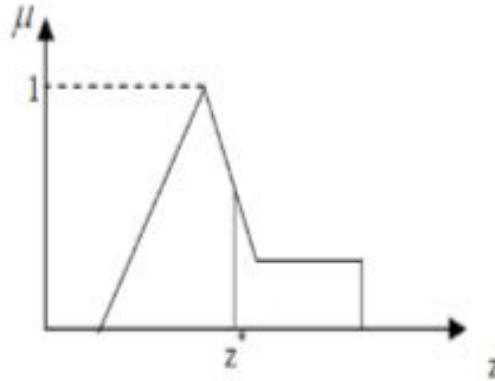
Şekil 3-20 En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemiyle Durulaştırma

$$\mu_{\tilde{C}}(z^*) \geq \max \{ \mu_{\tilde{C}}(z), z \in Z \} \quad (3.47)$$

z^* , bulanık sistemin durulaştırılmış değerini ifade etmektedir.

3.5.4.2 Ağırlık Merkezi Yöntemi (Center of Area Method)

Bu yöntemde çıkarım kümesinin ağırlıklı ortalaması hesap edilerek denge noktasına ulaşılır [115]. Ağırlık merkezi yöntemiyle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.21’ de matematiksel gösterimi ise (3.48) eşitliğindeki gibi olmaktadır [77].



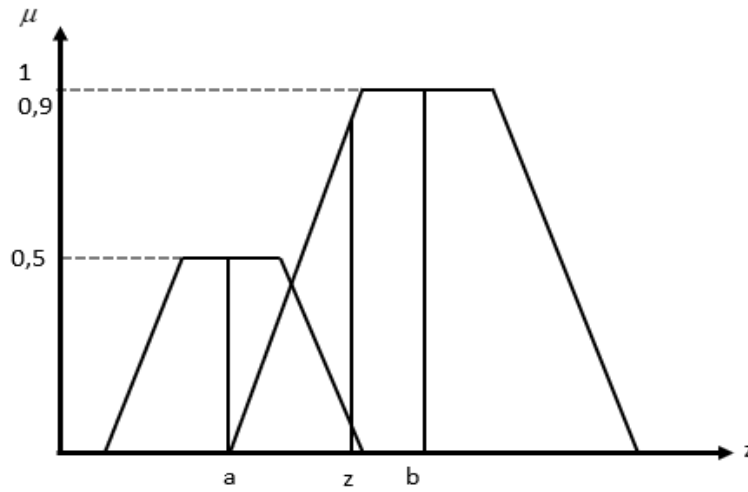
Şekil 3-21 Ağırlık Merkezi Yöntemiyle Durulaştırma

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z).zdz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z)dz} \quad (3.48)$$

3.5.4.3 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi (Weighted Average Method/ Mean of Maxima Method)

Bu yöntem bulanık çıkarım kümesi simetrik üyelik fonksiyonlarına sahipse kullanılabilir. Matematiksel hesaplama; simetrik orta noktalarının üyelik dereceleriyle beraber ağırlıklı ortalamalarının alınmasıyla yapılır [114].

Ağırlıklı ortalama yöntemiyle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.22' de [77] matematiksel gösterimi ise (3.49) eşitliğindeki gibi olmaktadır [114].

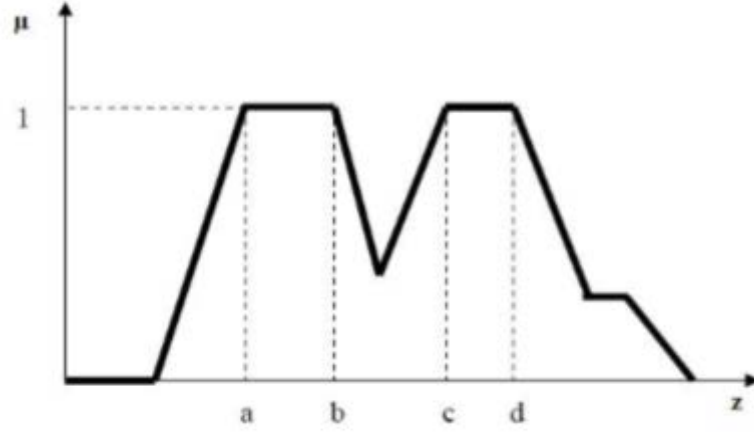


Şekil 3-22 Ağırlıklı Ortalama Yöntemiyle Durulaştırma

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{C}}(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_{\tilde{C}}(\bar{z})} \quad (3.49)$$

3.5.4.4 Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi (Center of Maxima Method)

Bu yöntem çıkarım kümesinde birden fazla tepe noktasının varlığı durumunda uygulanabilir. Tepe noktalarının aritmetik ortalaması alınarak kesin değer elde edilir. Bu yöntemle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.23' de matematiksel gösterimi ise (3.50) eşitliğindeki gibi olmaktadır [116].

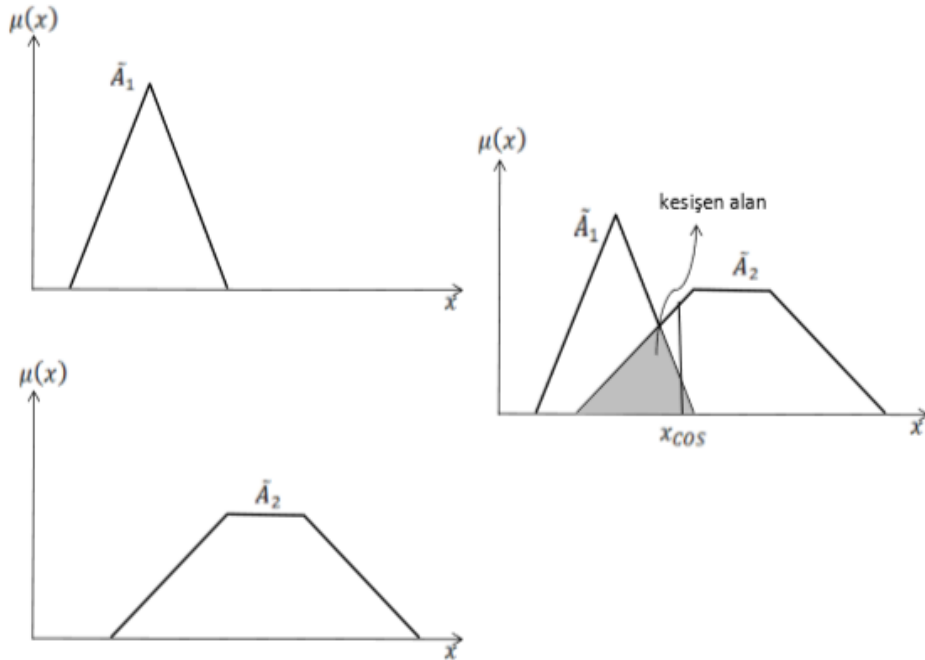


Şekil 3-23 Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemiyle Durulaştırma

$$z^* = \frac{a+b+c+d}{4} \quad (3.50)$$

3.5.4.5 Toplamların Merkezi Yöntemi (Center of Sums)

Bu yöntemde bulanık çıkarım kümelerinin birleşimi yerine cebirsel toplamı esas alınmıştır. Yenilenen veriler sebebiyle hatalı sonuçlar elde edilmesi olasılığı bulunmaktadır [114], [116]. Bu yöntemle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.24' de [89] matematiksel gösterimi ise (3.51) eşitliğindeki gibi olmaktadır [117].

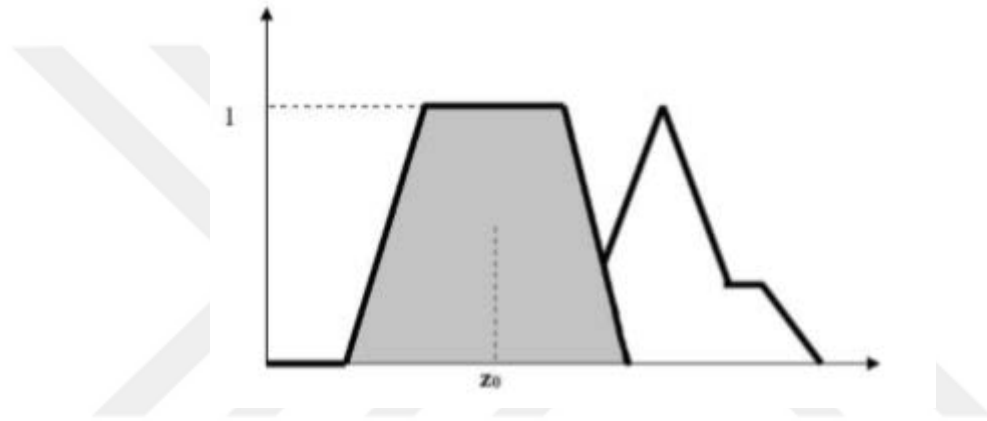


Şekil 3-24 Toplamların Merkezi Yöntemiyle Durulaştırma

$$z^* = \frac{\int z \sum \mu_{\tilde{C}}(z) dz}{\int \sum \mu_{\tilde{C}}(z) dz} \quad (3.51)$$

3.5.4.6 En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi (Center of Largest Area)

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bulanık çıkarım sisteminde en az iki adet dışbükey bulanık küme olması gerekmektedir. Böyle bir durumda en büyük alana sahip bulanık kümenin ağırlık merkezi bulanık çıkarım sisteminin durulaşmış verisini sağlar [118]. Bu yöntemle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.25' de [104] matematiksel gösterimi ise (3.52) eşitliğindeki gibi olmaktadır [85].

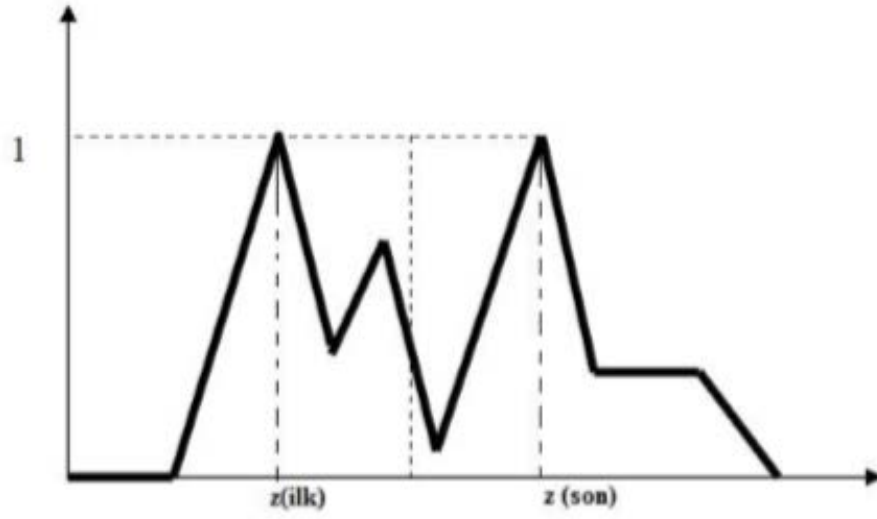


Şekil 3-25 En Büyük Alanın Merkezi Yöntemiyle Durulaştırma

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z) z dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z) dz} \quad (3.52)$$

3.5.4.7 En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi Yöntemi (First or Last of Maxima)

Bulanık çıkarım kümesinde üyelik derecesi maksimum olan birden fazla değer varsa bu yöntem durulaştırma için bu değerlerden ilkinin veya sonuncusunun seçilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemle yapılan durulaştırma işlemi Şekil 3.26' da gösterilmiştir [114].



Şekil 3-26 En Büyük İlk ve Son Üyelik Derecesi Yöntemiyle Durulaştırma

4.1 Sezgisel Bulanık Kümeler

Günlük hayatta bulanık küme ile kurulacak olan modellemelerde karar verici bir sayının bulanık kümeye ait olma derecesini atadığında aynı zamanda o sayının ilgili kümeye üye olmama derecesini de belirlemiş olur. Belirsizlik durumlarında ise karar verici bir sayının bulanıklaştırırken tam olarak üyelik derecesini atayamayabilir. Bu durum, kurulacak olan modelin etkinliğine zarar vermektedir [119]. Karşılaşılan bu zorluğu ortadan kaldırmak için sezgisel bulanık küme kavramı Atanassov tarafından 1986 yılında ortaya atılmıştır. Sezgisel bulanık kümelerde karar verici belirsizlik durumunda bir sayıyı ilgili bulanık kümeye ait olma derecesinin yanında ait olmama derecesini de hesaba katarak bulanıklaştırabilir. Böylece üyelik dereceleri tam olarak netleştirilemeyen durumlarda etkin bir modelleme olanağı sağlanmış olur [120].

Bir bulanık $\tilde{A}$ kümesinde herhangi bir elemanın üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}$ iken üye olmama derecesi ise $1 - \mu_{\tilde{A}}$ olmaktadır. Böylece toplam üyelik derecesi 1 olmaktadır. Sezgisel bulanık kümelerde ise herhangi bir bulanık küme elemanının üyelik derecesi ile üye olmama derecesi 1 olmak zorunda değildir. Bu durum belirsizlik durumlarında oldukça fayda sağlamaktadır [121].

Evrensel kümede tanımlanan $\tilde{A}$ sezgisel kümesi, $v_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0,1]$, $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0,1]$ ve $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{A}}(x) \leq 1$ olmak üzere (4.1) eşitliğindeki gibi tanımlanır [121].

$$\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x) : x \in X\} \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinde belirtilen $\mu_{\tilde{A}}$ ilgili sayının bulanık küme üyelik derecesini, $v_{\tilde{A}}(x)$ ise ilgili bulanık küme üye olmama derecesini temsil etmektedir [121].

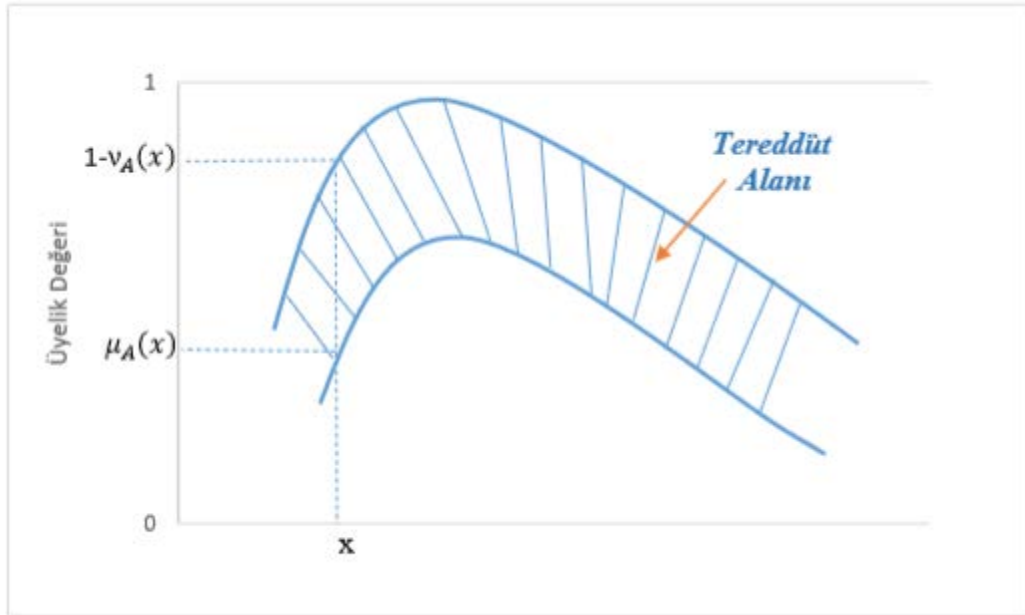
Tanım şartlarında belirtilen $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{A}}(x) \leq 1$ eşitsizliği $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1 - v_{\tilde{A}}(x)$ olarak düzenlediğimizde sezgisel bulanık küme tanımını (4.2) eşitliğindeki gibi de tanımlayabiliriz [122].

$$\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x), 1 - v_{\tilde{A}}(x) : x \in X\} \quad (4.2)$$

(4.2) eşitliğindeki $\mu_{\tilde{A}}$ sezgisel bulanık kümenin alt sınırını temsil ederken, $1 - v_{\tilde{A}}(x)$ ise üst sınırını temsil etmektedir [122].

Sezgisel bulanık kümelerde bulanık kümelerden farklı olarak üye olmama derecesinin yanında tereddüt indeksi kavramı da bulunmaktadır. Bu kavram, bir sayıyı bulanıklaştırırken karar vericinin kararsızlığını veya bilgi eksikliği temsil etmektedir. Bu durum, modelin kolay kurulmasına olanak sağlar [121].

Şekil 4.1’ de bir sezgisel bulanık kümeye ait grafiksel gösterim bulunmaktadır. İlgili grafikte sezgisel bulanık kümeye ait tereddüt alanı da gösterilmiştir [123].



Şekil 4-1 Sezgisel Bulanık Küme Grafiksel Gösterimi

Evrensel kümede tanımlanan $\tilde{A}$ sezgisel bulanık kümesinde en az bir eleman $\mu_{\tilde{A}} = 1$ ve $v_{\tilde{A}}(x) = 0$ değerlerini içeriyorsa bu sezgisel bulanık küme normal olarak adlandırılır [124].

4.1.1 Sezgisel Bulanık Kümelerde İşlemler

Sezgisel bulanık kümelerde bazı operatörler için işlemler aşağıda gösterilmiştir [121], [125].

Birleşim İşlemi:

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \{ \langle x, \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), \min(v_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{B}}(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.3)$$

Kesişim İşlemi:

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \{ \langle x, \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), \max(v_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{B}}(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.4)$$

Tümleme İşlemi:

$$\bar{\tilde{A}} = \{ \langle x, v_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.5)$$

Toplama İşlemi:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x) - \mu_{\tilde{A}}(x) \times \mu_{\tilde{B}}(x), v_{\tilde{A}}(x) \times v_{\tilde{B}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.6)$$

Çarpma İşlemi:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x) \times \mu_{\tilde{B}}(x), v_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{B}}(x) - v_{\tilde{A}}(x) \times v_{\tilde{B}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.7)$$

4.1.2 Sezgisel Bulanık Sayı Türleri

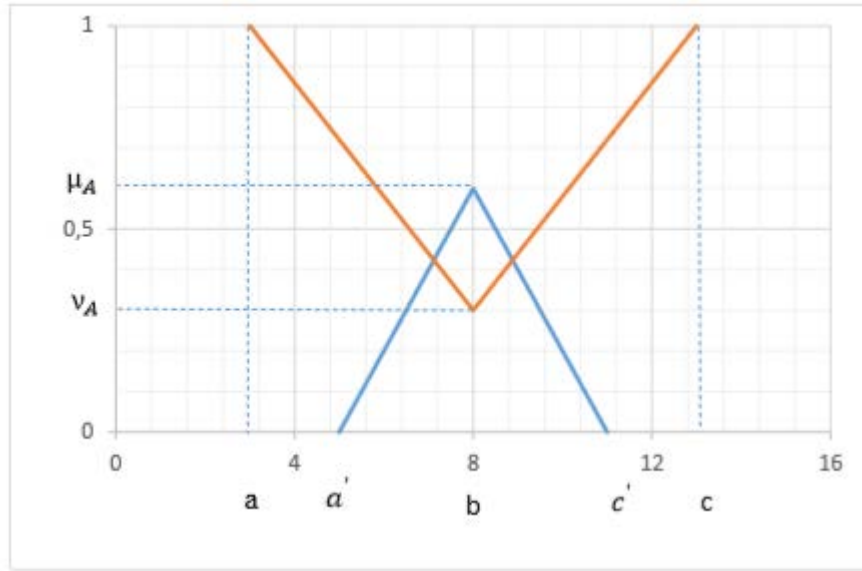
Bu bölümde, üçgensel ve yamuk sezgisel bulanık sayılara ait matematiksel gösterim ve işlemleri anlatılacaktır.

4.1.2.1 Üçgen Sezgisel Bulanık Sayılar

Evrensel kümede tanımlanan üçgen sezgisel bulanık $\tilde{A}$ sayısını gösterimi (4.8) eşitliğindeki gibi olmaktadır [124].

$$\tilde{A} = \langle [a', b, c'; \mu_{\tilde{A}}(x)], [a, b, c; v_{\tilde{A}}(x)] \rangle \quad (4.8)$$

(4.8) eşitliğinde gösterilen a', b, c', a, b ve c , üçgen sezgisel bulanık sayıya ait parametreleri temsil etmektedir. Bölüm 4.1’ de belirtildiği üzere; $\mu_{\tilde{A}}$ üçgen sezgisel bulanık sayıya ait üyelik fonksiyonunu, $v_{\tilde{A}}(x)$ ise üçgen sezgisel bulanık sayıya ait üye olmama fonksiyonunu temsil etmektedir. Üçgen sezgisel bulanık kümeye ait grafiksel gösterim Şekil 4.2’ deki gibidir [124].

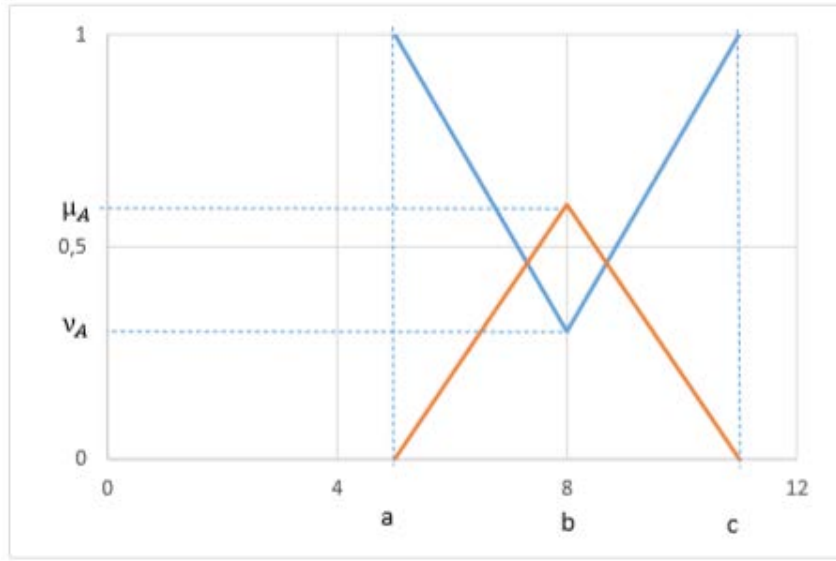


Şekil 4-2 Üçgen Sezgisel Bulanık Sayı

Şekil 4.2’ de a' ve c' noktaları ile a ve c noktaları birbirine eşit olursa üçgen sezgisel bulanık sayı gösterimi (4.9) eşitliğindeki gibi olmaktadır [126].

$$\tilde{A} = \langle a, b, c; \mu_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x) \rangle \quad (4.9)$$

(4.9) eşitliğinde gösterilen tanımın grafiksel gösterimi ise Şekil 4.3’ deki gibi olmaktadır [124].



Şekil 4-3 Üçgen Sezgisel Bulanık Sayı

Üçgen sezgisel bulanık sayıya ait matematiksel gösterim (4.10) ve (4.11) eşitliğindeki gibi olmaktadır [124].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{x-a}{b-a} \mu_{\tilde{A}}(b) & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} \mu_{\tilde{A}}(b) & b \leq x < c \\ 0 & \text{diğer durumlar} \end{array} \right\} \quad (4.10)$$

$$v_{\tilde{A}}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{(x-a)}{b-a} v_{\tilde{A}}(b) & a \leq x < b \\ \frac{(c-x)}{c-b} v_{\tilde{A}}(b) & b \leq x < c \\ 1 & \text{diğer durumlar} \end{array} \right\} \quad (4.11)$$

$\tilde{A}_1 = \langle a_1, b_1, c_1; \mu_{\tilde{A}_1}(x), v_{\tilde{A}_1}(x) \rangle$ ve $\tilde{A}_2 = \langle a_2, b_2, c_2; \mu_{\tilde{A}_2}(x), v_{\tilde{A}_2}(x) \rangle$ iki pozitif üçgen sezgisel bulanık sayı olmak üzere, bu bulanık sayılarla yapılan aritmetik işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [124].

Toplama İşlemi

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = \left\{ a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2; \min(\mu_{\tilde{A}_1}(x), \mu_{\tilde{A}_2}(x)), \max(v_{\tilde{A}_1}(x), v_{\tilde{A}_2}(x)) \right\} \quad (4.12)$$

Çıkarma İşlemi

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = \left\{ a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2; \min(\mu_{\tilde{A}_1}(x), \mu_{\tilde{A}_2}(x)), \max(v_{\tilde{A}_1}(x), v_{\tilde{A}_2}(x)) \right\} \quad (4.13)$$

Çarpma İşlemi

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = \left\{ a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2; \min(\mu_{\tilde{A}_1}(x), \mu_{\tilde{A}_2}(x)), \max(v_{\tilde{A}_1}(x), v_{\tilde{A}_2}(x)) \right\} \quad (4.14)$$

Bölme İşlemi

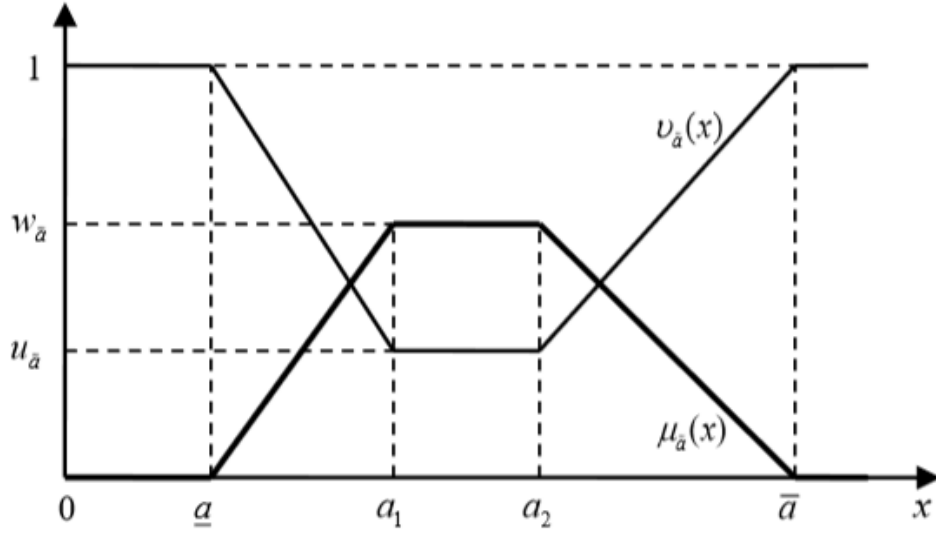
$$\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2 = \left\{ a_1 / c_2, b_1 / b_2, c_1 / a_2; \min(\mu_{\tilde{A}_1}(x), \mu_{\tilde{A}_2}(x)), \max(v_{\tilde{A}_1}(x), v_{\tilde{A}_2}(x)) \right\} \quad (4.15)$$

4.1.2.2 Yamuk Sezgisel Bulanık Sayılar

Evrensel kümede tanımlanan yamuk sezgisel bulanık $\tilde{A}$ sayısını gösterimi (4.16) eşitliğindeki gibi olmaktadır [127].

$$\tilde{A} = \langle (\underline{a}, a_1, a_2, \bar{a}); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}} \rangle \quad (4.16)$$

(4.16) eşitliğinde gösterilen $\underline{a}, a_1, a_2$ ve $\bar{a}$ yamuk sezgisel bulanık sayıya ait parametreleri temsil etmektedir. Bölüm 4.1' de belirtildiği üzere; $\mu_{\tilde{A}}$ yamuk sezgisel bulanık sayıya ait üyelik fonksiyonunu, $v_{\tilde{A}}(x)$ ise yamuk sezgisel bulanık sayıya ait üye olmama fonksiyonunu temsil etmektedir. $w_{\tilde{A}}$ maksimum üyelik derecesini temsil ederken, $u_{\tilde{A}}$ minimum üye olmama derecesini temsil etmektedir. Yamuk sezgisel bulanık kümeye ait grafiksel gösterim ise Şekil 4.4 ' deki gibidir [127].



Şekil 4-4 Yamuk Sezgisel Bulanık Sayı

Yamuk sezgisel bulanık sayıya ait matematiksel gösterim (4.17) ve (4.18)' deki gibi olmaktadır [127].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x - \underline{a}}{a_1 - \underline{a}} w_{\tilde{A}} & \underline{a} \leq x < a_1 \\ w_{\tilde{A}} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{\bar{a} - x}{\bar{a} - a_2} w_{\tilde{A}} & a_2 < x \leq \bar{a} \\ 0 & x < \underline{a}, x > \bar{a} \end{cases} \quad (4.17)$$

$$\nu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{a_1 - x + u_{\tilde{A}}(x - \underline{a})}{a_1 - \underline{a}} & \underline{a} \leq x < a_1 \\ u_{\tilde{A}} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{x - a_2 + u_{\tilde{A}}(\bar{a} - x)}{\bar{a} - a_2} & a_2 < x \leq \bar{a} \\ 1 & x < \underline{a}, x > \bar{a} \end{cases} \quad (4.18)$$

$\tilde{A} = \langle (\underline{a}, a_1, a_2, \bar{a}); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}} \rangle$ ve $\tilde{B} = \langle (\underline{b}, b_1, b_2, \bar{b}); w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{B}} \rangle$ iki pozitif yamuk sezgisel bulanık sayı olmak üzere, bu bulanık sayılarla yapılan aritmetik işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [127].

Toplama İşlemi:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = \{\underline{a} + \underline{b}, a_1 + b_1, a_2 + b_2, \bar{a} + \bar{b}; \min(w_{\tilde{A}}, w_{\tilde{B}}), \max(u_{\tilde{A}}, u_{\tilde{B}})\} \quad (4.19)$$

Çıkarma İşlemi:

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = \{\underline{a} - \bar{b}, a_1 - b_2, a_2 - b_1, \bar{a} - \underline{b}; \min(w_{\tilde{A}}, w_{\tilde{B}}), \max(u_{\tilde{A}}, u_{\tilde{B}})\} \quad (4.20)$$

Çarpma İşlemi:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = \{\underline{a} \times \underline{b}, a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, \bar{a} \times \bar{b}; \min(w_{\tilde{A}}, w_{\tilde{B}}), \max(u_{\tilde{A}}, u_{\tilde{B}})\} \quad (4.21)$$

Bölme İşlemi:

$$\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2 = \{\underline{a} / \bar{b}, a_1 / b_2, a_2 / b_1, \bar{a} / \underline{b}; \min(w_{\tilde{A}}, w_{\tilde{B}}), \max(u_{\tilde{A}}, u_{\tilde{B}})\} \quad (4.22)$$

Sabit Sayıyla Çarpma (k>0):

$$k \otimes \tilde{A}_1 = \{k \times \underline{a}, k \times a_1, k \times a_2; k \times \bar{a}; w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}\} \quad (4.23)$$

4.2 Kararsız Bulanık Kümeler

Gerçek dünyada karşılaşılan problem oldukça karmaşıktır. Karşılaşılan bu problemlerin çözümünde bulanık mantık metodolojisiyle iyi sonuçlar elde etmemize karşın bazı durumlarda bulanık kümelerin de geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Karar verici, tip-1 bulanık kümelerde ilgili küme elemanına sadece bir üyelik derecesi ataması yapabilmektedir. Eğer bir bulanık küme elemanına üyelik derecesinin yanında üye olmama derecesini de katmak istersek sezgisel bulanık kümeleri kullanırız. Ama bazı durumlarda tip-1 ve sezgisel bulanık kümeler karşılaşılan problemlerde yetersiz kalabilir. İlgili karar vericinin küme elemanının üyelik derecesi konusunda kararsız kaldığında [0,1] aralığında birden fazla üyelik derecesi kullanmak isteyebilir. Bu durumun çözümü için Torra kararsız(hesitant) bulanık küme kavramını tanıtmıştır [128], [129].

Kararsız bulanık küme gösterimi (4.24) eşitliğindeki gibi olmaktadır [128], [129].

$$E = \{ \langle x, h_E(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.24)$$

E kümesinde tanımlı $x \in X$ için $h_E(x)$ birden fazla bulanık üyelik derecesi içeren fonksiyonu temsil etmektedir. Xu ve Xia, $h = h_E(x)$ 'i kararsız bulanık öge adını vermişlerdir [130].

$$E = \{ \langle x, h_E(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.25)$$

$$h^-(x) = \min h(x) \quad (4.26)$$

$$h^+(x) = \max h(x) \quad (4.27)$$

$h^-(x)$ ve $h^+(x)$ sırasıyla h ' ın alt ve üst sınırını temsil etmektedir. Kararsız bulanık ögeler için temel işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [128], [129], [130].

Birleşim İşlemi:

$$h_1 \cup h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \max \{ \gamma_1, \gamma_2 \} \quad (4.28)$$

Kesişim İşlemi:

$$h_1 \cap h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \min \{ \gamma_1, \gamma_2 \} \quad (4.29)$$

Tümleyen İşlemi:

$$h^c(x) = \bigcup_{\gamma \in h(x)} \{1 - \gamma\} \quad (4.30)$$

Üs Alma:

$$h^\lambda = \bigcup_{\gamma \in h} \{ \gamma^\lambda \} \quad (\lambda > 0) \quad (4.31)$$

Sabit Bir Sayıyla Çarpma:

$$\lambda h = \bigcup_{\gamma \in h} \{ 1 - (1 - \gamma)^\lambda \} \quad (\lambda > 0) \quad (4.32)$$

Toplama İşlemi:

$$h_1 \oplus h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \times \gamma_2\} \quad (4.33)$$

Çarpma İşlemi:

$$h_1 \otimes h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 \times \gamma_2\} \quad (4.34)$$

4.2.1 Kararsız Bulanık Sayı Türleri

Bu bölümde, üçgensel ve yamuk kararsız bulanık sayılara ait matematiksel gösterim ve işlemleri anlatılacaktır.

4.2.1.1 Kararsız Üçgensel Bulanık Sayılar

Kararsız üçgensel bulanık sayılar Yu tarafından 2013 yılında tanıtılmıştır. Matematisel gösterimi (4.35) eşitliğindeki gibidir [131].

$$E = \{ \langle x, \tilde{h}_E(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.35)$$

E kümesinde tanımlı $x \in X$ için $\tilde{h}_E(x)$ birden fazla üçgensel bulanık üyelik derecesi içeren fonksiyonu temsil etmektedir. $\tilde{h}_E(x) = \tilde{h} = (\gamma^L, \gamma^M, \gamma^R)$ kararsız üçgensel bulanık öge olarak ve $\tilde{h}_1 = (\gamma_1^L, \gamma_1^M, \gamma_1^R)$, $\tilde{h}_2 = (\gamma_2^L, \gamma_2^M, \gamma_2^R)$ şeklinde tanımlarsak kararsız üçgensel bulanık ögeler için temel işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [132].

Toplama İşlemi:

$$\tilde{h}_1 \oplus \tilde{h}_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{(\gamma_1^L + \gamma_2^L, -\gamma_1^L \times \gamma_2^L, \gamma_1^M + \gamma_2^M - \gamma_1^M \times \gamma_2^M, \gamma_1^R + \gamma_2^R - \gamma_1^R \times \gamma_2^R)\} \quad (4.36)$$

Çarpma İşlemi:

$$\tilde{h}_1 \otimes \tilde{h}_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{(\gamma_1^L \times \gamma_2^L, \gamma_1^M \times \gamma_2^M, \gamma_1^R \times \gamma_2^R)\} \quad (4.37)$$

Üs Alma:

$$\tilde{h}^\lambda = \bigcup_{\tilde{\gamma} \in \tilde{h}} \left\{ \left((\gamma^L)^\lambda, (\gamma^M)^\lambda, (\gamma^R)^\lambda \right) \right\}, \lambda > 0 \quad (4.38)$$

Sabit Bir Sayıyla Çarpma:

$$\lambda \tilde{h} = \bigcup_{\tilde{\gamma} \in \tilde{h}} \left\{ (1 - (1 - \gamma^L)^\lambda, 1 - (1 - \gamma^M)^\lambda, 1 - (1 - \gamma^R)^\lambda) \right\}, \lambda > 0 \quad (4.39)$$

4.2.1.2 Kararsız Yamuk Bulanık Sayılar

Kararsız yamuk bulanık sayılar Zhang tarafından tanıtılmıştır. Matematisel gösterimi (4.40) eşitliğindeki gibidir [133].

$$E = \left\{ x, \tilde{h}_E(x) \mid x \in X \right\} \quad (4.40)$$

E kümesinde tanımlı $x \in X$ için $\tilde{h}_E(x)$ birden fazla yamuk bulanık üyelik derecesi içeren fonksiyonu temsil etmektedir. $\tilde{h}_E(x) = \tilde{h} = (a\gamma, b\gamma, c\gamma, d\gamma)$ kararsız yamuk bulanık öge olarak ve $\tilde{h}_1 = (a\gamma_1, b\gamma_1, c\gamma_1, d\gamma_1)$, $\tilde{h}_2 = (a\gamma_2, b\gamma_2, c\gamma_2, d\gamma_2)$ şeklinde tanımlarsak kararsız yamuk bulanık ögeler için temel işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [133].

Toplama İşlemi:

$$\tilde{h}_1 \oplus \tilde{h}_2 = \bigcup_{\tilde{\alpha}_1 \in \tilde{h}_1, \tilde{\alpha}_2 \in \tilde{h}_2} \left\{ T \left(a\gamma_1 + a\gamma_2 - a\gamma_1 \times a\gamma_2, b\gamma_1 + b\gamma_2 - b\gamma_1 \times b\gamma_2, c\gamma_1 + c\gamma_2 - c\gamma_1 \times c\gamma_2, d\gamma_1 + d\gamma_2 - d\gamma_1 \times d\gamma_2 \right) \right\} \quad (4.41)$$

Çarpma İşlemi:

$$\tilde{h}_1 \otimes \tilde{h}_2 = \bigcup_{\tilde{\alpha}_1 \in \tilde{h}_1, \tilde{\alpha}_2 \in \tilde{h}_2} \left\{ T \left(a\gamma_1 \times a\gamma_2, b\gamma_1 \times b\gamma_2, c\gamma_1 \times c\gamma_2, d\gamma_1 \times d\gamma_2 \right) \right\} \quad (4.42)$$

Üs Alma:

$$\tilde{h}^\lambda = \bigcup_{\tilde{\alpha} \in \tilde{h}} \left\{ T \left((a\gamma)^\lambda, (b\gamma)^\lambda, (c\gamma)^\lambda, (d\gamma)^\lambda \right) \right\}, \lambda > 0 \quad (4.43)$$

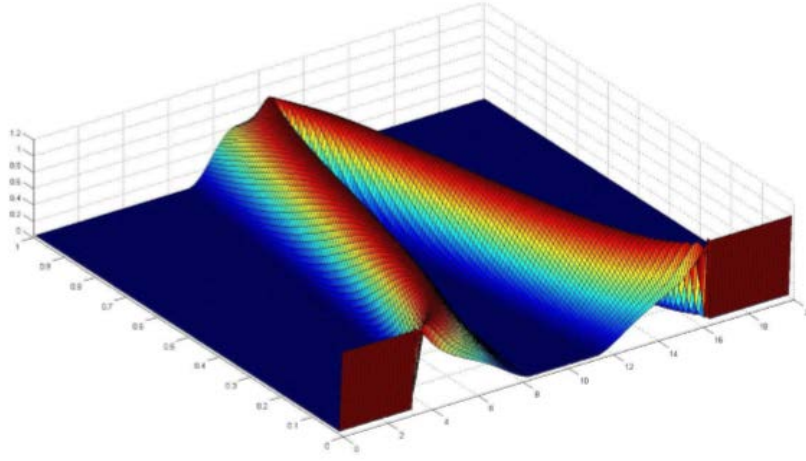
Sabit Bir Sayıyla Çarpma:

$$\lambda \tilde{h} = \bigcup_{\tilde{a} \in h} \left\{ T \left(1 - (1 - a\gamma)^\lambda, 1 - (1 - b\gamma)^\lambda, 1 - (1 - c\gamma)^\lambda, 1 - (1 - d\gamma)^\lambda \right) \right\}, \lambda > 0 \quad (4.44)$$

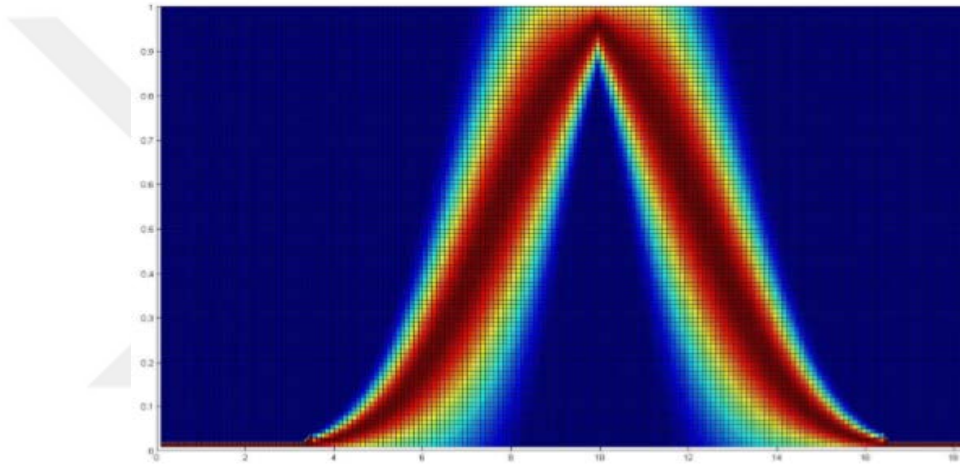
4.3 Tip-2 Bulanık Kümeler

Tip-2 bulanık kümeler Lotfi Zadeh tarafından tip-1 bulanık kümelerin bazı alanlarda ve modellemelerde yetersiz kalmasından dolayı geliştirilmiştir. Tip-1 bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları karar vericiler tarafından kesin bir sayı atanmasıyla atanmaktadır. Bu durum yapılacak olan modellemelerde kişinin yargılarına bağlı kalmaya sebebiyet vermektedir. Tip-2 bulanık kümelerde ise tip-1 bulanık kümelerden farklı olarak karar verici üyelik fonksiyonu değerine de üyelik derecesi atamaktadır. Bu durum da yapılan modellemeler çok daha etkin biçimde kurulabilmektedir [117].

Tip-2 bulanık kümeler daha çok üyelik fonksiyon değerinin tam olarak atanamadığı durumlarda kullanılmaktadır. Tip-2 kümelerde üyelik fonksiyonlarına da bulanık değer atandığı için görünüm tip-1 bulanık kümelerde ki gibi 2 boyutlu olmayıp, 3 boyutlu olmaktadır [134]. Tip-2 bulanık kümelerin 3 boyutlu olması küme çiziminde ve hesaplamalarının yapılmasında zorluk meydana getirmektedir. Bu zorlukları ortadan kaldırmak için tip-2 bulanık kümeler 2 boyuta indirgenir ve işlemler belirsizliğin ayak izi (FOU) denen fonksiyonlarda yapılır [117]. Tip-2 bulanık kümeye ait grafiksel gösterim Şekil 4.5' te ilgili kümenin FOU grafiği ise Şekil 4.6' da gösterilmiştir [135].



Şekil 4-5 Tip-2 Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4-6 FOU Grafiği

Evrensel kümede tanımlı tip-2 bulanık küme olan $\tilde{A}$ için üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}$ ile gösterilmektedir. Tip-2 bulanık kümesine ait matematiksel gösterimi (4.45) eşitliğindeki gibidir [136].

$$\tilde{A} = \left\{ \left((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \right) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \right\} \quad (4.45)$$

$\iint$, tüm uygun x ve u değerlerinin birleşimini ifade etmektedir. $J_x \subseteq [0, 1]$ için $\tilde{A}$ aralık tip-2 bulanık kümesine ait matematiksel gösterimi (4.46) eşitliğindeki gibidir. Kesikli bulanık kümelerde $\int$ yerine $\sum$ sembolü kullanılmaktadır [136].

$$\tilde{A} = \int \int_{x \in X, u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x, u)}{(x, u)} \quad (4.46)$$

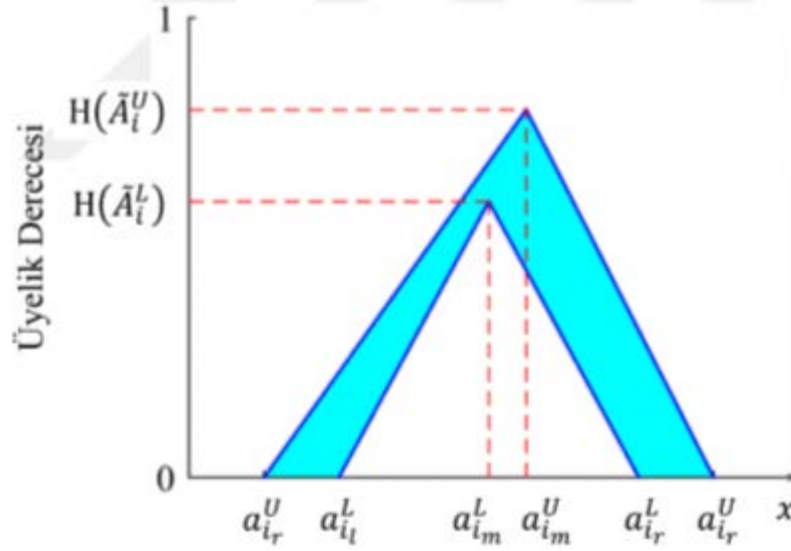
Tüm $\mu_{\tilde{A}}$ değerlerinin 1' e eşit olduğu tip-2 bulanık kümeler, aralık tip-2 bulanık kümeler olarak adlandırılmaktadır. Bu bulanık kümelere ait alt ve üst üyelik fonksiyonları tip-1 bulanık üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Bu tip bulanık sayılarda en yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonlarıdır [117].

4.3.1 Tip-2 Bulanık Sayı Türleri

Bu bölümde, üçgensel ve yamuk kararsız bulanık sayılara ait matematiksel gösterim ve işlemleri anlatılacaktır.

4.3.1.1 Tip-2 Üçgensel Bulanık Sayı

$\tilde{A}_i$ üçgensel bulanık sayı (ÜBS) olmak üzere; $\tilde{A}_i^U$ ve $\tilde{A}_i^L$ ilgili bulanık sayının sırasıyla üst ve alt kısmını temsil etmektedir. Bu sayıya ait üst ve alt üyelik fonksiyon gösterimi de sırasıyla $\mu_{\tilde{A}_i^U}$ ve $\mu_{\tilde{A}_i^L}$ 'dır. ÜBS' de üst kısmının yüksekliği en büyük üyelik derecesine sahip $H(\tilde{A}_i^U)$ ile referans noktaları ise $a_{i_l}^U$, $a_{i_m}^U$ ve $a_{i_r}^U$ olarak gösterilirken ilgili bulanık sayının alt kısmının yüksekliği en büyük üyelik derecesine sahip $H(\tilde{A}_i^L)$ ile referans noktaları ise $a_{i_l}^L$, $a_{i_m}^L$ ve $a_{i_r}^L$ olarak gösterilir. Tip-2 ÜBS' nin tüm parametrelerini ilgili sayının alt ve üst kısımlarına ait değişkenler oluşturur. Tip-2 ÜBS' ye ait grafiksel gösterim Şekil 4.7' de gösterilmiştir [137].



Şekil 4-7 Tip 2 Üçgensel Bulanık Sayı Grafikselsel Gösterimi

Tip-2 ÜBS' ye ait üst ve alt üyelik fonksiyonlarına ait matematiksel gösterimleri sırasıyla (4.47) ve (4.48) eşitliklerindeki gibi olmaktadır [138].

$$\mu_{\tilde{A}_i^U} = \begin{cases} 0 & x \leq a_{i_l}^U \\ H(\tilde{A}_i^U) \frac{(x - a_{i_l}^U)}{(a_{i_m}^U - a_{i_l}^U)} & a_{i_l}^U \leq x \leq a_{i_m}^U \\ H(\tilde{A}_i^U) \frac{(a_{i_r}^U - x)}{a_{i_r}^U - a_{i_m}^U} & a_{i_m}^U \leq x \leq a_{i_r}^U \\ 0 & x \geq a_{i_r}^U \end{cases} \quad (4.47)$$

$$\mu_{\tilde{A}_i^L} = \begin{cases} 0 & x \leq a_{i_l}^L \\ H(\tilde{A}_i^L) \frac{(x - a_{i_l}^L)}{(a_{i_m}^L - a_{i_l}^L)} & a_{i_l}^L \leq x \leq a_{i_m}^L \\ H(\tilde{A}_i^L) \frac{(a_{i_r}^L - x)}{a_{i_r}^L - a_{i_m}^L} & a_{i_m}^L \leq x \leq a_{i_r}^L \\ 0 & x \geq a_{i_r}^L \end{cases} \quad (4.48)$$

$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = ((a_{i_l}^U, a_{i_m}^U, a_{i_r}^U, H(\tilde{A}_i^U)), (a_{i_l}^L, a_{i_m}^L, a_{i_r}^L, H(\tilde{A}_i^L)))$ Tip-2 ÜBS $k > 0$ olmak üzere aritmetiksel işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [139].

Toplama:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = \left(\left(a_{1_l}^U + a_{2_l}^U, a_{1_m}^U + a_{2_m}^U, a_{1_r}^U + a_{2_r}^U; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U), H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ \left. \left(a_{1_l}^L + a_{2_l}^L, a_{1_m}^L + a_{2_m}^L, a_{1_r}^L + a_{2_r}^L; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L), H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (4.49)$$

Çıkarma:

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = \left(\left(a_{1_l}^U - a_{2_l}^U, a_{1_m}^U - a_{2_m}^U, a_{1_r}^U - a_{2_r}^U; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U), H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ \left. \left(a_{1_l}^L - a_{2_l}^L, a_{1_m}^L - a_{2_m}^L, a_{1_r}^L - a_{2_r}^L; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L), H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (4.50)$$

Çarpma:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = \left(\left(a_{1_l}^U \times a_{2_l}^U, a_{1_m}^U \times a_{2_m}^U, a_{1_r}^U \times a_{2_r}^U; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U) \times H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ \left. \left(a_{1_l}^L \times a_{2_l}^L, a_{1_m}^L \times a_{2_m}^L, a_{1_r}^L \times a_{2_r}^L; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L), H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (4.51)$$

Bölme:

$$\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2 = \left(\left(a_{1_l}^U / a_{2_l}^U, a_{1_m}^U / a_{2_m}^U, a_{1_r}^U / a_{2_r}^U; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^U), H(\tilde{A}_2^U) \right) \right), \right. \\ \left. \left(a_{1_l}^L / a_{2_l}^L, a_{1_m}^L / a_{2_m}^L, a_{1_r}^L / a_{2_r}^L; \text{enk} \left(H(\tilde{A}_1^L), H(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \right) \quad (4.52)$$

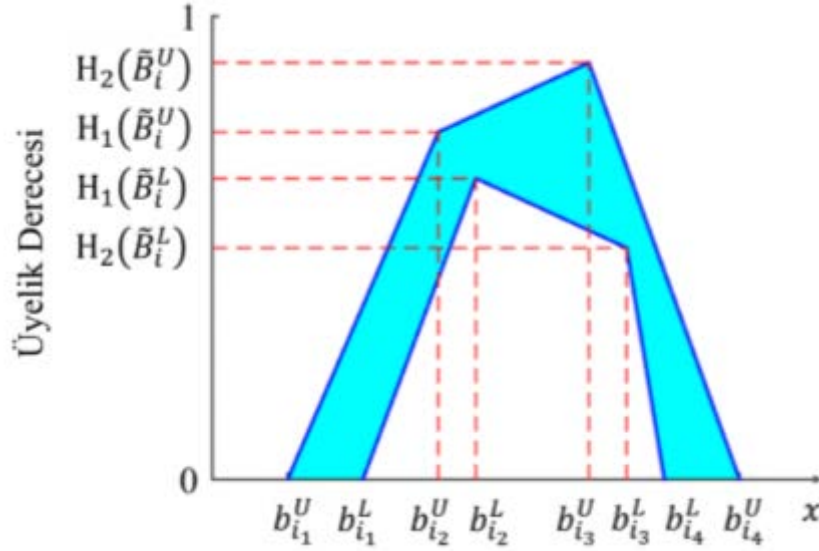
Sabit Sayıyla Çarpma:

$$k \otimes \tilde{A}_2 = (k \times a_{1_l}^U, k \times a_{1_m}^U, k \times a_{1_r}^U; k \times H(\tilde{A}_1^U)) \quad (4.53)$$

4.3.1.2 Tip-2 Yamuk Bulanık Sayı

$\tilde{A}_i$ yamuk bulanık sayı (YBS) olmak üzere; $\tilde{A}_i^U$ ve $\tilde{A}_i^L$ ilgili bulanık sayının sırasıyla üst ve alt kısmını temsil etmektedir. Bu sayıya ait üst ve alt üyelik fonksiyon gösterimi de sırasıyla $\mu_{\tilde{A}_i^U}$ ve $\mu_{\tilde{A}_i^L}$ 'dır. YBS' de üst kısmına ait yükseklikleri $a_{i_2}^U$ ve $a_{i_3}^U$ olup bu yüksekliklere ait üyelik dereceleri ise $H_1(\tilde{A}_i^U)$ ve $H_2(\tilde{A}_i^U)$ 'dir. Ayrıca üst kısmına ait referans noktaları da $a_{i_1}^U, a_{i_2}^U, a_{i_3}^U$ ve $a_{i_4}^U$ 'tür. YBS' de alt kısmına ait

yükseklikleri ise $a_{i_2}^L$ ve $a_{i_3}^L$ olup bu yüksekliklere ait üyelik dereceleri ise $H_1(\tilde{A}_i^L)$ ve $H_2(\tilde{A}_i^L)$ 'dir. Ayrıca üst kısmına ait referans noktaları da $a_{i_1}^L, a_{i_2}^L, a_{i_3}^L$ ve $a_{i_4}^L$ 'tür. Tip-2 YBS' nin tüm parametrelerini ilgili sayının alt ve üst kısımlarına ait değişkenler oluşturur [103]. Tip-2 YBS' ye ait grafiksel gösterim Şekil 4.8' de gösterilmiştir [137].



Şekil 4-8 Tip-2 Yamuksal Bulanık Sayı Grafiksel Gösterimi

Tip-2 YBS'ye ait üst ve alt üyelik fonksiyonlarına ait matematiksel gösterimleri sırasıyla (4.54) ve (4.55) eşitliklerindeki gibi olmaktadır [140].

$$\mu_{\tilde{A}_i^U}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq a_{i_1}^U \\ H_1(\tilde{A}_i^U) \frac{(x - a_{i_1}^U)}{(a_{i_2}^U - a_{i_1}^U)} & a_{i_1}^U \leq x \leq a_{i_2}^U \\ H_1(\tilde{A}_i^U) + \frac{(H_2(\tilde{A}_i^U) - H_1(\tilde{A}_i^U))(x - a_{i_2}^U)}{(a_{i_3}^U - a_{i_2}^U)} & a_{i_2}^U \leq x \leq a_{i_3}^U, H_1(\tilde{A}_i^U) \leq H_2(\tilde{A}_i^U) \\ H_2(\tilde{A}_i^U) + \frac{(H_1(\tilde{A}_i^U) - H_2(\tilde{A}_i^U))(a_{i_3}^U - x)}{(a_{i_3}^U - a_{i_2}^U)} & a_{i_2}^U \leq x \leq a_{i_3}^U, H_1(\tilde{A}_i^U) \geq H_2(\tilde{A}_i^U) \\ H_2(\tilde{A}_i^U) \frac{(a_{i_4}^U - x)}{(a_{i_4}^U - a_{i_3}^U)} & a_{i_3}^U \leq x \leq a_{i_4}^U \\ 0 & x \geq a_{i_4}^U \end{array} \right\} \quad (4.54)$$

$$\mu_{\tilde{A}_1^L}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq a_{i_1}^L \\ H_1(\tilde{A}_1^L) \frac{(x - a_{i_1}^L)}{(a_{i_2}^L - a_{i_1}^L)} & a_{i_1}^L \leq x \leq a_{i_2}^L \\ H_1(\tilde{A}_1^L) + \frac{(H_2(\tilde{A}_1^L) - H_1(\tilde{A}_1^L))(x - a_{i_2}^L)}{(a_{i_3}^L - a_{i_2}^L)} & a_{i_2}^L \leq x \leq a_{i_3}^L, H_1(\tilde{A}_1^L) \leq H_2(\tilde{A}_1^L) \\ H_2(\tilde{A}_1^L) + \frac{(H_1(\tilde{A}_1^L) - H_2(\tilde{A}_1^L))(a_{i_3}^L - x)}{(a_{i_3}^L - a_{i_2}^L)} & a_{i_2}^L \leq x \leq a_{i_3}^L, H_1(\tilde{A}_1^L) \geq H_2(\tilde{A}_1^L) \\ H_2(\tilde{A}_1^L) \frac{(a_{i_4}^L - x)}{(a_{i_4}^L - a_{i_3}^L)} & a_{i_3}^L \leq x \leq a_{i_4}^L \\ 0 & x \geq a_{i_4}^L \end{array} \right\} \quad (4.55)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_i = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left(\left((a_{i_1}^U, a_{i_2}^U, a_{i_3}^U, a_{i_4}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), \right. \right. \\ \left. \left. (a_{i_1}^L, a_{i_2}^L, a_{i_3}^L, a_{i_4}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \right) \quad (4.56)$$

(4.56) eşitliğinde tanımlanan tip-2 YBS $k > 0$ için aritmetiksel işlemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [140].

Toplama:

$$\tilde{\tilde{A}}_1 \oplus \tilde{\tilde{A}}_2 = \left(\left((a_{i_1}^U + a_{i_1}^U, a_{i_2}^U + a_{i_2}^U, a_{i_3}^U + a_{i_3}^U, a_{i_4}^U + a_{i_4}^U; \right. \right. \\ \left. \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))) \right), \right. \\ \left. \left((a_{i_1}^L + a_{i_1}^L, a_{i_2}^L + a_{i_2}^L, a_{i_3}^L + a_{i_3}^L, a_{i_4}^L + a_{i_4}^L; \right. \right. \\ \left. \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \right) \right) \quad (4.57)$$

Çıkarma:

$$\tilde{\tilde{A}}_1 - \tilde{\tilde{A}}_2 = \left(\left((a_{i_1}^U - a_{i_1}^U, a_{i_2}^U - a_{i_2}^U, a_{i_3}^U - a_{i_3}^U, a_{i_4}^U - a_{i_4}^U; \right. \right. \\ \left. \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))) \right), \right. \\ \left. \left((a_{i_1}^L - a_{i_1}^L, a_{i_2}^L - a_{i_2}^L, a_{i_3}^L - a_{i_3}^L, a_{i_4}^L - a_{i_4}^L; \right. \right. \\ \left. \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \right) \right) \quad (4.58)$$

Çarpma:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = \left(\begin{array}{l} \left((a_{1_1}^U \times a_{2_1}^U, a_{1_2}^U \times a_{2_2}^U, a_{1_3}^U \times a_{2_3}^U, a_{1_4}^U \times a_{2_4}^U; \right. \\ \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))) \right) \\ \left((a_{1_1}^L \times a_{2_1}^L, a_{1_2}^L \times a_{2_2}^L, a_{1_3}^L \times a_{2_3}^L, a_{1_4}^L \times a_{2_4}^L; \right. \\ \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{array} \right) \quad (4.59)$$

Bölme:

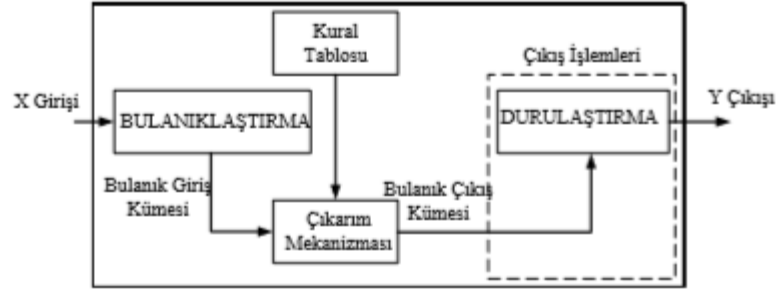
$$\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2 = \left(\begin{array}{l} \left((a_{1_1}^U / a_{2_1}^U, a_{1_2}^U / a_{2_2}^U, a_{1_3}^U / a_{2_3}^U, a_{1_4}^U / a_{2_4}^U; \right. \\ \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))) \right) \\ \left((a_{1_1}^L / a_{2_1}^L, a_{1_2}^L / a_{2_2}^L, a_{1_3}^L / a_{2_3}^L, a_{1_4}^L / a_{2_4}^L; \right. \\ \left. \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \text{enk}(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \right) \end{array} \right) \quad (4.60)$$

Sabit Sayıyla Çarpma:

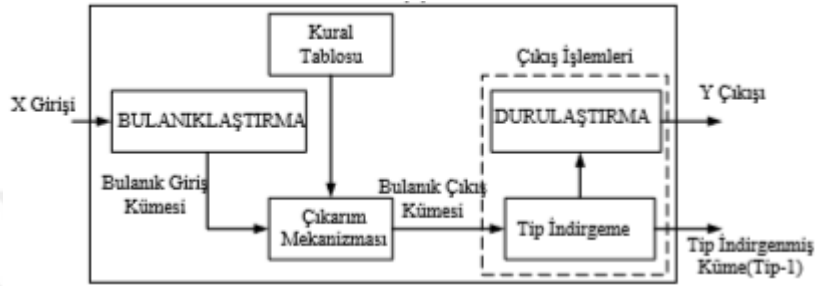
$$k \otimes \tilde{A} = \left(\begin{array}{l} \left(k \times a_{1_1}^U, k \times a_{1_2}^U, k \times a_{1_3}^U, k \times a_{1_4}^U; (H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)) \right) \\ \left(k \times a_{1_1}^L, k \times a_{1_2}^L, k \times a_{1_3}^L, k \times a_{1_4}^L; (H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)) \right) \end{array} \right) \quad (4.61)$$

4.3.2 Tip-2 Bulanık Kümelerde Tip İndirgeme ve Durulaştırma

Bulanık tip-2 kümelerinde kesin bir sayı elde etmek için tip-1 kümelerde olduğu gibi durulaştırma işlemleri yapılması gerekmektedir fakat tip-2 bulanık kümeler 3 boyutlu olduğu için direkt olarak durulaştırma işlemleri yapılamadığı için ara bir işlem olan tip indirgeme işlemleri yapılmakta, bu sayede 3 boyutlu olan küme 2 boyuta indirgenmektedir. Daha sonra durulaştırma işlemleri yapılarak kurulan modelden kesin bir sayı elde edilebilmektedir. Tip-1 ve Tip-2 bulanık küme çalışma prensibi sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da gösterilmiştir [141].



Şekil 4-9 Tip-1 Küme Çalışma Prensibi



Şekil 4-10 Tip-2 Küme Çalışma Prensibi

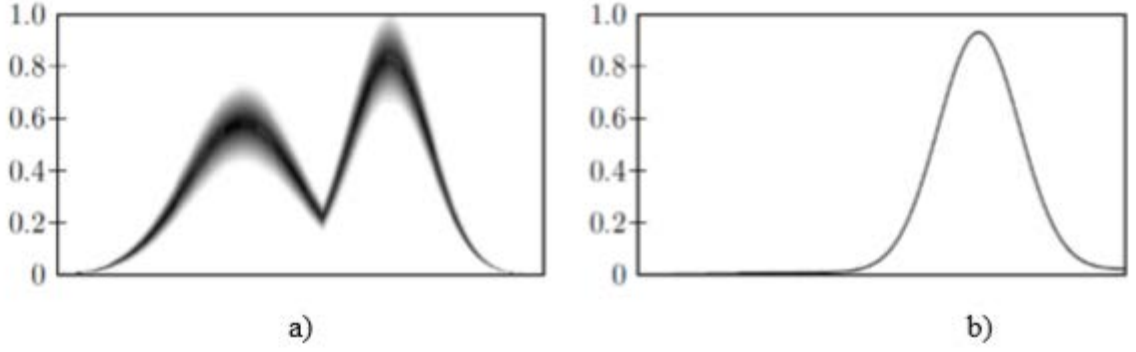
Şekil 4.9’ da görüldüğü üzere tip-1 bulanık kümelerde bulanık çıkış kümesinden sonra durulaştırma işlemi yapılabilirken tip-2 bulanık kümelerde tip indirgeme işlemi yapılarak küme tip-1 bulanık küme haline getirilmektedir [141].

4.3.2.1 Tip-2 Bulanık Kümelerde Tip İndirgeme

Tip-2 bulanık kümelerde tip indirgeme için pek çok yöntem bulunmaktadır. En çok kullanılan yöntemler aşağıda listelenmiştir [142].

- Kütle Merkezi Tip İndirgeme (Centroid Type Reduction)
- Merkezlerin Toplamı Tip İndirgeme (Center-Of-Sums Type Reduction)
- Yükseklik Tip İndirgeme (Height type Reduction)
- Uygunlaştırılmış Yükseklik Tip İndirgeme (Modified Height Type Reduction)
- Kümelerin Merkezi Tip İndirgeme (Center-Of-Sets(cos) Type Reduction)

Tip-2 kümelerde tip indirgeme işlemi sonucu oluşan görüntü Şekil 4.11’ de gösterilmiştir [142].



Şekil 4-11 Tip İndirgeme İşlemi Görüntüsü

a) Tip-2 Bulanık Küme

b) Tip-2' den Tip-1' e İndirgeme

Tip-2 bulanık kümeler çok sayıda tip-1 kümenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Şekil 4.11 (a)' da siyah kalın çizgi ile gösterilen tip-2 kümeye ait ayak izi indirgeme sayesinde parçalanmıştır ve tek bir kümeye (tip-1) indirgenmiştir.

Kütle Merkezi Tip İndirgeme (Centroid Type Reduction):

Bu indirgeme yönteminde bulanık çıkış kümeleri birleşim işlemi sonucu birleştirilmektedir [143]. İlgili indirgeme işlemi için birleşim işlemi (4.62) eşitliğindeki gibidir [144], [145].

$$B = U_{l=1}^M B^l \quad (4.62)$$

İlgili indirgeme için matematiksel gösterim (4.63) eşitliğindeki gibi olmaktadır [144], [145].

$$y_c(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_B(y_i)} \quad (4.63)$$

Merkezlerin Toplamı Tip İndirgeme (Center-Of-Sums Type Reduction):

Merkezlerin toplamı tipi indirgeme işleminde bulanık kümelerin kütle merkezinin bulunması amacıyla tip-1 kümeler birbirlerine eklenerek birleştirilir [143]. Bu yönteme ait üyelik fonksiyonu gösterimi (4.64) eşitliğinde gösterilmiştir [144], [145].

$$\mu_B(y) = \sum_{l=1}^M \mu_{B^l}(y) \forall y \in Y \quad (4.64)$$

Bu yönteme ait matematiksel gösterim (4.65) eşitliğindeki gibi olmaktadır [144], [145].

$$y_\alpha(x) = \frac{\sum_{l=1}^M c_{B^l} a_{B^l}}{\sum_{l=1}^M a_{B^l}} \quad (4.65)$$

(4.65) eşitliğinde c_B^l , l . çıkış kümesinin kütle merkezini gösterirken, a_B^l ilgili kümeye ait alanı, $y_\alpha(x)$ 'de bulunan α ise toplamsal birleşimi ifade etmektedir [143].

Yükseklik Tip İndirgeme (Height type Reduction):

Yükseklik tipi indirgeme yönteme ait matematiksel gösterim (4.66) eşitliğindeki gibi olmaktadır [144], [145].

$$y_h(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \mu_{B^l}(\bar{y}^l)}{\sum_{l=1}^M \mu_{B^l}(\bar{y}^l)} \quad (4.66)$$

Uygunlaştırılmış Yükseklik Tip İndirgeme (Modified Height Type Reduction):

Bu yöntem yükseklik tipi indirgeme yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Yönteme ait matematiksel gösterim (4.67) eşitliğindeki gibi olmaktadır [144], [145].

$$y_h(x) = \frac{\frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} \mu_{B^l}(y^{-l})}{\delta^{l^2}}}{\frac{\sum_{l=1}^M \mu_{B^l}(y^{-l})}{\delta^{l^2}}} \quad (4.67)$$

Kümelerin Merkezi Tip İndirgeme (Center-Of-Sets(cos) Type Reduction):

Bu yöntem; ilgili indirgeme yöntemleri arasında araştırmacılar arasında en çok tercih edilen yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem için pek çok farklı algoritma geliştirilmiştir [141]. İlgili yöntem için matematiksel gösterim (4.68) eşitliğindeki gibidir [143].

$$y_{\cos}(x') = \bigcup_{\substack{f^n \in F^n(x) \\ y^n \in Y^n}} \frac{\sum_{n=1}^N f^n y^n}{f^n} \quad (4.68)$$

4.3.2.2 Tip-2 Bulanık Kümelerde Durulaştırma

İndirgeme işleminden sonra kesin bir sonuca ulaşabilmek için durulaştırma işlemi yapılması gerekmektedir. Literatürde en çok tercih edilen durulaştırma yöntemleri aşağıdaki gibidir [117].

- Ağırlık Merkezi Yöntemi
- Sıralama Yöntemi
- DTriT ve DtraT Yöntemi

Ağırlık Merkezi Yöntemi:

Tip-2 bulanık kümesinin ağırlık merkezini ($C_{\tilde{A}}(x)$), kendisini oluşturan tip-1 bulanık kümelerinin ağırlık merkezleri birleşimi oluşturur. Bu yöntemle ait matematiksel denklemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir [146].

$$C_{\tilde{A}} = \bigcup_{\forall A_e} C_{\tilde{A}}(A_e) = \{c_1(\tilde{A}), \dots, c_r(\tilde{A})\} = [c_l(\tilde{A}), c_r(\tilde{A})] \quad (4.69)$$

$$c_l(\tilde{A}) = \min_{\forall A_e} c_{\tilde{A}}(A_e) = \min_{\forall \theta \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)]} \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \right) \quad (4.70)$$

$$c_r(\tilde{A}) = \max_{\forall A_e} c_{\tilde{A}}(A_e) = \max_{\forall \theta \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)]} \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \right) \quad (4.71)$$

Sıralama Yöntemi:

Tip-2 bulanık kümelerde sıralama yöntemini üçgensel ve yamuksal bulanık sayılarda sıralama olmak üzere ikiye ayırabiliriz. İlgili sıralama yöntemleri aşağıda gösterilmiştir.

- **Tip-2 Üçgensel Bulanık Sayılarda Sıralama Yöntemi:**

Tip-2 ÜBS' ların sıralamasında Lee ve Chen [140] tarafından geliştirilen modelin matematiksel gösterimi (4.72) eşitliğindeki gibidir [140].

$$Rank(\tilde{A}_i) = \left(\begin{array}{l} M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) + M_2(\tilde{A}_i^L) - \frac{1}{3}(S_1(\tilde{A}_i^U) + S_1(\tilde{A}_i^L)) + \\ S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) + S_3(\tilde{A}_i^U) + S_3(\tilde{A}_i^L) + H(\tilde{A}_i^U) + H(\tilde{A}_i^L) \end{array} \right) \quad (4.72)$$

Eşitlikte $\tilde{A}_i$ tip-2 üçgensel bulanık sayıyı, $Rank(\tilde{A}_i)$ ilgili kümenin göreceli büyüklüğünü göstermektedir.

$M_1(\tilde{A}_i^j)$, $j \in [U, L]$ için matematiksel hesaplama (4.73) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$M_1(\tilde{A}_i^j) = \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j}{2} \quad (4.73)$$

$M_2(\tilde{A}_i^j)$, $j \in [U, L]$ için matematiksel hesaplama (4.74) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$M_2(\tilde{A}_i^j) = \frac{a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{2} \quad (4.74)$$

$S_1(\tilde{A}_i^j)$ $j \in [U, L]$ için $a_{i_l}^j$ ve $a_{i_m}^j$ in standart sapmasını temsil etmektedir ve matematiksel hesaplaması (4.75) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$S_1(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2}((a_{i_l}^j - M_1(\tilde{A}_i^j))^2 + (a_{i_m}^j - M_1(\tilde{A}_i^j))^2)} \quad (4.75)$$

$S_2(\tilde{A}_i^j)$ $j \in [U, L]$ için $a_{i_m}^j$ ve $a_{i_r}^j$ in standart sapmasını temsil etmektedir ve matematiksel hesaplaması (4.76) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$S_2(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2}((a_{i_m}^j - M_2(\tilde{A}_i^j))^2 + (a_{i_r}^j - M_2(\tilde{A}_i^j))^2)} \quad (4.76)$$

$S_3(\tilde{A}_i^j)$ $j \in [U, L]$ için $a_{i_l}^j, a_{i_m}^j$ ve $a_{i_r}^j$ 'in standart sapmasını temsil etmektedir ve matematiksel hesaplaması (4.77) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$S_3(\tilde{A}_i^j) = \left(\frac{1}{3} \left(\left(a_{i_l}^j - \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{3} \right)^2 + \left(a_{i_m}^j - \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{3} \right)^2 + \left(a_{i_r}^j - \frac{a_{i_l}^j + a_{i_m}^j + a_{i_r}^j}{3} \right)^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.77)$$

- **Tip-2 Yamuksal Bulanık Sayılarda Sıralama Yöntemi:**

Tip-2 YBS' ların sıralamasında Lee ve Chen [140] tarafından geliştirilen modelin matematiksel gösterimi (4.78) eşitliğindeki gibidir.

$$Rank(\tilde{B}_i) = \left(\begin{aligned} &M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) + M_2(\tilde{A}_i^L) + M_3(\tilde{A}_i^U) + M_3(\tilde{A}_i^L) - \\ &\frac{1}{4}((S_1(\tilde{A}_i^U) + S_1(\tilde{A}_i^L) + S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) + S_3(\tilde{A}_i^U) + S_3(\tilde{A}_i^L) + \\ &S_4(\tilde{A}_i^U) + S_4(\tilde{A}_i^L)) + H_1(\tilde{A}_i^U) + H_1(\tilde{A}_i^L) + H_2(\tilde{A}_i^U) + H_2(\tilde{A}_i^L) \end{aligned} \right) \quad (4.78)$$

Eşitlikte $\tilde{A}_i$ tip-2 yamuksal bulanık sayısı, $Rank(\tilde{A}_i)$ ilgili kümenin göreceli büyüklüğünü göstermektedir.

$1 \leq p \leq 3$ ve $j \in [U, L]$ şartıyla $M_p(\tilde{A}_i^j)$ 'in matematiksel hesaplaması (4.79) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$M_p(\tilde{A}_i^j) = \frac{a_{i_p}^j + a_{i_{(p+1)}}^j}{2} \quad (4.79)$$

$S_q(\tilde{A}_i^j), a_{i_p}^j$ ve $a_{i_{(p+1)}}^j$ 'in standart sapmasını temsil etmektedir. $1 \leq p \leq 3, 1 \leq q \leq 3$ ve $j \in [U, L]$ şartıyla matematiksel hesaplaması (4.80) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$S_q(\tilde{A}_1^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=p}^{q+1} (a_{i_k}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} a_{i_k}^j)^2} \quad (4.80)$$

$S_4(\tilde{A}_1^j)$ $j \in [U, L]$ için $a_{i_2}^j, a_{i_3}^j, a_{i_4}^j$ ve $a_{i_4}^j$ 'in standart sapmasını temsil etmektedir ve matematiksel hesaplaması (4.81) eşitliğinde gösterilmiştir [140].

$$S_4(\tilde{A}_1^j) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 (a_{i_k}^j - \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 a_{i_k}^j)^2} \quad (4.81)$$

• DtriT ve DtraT Yöntemi

Kahraman vd. [147] tarafından tip-2 kümelerin durulaştırılması için önerilen yöntemde tip-2 ÜBS'lerin durulaştırılması DtriT ($\tilde{A}_i$) ile gösterilirken, tip-2 YBS'lerin durulaştırılması DtraT ($\tilde{A}_i$) olarak gösterilmiştir. Bu yöntemde göre tip-2 ÜBS'lerin durulaştırma işlemi (4.82) eşitliğindeki gibi olmaktadır.

$$DtriT(\tilde{A}) = \frac{H(\tilde{A}_1^U) \frac{a_{i_1}^U + a_{i_m}^U + a_{i_r}^U}{3}}{2} + \frac{H(\tilde{A}_1^L) \frac{a_{i_1}^L + a_{i_m}^L + a_{i_r}^L}{3}}{2} \quad (4.82)$$

Bu yöntemde göre tip-2 YBS'lerin durulaştırma işlemi (4.83) eşitliğindeki gibidir [147].

$$DtraT(\tilde{A}) = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{a_{i_1}^U + \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)) \times a_{i_2}^U}{4} + \frac{\text{enb}(H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)) \times a_{i_3}^U + a_{i_4}^U}{4} \right) + \left(\frac{a_{i_1}^L + \text{enk}(H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \times a_{i_2}^L}{4} + \frac{\text{enb}(H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \times a_{i_3}^L + a_{i_4}^L}{4} \right) \right) \quad (4.83)$$

4.4 Tez Kapsamı ve Tip-2 Bulanık Kümeler

Tip-1 bulanık küme metodolojisi kullanılarak oluşturulan bulanık kontrol diyagramları süreç içerisinde ölçülebilen kalite karakteristikleri için operatör, ölçüm aleti ve yöntemi sebebiyle oluşabilecek hatalara karşı tolerans aralığı sağlamaktadır. Ölçülemeyen kalite karakteristikleri içinse dilsel ifadelerin genişletilebilmesine ve sayısal verilere dönüşmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede oluşturulan kontrol diyagramı çok daha efektif olmakta ve süreç içerisindeki değişimleri çok daha iyi temsil edebilmektedir. Fakat ölçülebilen kalite karakteristiğinin çok hassas olması durumunda veya ölçülemeyen kalite karakteristiğinin dilsel tanımlamalarında belirsizliğin artması durumunda tip-1 bulanık küme metodolojisi de yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi süreçlerde üyelik derecelerinin de bulanık olarak atandığı tip-2 bulanık küme metodolojisini kullanmak daha anlamlı hale gelecektir. Bu çalışmada belirtilen süreçler için daha hassas ve esnek bir yapı oluşturabilmek için tip-2 bulanık küme metodolojisi kullanarak $\bar{x} - R$, $\bar{x} - S$ ve I-MR kontrol diyagramları geliştirilmiştir.

Bulanık mantık metodolojisi, ortaya çıkışından sonra pek çok alanda kendisine uygulama alanı bulmuş ve kuramsal alanı da sürekli genişlemiştir. Bulanık mantığın insan mantığını ve günlük hayatta karşılaşılan problemleri matematiksel olarak iyi yansıtabilmesi geleneksel yöntemlere göre daha efektif sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Kalite kontrol süreçlerinde nicel ve nitel olmak üzere iki veri tipi incelenmektedir. Nicel verilerle takip edilen kalite özelliklerinde ölçüm aletlerinin veya ölçümü yapan personelin hassasiyetinden kaynaklı hatalar sebebiyle, nitel verilerle takip edilen kalite özelliklerinde de kusur veya kusurlu atamaların kalite kontrolü sağlayan personelin subjektif kararı olması sebebiyle veri doğruluğu tam olarak sağlanamamaktadır. Bu noktada bulanık mantık metodolojisiyle oluşturulmuş kontrol diyagramları nicel verilere tolerans aralığı nitel verilere ise kusur veya kusurlu olmasını belli derecelerle sayısallaştırarak veri doğruluk oranını arttırmaktadır.

Bu bölümde bulanık kontrol diyagramları alanında yapılan çalışmalar genel hatları ile incelenmiştir.

Gülbay vd. [148], kalite kontrol süreçlerinde denetim sıklığı isteğine göre kontrol diyagramları oluşturabilmek için ÜBS' lere alfa kesimi uygulayarak bulanık c kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Bu diyagrama göre alfa 1' e yaklaşırsa denetim toleransı azalmakta, 0' a yaklaşırsa da denetim toleransı artmaktadır. Çalışmalarında Taleb ve Limam' ın [149] kusurlarına göre porselen kalite sınıflandırması örneğine kendi uygulamaları adapte etmişler ve bazı alfa kesimlerde kontrol limiti dışında olan örneklerin kontrol limitleri içinde kalabileceğini göstermişlerdir.

Gülbay ve Kahraman [4], hem üçgensel hem de yamuk bulanık sayılar için alfa kesimli bulanık kontrol diyagramları geliştirmişlerdir. Dilsel verileri kontrol limitleri oluşturmada sayısal hale getirmişler ve "Direkt Bulanık Yaklaşım" (DBY) metodunu geliştirmişlerdir. Bu metoda göre kontrol diyagramının

yorumlanmasında durulaştırma kullanmasına gerek duyulmamaktadır. Çalışmalarını büyük boyutlu bir oyuncak üretiminin kalite kontrol süreçleri için örneklendirmişlerdir.

Erginel [150], ÜBS' leri ve alfa seviyesi bulanık medyan dönüşüm metodunu kullanarak bulanık alfa kesimi I-MR kontrol diyagramı geliştirmiştir. Çalışmasını; uçaklar için egzoz boruları kalite kontrol süreci ile örneklendirmiştir.

Engin vd. [151], hammadde ve tezgah kusur oranlarının insan sezgisi içerebileceği için dinamik olabileceklerini savunmuşlar ve bu parametreleri bulanık sayı olarak ifade etmişlerdir. Oluşturdukları modeli genetik algoritmalar için çözerek çok aşamalı süreçlerde nitel kontrol diyagramlarında örnek büyüklüğünü belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarını motor valfi üretim sürecinde uygulayarak desteklemişlerdir.

Şentürk ve Erginel [152], alfa seviyesi bulanık orta aralık dönüşüm tekniği kullanarak alfa kesimi bulanık $\bar{x} - R$ ve $\bar{x} - S$ kontrol diyagramlarını geliştirmişlerdir. Kompresör piston iç çapları için örnek uygulama yapmışlar ve klasik kontrol diyagramlarında kontrol çizgilerine yakın olan noktaların yanlış yorumlamaya sebep olabileceğini fakat bulanık diyagramların bu konuda daha esnek ve daha kontrollü bir yapıya sahip olduğu belirtmişlerdir.

Amirzadeh vd. [153], YBS' leri kullanarak p kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Zarendi vd. aksine [154] diyagramda gerçek sayıları kullanmışlar ve kaliteyi bulanık bir set olarak tanımlamışlardır. Geliştirdikleri diyagramı otomotiv segmanlarının kalite süreçleri üzerinde uygulamışlar ve geleneksel p kontrol diyagramına göre süreç ortalaması ve varyansı üzerindeki değişimleri daha duyarlı bir şekilde gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri diyagramın klasik p kontrol diyagramlarına göre tip-2 hata oranının çok daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Faraz ve Shapiro [155], LR tip bulanık sayılar kullanarak $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Bulanık kontrol diyagramlarında kullanılan bulanık mod, bulanık orta aralık aralık ve bulanık medyan gibi temsillerin teorik temelini olmadığını savunmuşlar ve bulanık değerler asimetric olduğunda kontrol diyagramlarında

farklı sonuçların ortaya çıkabileceğini anlatmışlardır. Sürecin tamamen bulanık sayılarla izlenmesinin daha doğru sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir.

Shu ve Wu [156], LR tip bulanık sayıları kullanarak bulanık p kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Ayrıca alt ve üst kontrol limitlerinin üyelik derecelerini çözünürlük kimliği teoremiyle elde etmişlerdir. Çalışmalarını led üretimi gerçekleştiren bir firmanın kalite kontrol sürecinde uygulayarak kullanılan tekniğin geleneksel kontrol diyagramına göre daha efektif sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Şentürk vd. [157], ÜBS' leri ve alfa seviyesi bulanık medyan dönüşüm tekniğini kullanarak bulanık alfa kesimi $\bar{x} - R$ ve $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmişler ve ayrıca bulanık ortalama çalışma uzunluğunu (ARL) da incelenmiştir. Çalışmalarını, kamyon motoru imalatı kalite kontrol süreci için örneklendirerek bulanık kontrol diyagramlarının süreç içerisindeki ufak değişimlerini daha iyi temsil ettiklerini belirtmişlerdir.

Şentürk [158], hem üçgensel hem de yamuk bulanık sayıları kullanarak alfa seviyesi bulanık orta aralık için alfa kesimi bulanık X-regresyon kontrol diyagramının teorik yapısını sunmuşlardır. Ayrıca geliştirilen diyagram doğalgaz valfinin iç çaplarının dış çekilmesi süreci ile örneklendirilmiştir.

Shu ve Wu [159], ÜBS' leri kullanarak bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişler ve bulanık baskınlık yaklaşımı kullanarak bulanık ortalamalar ve varyansları kontrol limitleri ile karşılaştırmışlardır ve karar vericiye bir sonraki süreci tahmin etme olanağı sağlamışlardır. Dokunmatik panel üretimi kalite kontrol süreci ile çalışmalarını örneklendirmişlerdir.

Alizade ve Ghomi [160], ÜBS' leri ve bulanık mod, alfa seviyesi bulanık medyan, alfa seviyesi bulanık orta aralık ve bulanık ortalama dönüşüm yaklaşımlarını kullanarak bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramları geliştirmişler ve dönüşüm yaklaşımlarını arasındaki performansları ise ARL değerlerini hesaplayarak karşılaştırmışlardır. Çalışmalarını nümerik bir örnekle desteklemişlerdir.

Kaya ve Kahraman [5], üçgensel ve yamuk bulanık sayılarla bulanık mod ve bulanık kural metodunu kullanarak bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Ayrıca üçgensel ve yamuk bulanık sayıları kullanarak spesifikasyon limitleri ve

süreç yeterlilik indekslerini tanımlanmıştır. Geliştirdikleri diyagramı ve süreç yeterlilik indekslerini segman üretim sürecinde uygulayarak bulanık diyagram ve yeterlilik indekslerinin daha duyarlı sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Erginel vd. [161], ÜBS' leri ve alfa seviyesi bulanık medyan dönüşüm tekniğini kullanarak bulanık alfa kesimi $\bar{x} - R$ ve $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmiştir. Çalışmalarını bisküvi imalatı paketleme kalite kontrol süreci için örneklendirerek bulanık kontrol diyagramlarının daha efektif sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Huang vd. [162], bulanık p kontrol diyagramı için farklı denetim sıklıklarında (alfa kesim) ortalama örnek büyüklüğü ve değişken örnek büyüklüğü durumlarında diyagramın temel unsurlarının nasıl şekilleneceğini göstermişlerdir. Bu anlamda; farklı alfa seviyelerinde ortalama ve değişken örnek büyüklüğünü arasında farkı açıklayan sayısal bir örneği çalışmalarında paylaşmışlardır.

Nguyen vd. [163], ÜBS' leri ve bulanık sıralama metotlarından Chen & Lu [164] tarafından geliştirilen sıralama metodunu kullanarak sağ-sol baskınlık yaklaşım $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri diyagramı, optik mercekler üzerindeki pürüzsüzlük kalite özelliğini diyagrama aktararak örneklendirmişlerdir.

Pandian ve Puthiyanayagam [165], ÜBS' leri ve alfa seviyesi bulanık orta aralık yaklaşımı kullanarak değişken örneklem büyüklüğü ve özellikler için bulanık multinominal kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri diyagramı klasik p kontrol diyagramı ile karşılaştırmışlardır. Pandurnagan vd.' nin [166] bir üretim hattında, aydınlatma bileşeninin alüminyum döküm kalıbının görsel kontrolü örneği ile çalışmalarını desteklemişler ve bulanık kontrol diyagramlarının ölçülemeyen kalite karakteristikleri için karar vericiye daha esnek bir yapı sunduğunu göstermişlerdir.

Wang [167], sayısal verilerle ifade edilemeyen parametreler için LR tipi bulanık sayıların ağırlıklı olasılıksal ortalaması bulunmasına dayalı bulanık c kontrol diyagramı tasarlamışlardır. Geliştirdikleri bu yeni c kontrol diyagramını 40 yatırımcı için bulanık getiriye sahip sermaye yatırımı örneğiyle desteklemişlerdir.

Khademi ve Amirzadeh [168], ÜBS' leri kullanarak bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramlarında karar verme sürecinde dönüşüm işlemleri yerine bulanık mod ve

bulanık kural tabanı kullanarak tasarlamışlardır. Kaya ve Kahraman [5] ve Alipour ve Noorossana [169] tanıttığı bulanık mod yaklaşımını geliştirmişlerdir. Ayrıca; Kaya ve Kahraman' ın [5] simetrik ÜBS için oluşturdukları bulanık kural tabanını asimetrik ÜBS' ler için de geliştirmişlerdir. (syf 60) Çalışmaların nümerik bir örnekle desteklemişlerdir.

Zabihinpour vd [170], ÜBS' leri kullanarak alt ve üst kontrol limitlerinin altında veya üstünde kalan ortalama alanın yüzdesine (PA) dayanan doğrusal bir yaklaşımla bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Tavuk nugget üretim sürecinde geleneksel kontrol diyagramları ile geliştirdikleri kontrol diyagramının sonuçlarını karşılaştırmışlar ve süreci izlemede geliştirdikleri kontrol diyagramının daha iyi sonuç verdiğini savunmuşlardır.

Saravanan ve Alamelumangai [171], YBS' lerle alfa seviyesi bulanık orta aralık yaklaşımı kullanarak bulanık alfa kesimi $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmişler. Çalışmalarını; nümerik bir örnekle desteklemişlerdir.

Sogandi vd. [172], ÜBS' lere alfa seviyesi bulanık orta aralık yaklaşımı kullanarak bulanık p kontrol diyagramı geliştirmişler. Geliştirilen bulanık kontrol diyagramının performansını ARL ve Monte Carlo simülasyonu ile klasik kontrol diyagramı ile karşılaştırmışlar ve bulanık kontrol diyagramın çok daha efektif olduğunu belirtmişlerdir.

Erginel [173], üçgensel ve yamuk bulanık sayıları kullanarak karar aşamasında dönüşüm işlemleri yerine kural tabanı oluşturarak karar vermeyi amaçlayan sabit ve değişken örnek hacmi için bulanık p ve np kontrol diyagramı geliştirmiştir. Çalışmasını beyaz eşya kalite kontrol süreci ile örneklendirmiştir.

Wang vd. [174], bulanık c kontrol diyagramları için bulanık medyan, bulanık mod ve DFA' ya karşın bulanık sayıların ağırlıklı olasılıksal ortalama (WPM) ve aralıklı aralık değerli olasılıksal ortalama (WIVPM) ile yeni bir bulanık c kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Gülbay ve Kahraman' ın [4] çalışmasında örnek olarak gösterdiğini oyuncak kalite süreci ile kendi geliştirdikleri yöntemi karşılaştırmışlar ve WPM ve WIVPM yaklaşımının DFA, bulanık mod, bulanık orta kademe ve bulanık medyan yaklaşımına göre daha iyi temsil gücüne sahip olduğu ve hesaplamalarının da daha

kolay olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca WPM ve WIVPM yaklaşımlarının hem dışbükey hem de dışbükey olmayan bulanık verilere uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Shu vd. [175], ÜBS' leri sol ve sağ transfer katsayıları ve alanlarına dayalı sıralama yöntemini kullanarak bulanık u kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri diyagramı paslanmaz çelik masa üreten bir firmanın kaynak kalite sürecinde uygulanarak örneklendirilmiştir.

Darestani vd [176], YBS' leri kullanarak bulanık u kontrol diyagramı tasarlamışlar ve hidrolik yağ tankı altında bulunan kusurlar için örnek uygulama yapmışlardır. Bulanık kontrol diyagramlarının dilsel ifadeleri daha iyi yansıtabilmeleri sayesinde karar vericinin daha efektif davranabilmesine olanak tanıdığını belirtmişlerdir.

Aslangiray ve Akyüz [177], bulanık mod, bulanık orta değer, bulanık orta aralık yaklaşımları ve direk bulanık yaklaşımı kullanarak bulanık u kontrol diyagramı geliştirmişler ve bir işletmede kumaş kalite süreci için klasik u kontrol diyagramı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; bulanık kontrol diyagramlarının klasik kontrol diyagramlarına göre daha duyarlı olduğunu ve mevcut işletme için bulanık kontrol diyagramının kullanılması atık malzeme ve işçilik maliyetlerini azaltacağını savunmuşlardır.

Şentürk vd. [178], tek değişkenli veriler için ÜBS' leri kullanarak bulanık EWMA kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Standart sapmanın bilindiği ve bilinmediği durumlar için alfa kesimi ve alfa seviyesi bulanık medyan kullanarak kontrol diyagramı limitlerini belirlemişlerdir. Plastik düğme kalite kontrol süreci ile çalışmalarını desteklemişlerdir.

Rashid ve Haydar [179], YBS' leri ve alfa seviyesi bulanık orta aralık yaklaşımı kullanarak bulanık alfa kesimi $\bar{x} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişler. Çalışmalarını çimento imalatı kalite kontrol süreci için örneklendirmişlerdir.

Zabihinpour vd. [180], diğer araştırmacılar tarafından tasarlanan bulanık $\bar{x} - S$ bulanık kontrol diyagramlarının süreç standart sapmalarını yanlış tahmin ettiğini savunmuşlar ve bu soruna çözüm olarak numune büyüklüğüne bağlı olarak oluşacak sapmaları engellenmek için düzeltme katsayısı geliştirmişlerdir. ÜBS' leri

kullanarak $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Çalışmalarını noddle üretim süreci için örneklemişler ve sonuç olarak geliştirdikleri modelin Shewhart kontrol diyagramlarına göre değişimleri çok daha iyi bir şekilde temsil edebildiğini belirtmişlerdir.

Gildeh ve Shafiee [181], otokorelasyonlu bulanık gözlemler için üçgensel bulanık sayıları kullanarak I-MR kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Diyagramın yorumlanması için Dp, q bulanık sıralama metodu kullanmışlardır. Toprak özelliklerin ölçümü örneği ile çalışmalarını desteklemişlerdir.

Shu vd. [182], LCD-TFT ürün kalite sürecini ele almışlardır. Bu ürünlerde karşılaşılan kusurlara Mura kusurları adı verilmektedir ve bu kusurlar kendi içinde gruplara ayrılmaktadır. Mevcut c kontrol diyagramlarının her kusuru eşit olarak kabul ettiğini bu durumun da subjektif karara sebebiyet verdiğini açıklamışlardır. Bulanık verilere bulanık bir dilsel ağırlık ekleyerek sınırsız derecelendirme mekanizması oluşturmuşlardır.

Wang ve Hryniewicz [183], olasılık dağılımının bilinmediği durumlar için LR tipi bulanık sayılar kullanarak parametrik olmayan bir Shewhart kontrol şeması ortaya koymuşlardır. Bootstrap yaklaşımını kullanarak bulanık ortalama miktarını hesaplamışlardır. Taleb ve Limam'ın [149] porselen örneğini değiştirerek örneklem sayısı 5 ve örneklem büyüklüğü 8 olan 40 adet porselenin renk görünümü için kontrol diyagramı oluşturmuşlardır.

Gülbay ve Kahraman [184], ÜBS' leri kullanarak bulanık $\bar{x} - R$, $\bar{x} - S$ ve EWMA kontrol diyagramları geliştirmişler ve nümerik verilerle diyagramları örneklendirmişlerdir.

Kahraman vd. [185], ÜBS' leri kullanarak bulanık $\bar{x} - R$, $\bar{x} - S$, sabit ve değişken örnek büyüklüğü için p , alfa kesimi p , np , u , alfa kesimi u , alfa seviyesi medyan alfa kesimi u , yamuksal bulanık sayılar için c bulanık kontrol diyagramlarını sunmuşlardır.

Darestani ve Nasiri [186], üçgensel ve yamuk bulanık sayıları kullanarak bulanık $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı ve süreç yeterlilik indekslerini geliştirmişler ve Engin vd.

'ın [151] çalışmalarında kullanmış olduğu segmanlar örneğini yeniden ele almışlardır.

Moraditadi ve Avakhdarestani [187], üçgensel ve yamuk bulanık sayıları bulanık mod yaklaşımı kullanarak bulanık I-MR kontrol diyagramı geliştirmişler. Çalışmalarını otomobil gösterge panosu kalite kontrol süreci için örneklendirerek bulanık mod yaklaşımında yamuk bulanık sayıların üçgensel bulanık sayılara göre daha hassas olduğunu belirtmişlerdir.

Yanık vd. [188], bulanık p , np , c ve u kontrol diyagramlarını sunmuşlardır. Her kontrol diyagramı için α -kesimi ve α -kesim bulanık diyagramları için α -seviye bulanık medyan yöntemleri sunulmuştur. Ayrıca nümerik verilerle diyagramlar örneklendirilmiştir.

Erginel ve Şentürk [189], EWMA ve CUSUM kontrol diyagramlarının süreçteki küçük değişimleri iyi tespit edebildiklerini belirtmişler ve bu amaçla çalışmalarında üçgensel bulanık sayıları kullanarak bulanık EWMA ve CUSUM kontrol diyagramlarını geliştirmişlerdir. Plastik düğme üretim süreci için örnek uygulama yapmışlardır.

Hou vd. [190], belirsiz ve ölçülemeyen kalite özellikleri için uzman puanlarının bulanık sayıya dönüştürülmesi esasına dayalı üçgensel, yamuksal, gaussian ve pi üyelik fonksiyonları için nitel bulanık kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Gereklik ve olasılık ölçüm kurallarını belirlemişler ve çalışmalarını dış ambalaj kalite süreci için örneklendirmişlerdir. Sıkı kontrol gerektiren durumlarda üçgensel, gevşek kontrol gerektiren durumlarda ise pi üyelik fonksiyonun kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Shu vd [191], ÜBS ve bulanık sıralama metotlarından Yu ve Dat [192] tarafından geliştirilen sıralama metodunu sadeleştirerek değişken örnek hacmi için $\bar{x} - S$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri diyagramı, optik mercekler üzerindeki pürüzsüzlük kalite özelliğini diyagrama aktararak örneklendirmişlerdir.

Kaya vd. [193], 1995-2014 yılına ait İMKB-30 endeksi Ocak ayı verileriyle üstel düzleştirme yöntemi kullanarak 2015 yılı Ocak ayına ait fiyat bilgilerini (açılış, kapanış, en yüksek) tahmin etmişlerdir. Bu fiyat bilgilerini ÜBS' yle ifade ederek X-

MR kontrol diyagramı oluşturulmuşlardır. Ayrıca farklı alfa kesimlerinde I-MR kontrol diyagramı sonuçlarını göstermişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda yapılan tahminlerin kontrol limitleri arasında olduklarını göstermişleridir.

Madadi ve Mahmoudzadeh [194], araç anahtarları üretim tesisinde yaptıkları çalışmada ürün kalite ölçütleri için ÜBS' leri kullanmışlar ve anahtarlar için 1.,2. ve 3. kalite sınıflandırması yapmışlardır. Ayrıca değişen sipariş miktarlarını Monte Carlo ile simule ederek multinom bir p kontrol diyagramı elde etmişlerdir.

Sakthivel vd. [195], Gülbay vd [148] tarafından geliştirilen kısa süreli alfa kesimli p kontrol diyagramını lastik üretim süreci kalitesini ölçmek için kullanmışlardır. 10 alt gruba oluşturdıkları p kontrol diyagramını sırasıyla 20 ve 30 alt gruba çıkarmışlar ve her kontrol diyagramı için farklı noktaların kontrol dışında olduklarını göstermişlerdir. Çalışmalarında etkin bir bulanık p kontrol diyagramı için optimize edilmiş alfa kesimi uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Şentürk [196], ÜBS' leri kullanarak bulanık c kontrol diyagramını geliştirmiştir. Geliştirdiği metodolojiyi de armatür üreten bir tesis içinde uygulayarak Shewhart kontrol diyagramlarından farkını göstermiştir.

Şentürk ve Antucheviciene [197], tip-2 YBS' leri ve Kahraman vd [147] tarafından modifiye edilen "En İyi Gerçek Olmayan Sayı Değeri" (BNP) durulaştırma yöntemi kullanarak tip-2 bulanık c kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri diyagramı; gıda üretim tesisinde paketleme kalite sürecini inceleyerek örneklendirmişlerdir.

Shabani vd. [198], genelleştirilmiş bulanık yamuk sezgisel sayıları (GTrIFNg) ve sezgisel bulanık orta seviye yöntemi kullanarak (α, β) kesimi bulanık $\bar{x} - R$ ve $\bar{x} - S$ kontrol diyagramları geliştirmişlerdir. Çalışmaları nümerik bir örnekle desteklemişlerdir.

Erginel vd. [199], verileri tip-2 YBS olarak ifade etmişler ve tip-2 bulanık p ve np kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Durulaştırma işleminde değiştirilmiş BNP metodu Kahraman vd [147] kullanmışlardır. Tip-2 bulanık p kontrol diyagramını değişken örnek hacmi içeren doğalgaz valfi kalite sürecinde uygulamışlardır. Doğalgaz valfi üretiminde oluşan çapak veya eziklik gibi durumların bazı

operatörler kusur olarak sınıflarken bazılarının ise kusurlu olmadığı yönünde subjektif bir karar süreci içerdiğini gözlemlemişler ve oluşturulan kontrol diyagramında sürecin kontrol altında olduğunu göstermişlerdir. Tip-2 bulanık np kontrol diyagramı içinse kek üretim sürecini ele almışlar ve üretimden çıkan keklerin operatörler tarafından gözle kontrol edildiğini, kek üzerindeki krema eksikliği ve şekil düzensizliğinin operatörler arasında subjektif karar süreci içerdiğini gözlemişler ve sabit örnek hacimli bir kontrol diyagramı tasarlamışlar ve sürecin kontrol altında olduğunu göstermişlerdir.

Teksen ve Anagün [200], bazı verilerin gerçek hayatta tip-1 bulanık sayılarla ifade edilemeyen durumlar için YBS' leri kullanarak tip-2 bulanık c kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Oluşturulan kontrol diyagramı sırasıyla olasılık, durulaştırma, centroid ve tip indirgeme yaklaşımını kullanılarak oluşturulan nümerik bir örnekte yorumlanmıştır.

Fadaei ve Pooya [201], ÜBS' leri kullanarak değişken örnek hacmi için bulanık u kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Kaya ve Kahraman' ın [5] bulanık kurallar yöntemini geliştirmişler ve durulaştırma metodu olmadan süreci yorumlamaya çalışmışlardır. Bulanık u kontrol diyagramının performansını ölçmek için bulanık işlem karakteristiği (FOC) uygulamışlardır. Çalışmalarını geliştirdikleri diyagramın emniyet kemeri üreten bir firmada dikiş kalitesini ölçerek örneklendirilmiştir.

Teksen ve Anagün [6], tip-2 YBS' leri ve sıralama, aralık, olasılık metodlarını kullanarak tip-2 bulanık $\bar{x} - R$ kontrol diyagramı geliştirmişlerdir. Çalışmalarını gıda ambalajlama kontrol süreci için örneklendirmişler ve geliştirdikleri diyagramın uyguladıkları metodlarla beraber oluşan sonuçların klasik $\bar{x} - R$ kontrol diyagramıyla benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Literatürde yer alan bulanık kontrol diyagramlarından farklı olarak bu çalışma kapsamında hassas ölçüm gerektiren ve/veya tam olarak ölçüm değeri elde edilemeyen süreçler için tip-2 YBS' ler kullanılarak $\bar{x} - R$, $\bar{x} - S$ ve I-MR kontrol diyagramları geliştirilmiş ve elektronik imalat sektöründe örnek bir uygulama yapılmıştır.

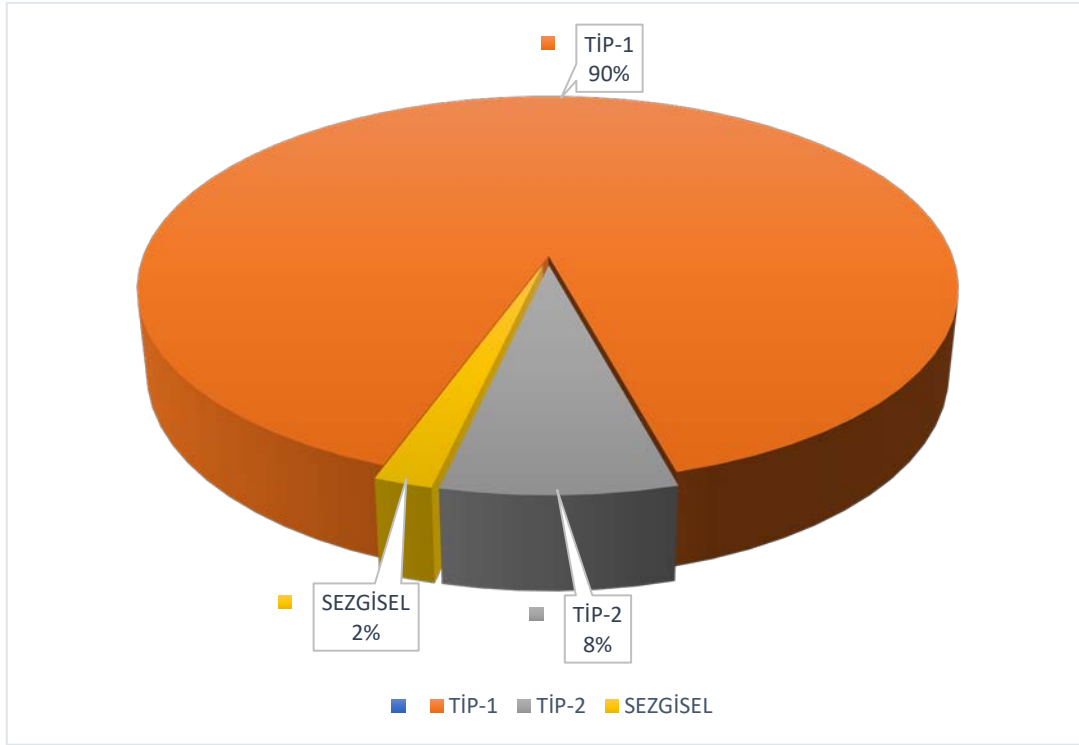
Yapılan literatür çalışmasına ait özet verilen Tablo 5.1' de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Literatür Özeti

No	Yazar	Tarih	Bulanıklık Türü	Diagram Türü	Uygulama Alanı
1	Gülbay ve diğ.	2004	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	c	Porselen
2	Gülbay ve Kahraman	2007	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	Durulaştırma	Oyuncak
3	Erginel	2008	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	I-MR	Uçak Egzoz
4	Şentürk ve Erginel	2009	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-R,X-S	Kompresör Piston İç
5	Amirzadeh ve diğ.	2009	Tip-1 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	p	Segman
6	Faraz ve Shapiro	2010	Tip-1 (LR Tip Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Elektronik Kart
7	Shu ve Wu	2010	Tip-1 (LR Tip Üyelik Fonksiyonu)	p	Led
8	Şentürk ve diğ.	2010	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	u	Kamyon Motoru
9	Şentürk	2010	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-REGRESYON	Doğalgaz Vanası
10	Shu ve Wu	2011	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Dokunmatik Panel
11	Alizade ve Ghomi	2011	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Nümerik
12	Kaya ve Kahraman	2011	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Segman
13	Erginel ve diğ.	2011	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Bisküvi
14	Huang ve diğ.	2012	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	p	Nümerik
15	Nguyen ve diğ.	2013	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Mercek
16	Pandian ve Puthiyanayagam	2013	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	p	Aydınlatma
17	Wang	2013	Tip-1 (LR Tip Üyelik Fonksiyonu)	c	Yatırım
18	Khademi ve Amirzadeh	2014	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Nümerik
19	Zabihinpour ve diğ.	2014	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Tavuk Nugget
20	Saravanan ve Alamelumangai	2014	Tip-1 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Nümerik
21	Sogandi ve diğ.	2014	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	p	-
22	Erginel	2014	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	$p-np$	Beyaz Eşya
23	Wang ve diğ.	2014	Tip-1 (LR Tip Üyelik Fonksiyonu)	c	Oyuncak
24	Shu ve diğ.	2014	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	u	Kaynak Makinesi

25	Darestani ve diğ.	2014	Tip-1 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	u	Hidrolik Yağ Deposu
26	Aslangiray ve Akyüz	2014	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	c, u	Kumaş
27	Şentürk ve diğ.	2014	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	EWMA	Plastik Düğme
28	Rashid ve Haydar	2015	Tip-1 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Çimento
29	Zabihinpour ve diğ.	2015	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Noddle
30	Gildeh ve Shafiee	2015	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	I-MR	Toprak
31	Shu ve diğ.	2015	Tip-1 (LR Tip Üyelik Fonksiyonu)	c	Lcd
32	Wang ve Hryniewicz	2015	Tip-1 (LR Tip Üyelik Fonksiyonu)	-	Porselen
33	Gülbay ve Kahraman	2016	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-R,X-S,EWMA	Nümerik
34	Kahraman ve diğ.	2016	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-R, X-S, p, np, c, u	Nümerik
35	Darestani ve Nasiri	2016	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Segman
36	Moraditadi ve Avakhdarestani	2016	Tip-1 (Üçgensel ve Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	I-MR	Otomobil Gösterge Paneli
37	Yanık ve diğ.	2016	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	p,np,c,u	Nümerik
38	Erginel ve Şentürk	2016	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	CUSUM,EWMA	Plastik Düğme
39	Hou ve diğ.	2016	Tip-1 (Üçgensel, Yamuk, Gauss ve Pi Üyelik Fonksiyonu)	-	Paketleme Ambalaj
40	Shu ve diğ.	2017	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	X-S	Mercek
41	Kaya ve diğ.	2017	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	I-MR	İMKB-30
42	Madadi ve Mahmoudzadeh	2017	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	p	Araç Anahtarı
43	Sakthivel ve diğ.	2017	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	p	Otomobil Lastği
44	Şentürk	2017	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	c	Armatür
45	Şentürk ve Antucheviciene	2017	Tip-2 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	c	Gıda
46	Shabani ve diğ.	2018	Sezgisel (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-R,X-S	Nümerik
47	Erginel ve diğ.	2018	Tip-2 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	p, np	Doğalgaz Vanası, Kek
48	Teksen ve Anagün	2018	Tip-2 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	c	Nümerik
49	Fadaei ve Pooya	2018	Tip-1 (Üçgensel Üyelik Fonksiyonu)	u	Araç Koltuğu
50	Teksen ve Anagün	2018	Tip-2 (Yamuk Üyelik Fonksiyonu)	X-R	Gıda Ambalajlama

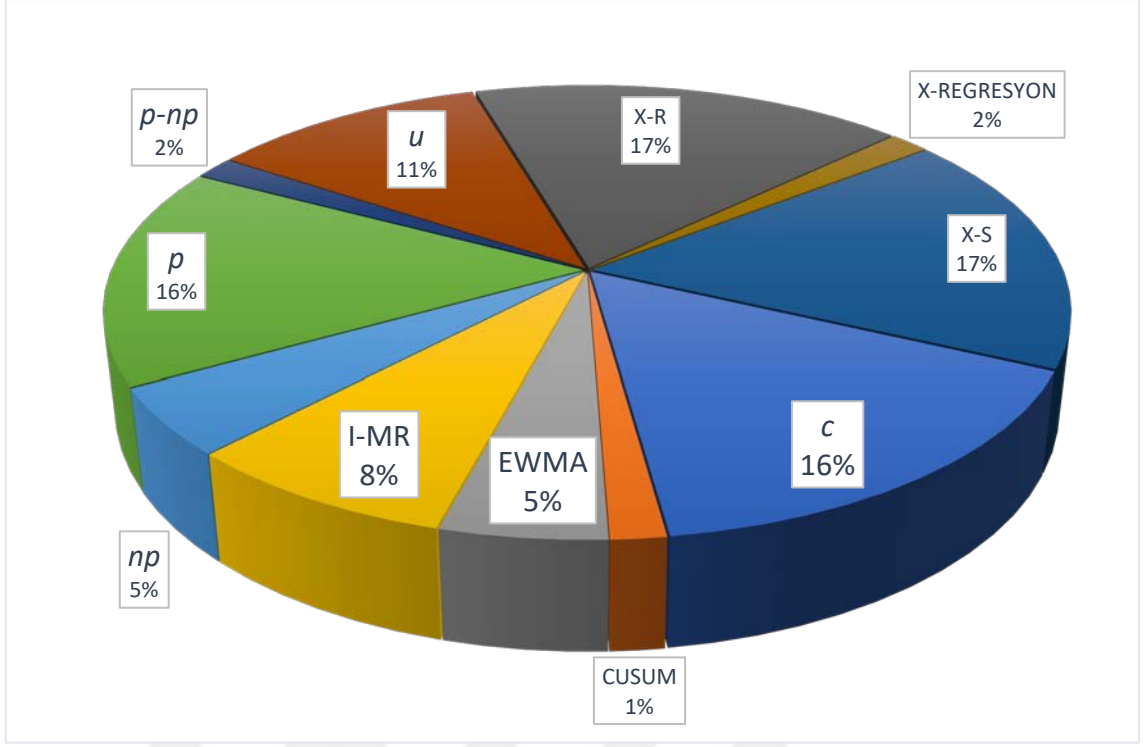
Yapılan çalışmalarda kullanılan bulanık küme türlerine ait analiz grafiği Şekil 5.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 5-1 Bulanık Küme Tiplerine Göre Kontrol Diyagramları Dağılımı

Şekil 5.1’ de görüldüğü üzere bulanık kontrol diyagram alanında yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunu tip-1 bulanık kümeler oluşturmaktadır. Diğer çalışmaları, %8 ile tip-2 bulanık küme ve %2 ile sezgisel bulanık küme oluşturmaktadır. Tip-2 bulanık küme metodolojisini içeren çalışma sayısının oldukça az olduğu görülmektedir.

Kontrol diyagramı tiplerine göre yapılan analiz Şekil 5.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 5-2 Yapılan Çalışmalara Göre Kontrol Diyagram Türleri

Şekil 5.2 incelendiğinde çalışmaların genel olarak nicel ve nitel özellikler için geliştirilen kontrol diyagramı türleri üzerinde yoğunlaştığı görülecektir. CUSUM, EWMA ve X-Regresyon kontrol diyagram türleri üzerinde yapılan çalışmalar oldukça azdır.

Klasik kontrol diyagramlarının yeterli gelmediği belirsizlik durumları için tip-1 bulanık kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Fakat belirsizlik boyutu arttığı ve tip-1 bulanık kontrol diyagramlarının da yetersiz kaldığı durumlar için tip-2 bulanık kontrol diyagramlarının kullanılması gerekmektedir.

Bu bölümde tip-2 YBS' ler kullanılarak bulanık $\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$ ve I-MR kontrol diyagramlarının matematiksel modeli oluşturulacaktır. Bu kapsamda kontrol diyagramlarının tip-2 kümeler için formülasyonları geliştirilmiştir.

6.1 Tip-2 Bulanık Sayılarla $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$ Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi

6.1.1 $\tilde{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

Bulanık kontrol diyagramı için tip-2 YBS kullanılacaktır ve kullanılan bulanık sayı (6.1) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$\tilde{\bar{A}} = \left(\tilde{\bar{A}}_i^U, \tilde{\bar{A}}_i^L \right) = \left(\left(a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{\bar{A}}_i^U), H_2(\tilde{\bar{A}}_i^U) \right), \left(a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{\bar{A}}_i^L), H_2(\tilde{\bar{A}}_i^L) \right) \right) \quad (6.1)$$

Tip-2 YBS kullanarak her bir örneklem içerisindeki örneklerin ortalaması (6.2) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{\bar{X}}_{rj} = \frac{\sum X_{rij}}{n} \quad \left(\begin{array}{l} r = a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U, a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L \\ i = 1, 2, 3, 4, \dots, n \\ j = 1, 2, 3, 4, \dots, m \end{array} \right) \quad (6.2)$$

Tip-2 YBS kullanarak örneklemelerin ortalaması (6.3) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{\tilde{X}} = \frac{\sum \tilde{\tilde{X}}_{ij}}{m} \begin{pmatrix} r = a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U, a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L \\ j = 1, 2, 3, 4, \dots, m \\ m = \text{Örneklem sayısı} \end{pmatrix} \quad (6.3)$$

(6.3) eşitliğiyle yapılan işlemler sonucu ortaya çıkacak olan tip-2 YBS gösterimi (6.4) eşitliğinde gösterilmiştir. Eşitlikte bulunan $\overline{\overline{X}}_{a_i^U}$ ve $\overline{\overline{X}}_{a_i^L}$, i=1,2,3,4 için sırasıyla üst ve alt üyelik fonksiyonlarının bulanık sayı parametrelerinin ortalamalarının ortalamasını ifade eder.

$$\tilde{\tilde{X}} = \begin{pmatrix} \left(\overline{\overline{X}}_{a_1^U}, \overline{\overline{X}}_{a_2^U}, \overline{\overline{X}}_{a_3^U}, \overline{\overline{X}}_{a_4^U}; \min(H_1(\widetilde{A^U}); \min(H_2(\widetilde{A^U}))) \right), \\ \left(\overline{\overline{X}}_{a_1^L}, \overline{\overline{X}}_{a_2^L}, \overline{\overline{X}}_{a_3^L}, \overline{\overline{X}}_{a_4^L}; \min(H_1(\widetilde{A^L}); \min(H_2(\widetilde{A^L}))) \right) \end{pmatrix} \quad (6.4)$$

Tip-2 YBS kullanarak her bir örneklem içerisindeki sayıların aralığı $\tilde{\tilde{R}}$ (6.5) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{\tilde{R}}_j = \begin{pmatrix} \left(X_{\max a_{1j}^U} - X_{\max a_{4j}^U}, X_{\max a_{2j}^U} - X_{\max a_{3j}^U}, X_{\max a_{3j}^U} - X_{\max a_{2j}^U}, \right. \\ \left. X_{\max a_{4j}^U} - X_{\max a_{1j}^U}; \min(H_1(\widetilde{A^U}), \min(H_2(\widetilde{A^U}))) \right), \\ \left(X_{\max a_{1j}^L} - X_{\max a_{4j}^L}, X_{\max a_{2j}^L} - X_{\max a_{3j}^L}, X_{\max a_{3j}^L} - X_{\max a_{2j}^L}, \right. \\ \left. X_{\max a_{4j}^L} - X_{\max a_{1j}^L}; \min(H_1(\widetilde{A^L}), \min(H_2(\widetilde{A^L}))) \right) \end{pmatrix} \quad (6.5)$$

$$\begin{pmatrix} r = a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U, a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L \\ i = 1, 2, 3, 4, \dots, n \\ j = 1, 2, 3, 4, \dots, m \end{pmatrix}$$

(6.5) eşitliğiyle yapılan işlemler sonucu ortaya çıkan tip-2 YBS (6.6) eşitliğindeki gibi olmaktadır.

$$\tilde{\tilde{R}}_j = \begin{pmatrix} \left(R_{a_{1j}^U}, R_{a_{2j}^U}, R_{a_{3j}^U}, R_{a_{4j}^U}; \min(H_1(\widetilde{A^U}); \min(H_2(\widetilde{A^U}))) \right), \\ \left(R_{a_{1j}^L}, R_{a_{2j}^L}, R_{a_{3j}^L}, R_{a_{4j}^L}; \min(H_1(\widetilde{A^L}); \min(H_2(\widetilde{A^L}))) \right) \end{pmatrix} \quad (6.6)$$

Tip-2 YBS kullanarak aralıkların ortalaması (6.7) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{\tilde{R}} = \left(\begin{array}{c} \left(\frac{\sum R_{a_{1j}^U}}{m}, \frac{\sum R_{a_{2j}^U}}{m}, \frac{\sum R_{a_{3j}^U}}{m}, \frac{\sum R_{a_{4j}^U}}{m}; \min(H_1(\tilde{A}^U); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(\frac{\sum R_{a_{1j}^L}}{m}, \frac{\sum R_{a_{2j}^L}}{m}, \frac{\sum R_{a_{3j}^L}}{m}, \frac{\sum R_{a_{4j}^L}}{m}; \min(H_1(\tilde{A}^L); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.7)$$

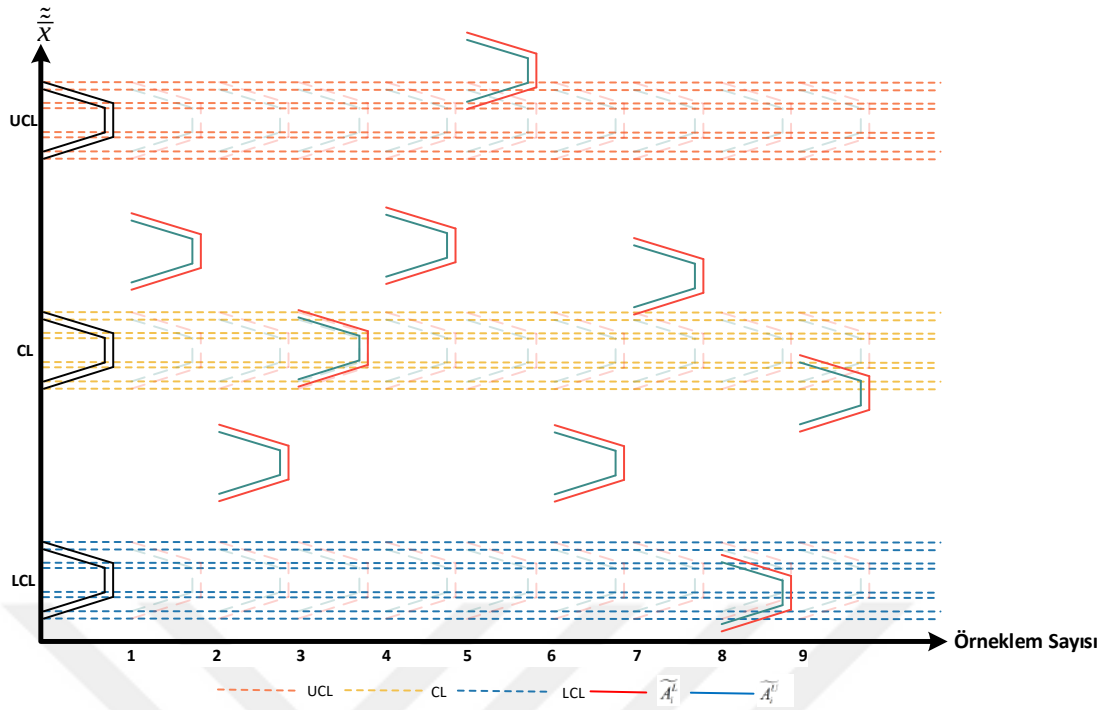
Tüm bu işlemler sonucunda tip-2 YBS kullanılarak $\tilde{\tilde{X}}$ kontrol diyagramına ait $\tilde{\tilde{UCL}}$, $\tilde{\tilde{CL}}$ ve $\tilde{\tilde{LCL}}$ değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\tilde{\tilde{UCL}}_{\tilde{\tilde{X}}} = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{X_{a_1^U} + A_2 R_{a_1^U}}}, \overline{\overline{X_{a_2^U} + A_2 R_{a_2^U}}}, \overline{\overline{X_{a_3^U} + A_2 R_{a_3^U}}}, \overline{\overline{X_{a_4^U} + A_2 R_{a_4^U}}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\tilde{A}^U); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right) \\ \left(\overline{\overline{X_{a_1^L} + A_2 R_{a_1^L}}}, \overline{\overline{X_{a_2^L} + A_2 R_{a_2^L}}}, \overline{\overline{X_{a_3^L} + A_2 R_{a_3^L}}}, \overline{\overline{X_{a_4^L} + A_2 R_{a_4^L}}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\tilde{A}^L); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.8)$$

$$\tilde{\tilde{CL}}_{\tilde{\tilde{X}}} = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{X_{a_1^U}}}, \overline{\overline{X_{a_2^U}}}, \overline{\overline{X_{a_3^U}}}, \overline{\overline{X_{a_4^U}}}; \min(H_1(\tilde{A}^U); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(\overline{\overline{X_{a_1^L}}}, \overline{\overline{X_{a_2^L}}}, \overline{\overline{X_{a_3^L}}}, \overline{\overline{X_{a_4^L}}}; \min(H_1(\tilde{A}^L); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.9)$$

$$\tilde{\tilde{LCL}}_{\tilde{\tilde{X}}} = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{X_{a_1^U} - A_2 R_{a_1^U}}}, \overline{\overline{X_{a_2^U} - A_2 R_{a_2^U}}}, \overline{\overline{X_{a_3^U} - A_2 R_{a_3^U}}}, \overline{\overline{X_{a_4^U} - A_2 R_{a_4^U}}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\tilde{A}^U); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right) \\ \left(\overline{\overline{X_{a_1^L} - A_2 R_{a_1^L}}}, \overline{\overline{X_{a_2^L} - A_2 R_{a_2^L}}}, \overline{\overline{X_{a_3^L} - A_2 R_{a_3^L}}}, \overline{\overline{X_{a_4^L} - A_2 R_{a_4^L}}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\tilde{A}^L); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.10)$$

Tüm bu işlemler sonucunda ortaya çıkan $\tilde{\tilde{X}}$ kontrol diyagramı şekilsel olarak Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



Şekil 6-1 $\tilde{X}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 6.1' de görüldüğü gibi üst kontrol limiti, merkez çizgi ve alt kontrol limitleri yamuk bulanık sayı olarak tanımlandığı için doğrusal bir çizgi ile gösterilememektedir. Tip-2 yamuk kontrol diyagramlarında kontrol limitlerinin yanında ölçüm değerleri de bulanık sayı olarak gösterilmektedir. Şekil 6.1' de üst kontrol limiti, merkez çizgi ve alt kontrol limiti noktalarında siyah renkle gösterilen başlangıç YBS devam ettirilerek bütünlük oluşturulmaya çalışılmıştır. Diyagram içerisinde bulunan kırmızı ve mavi renkli yamuk bulanık sayılar gözlem değerlerini ifade etmektedir.

6.1.2 $\tilde{R}$ Kontrol Diyagramı

Tip-2 YBS kullanarak her bir örneklem içerisindeki sayıların aralığı $\tilde{R}$ (6.11) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{\tilde{R}}_j = \left(\begin{array}{l} \left(X_{\max a_{1j}^U} - X_{\max a_{4j}^U}, X_{\max a_{2j}^U} - X_{\max a_{3j}^U}, X_{\max a_{3j}^U} - X_{\max a_{2j}^U}, \right. \\ \left. X_{\max a_{4j}^U} - X_{\max a_{1j}^U}; \min(H_1(\tilde{A}^U)); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right) \\ \left(X_{\max a_{1j}^L} - X_{\max a_{4j}^L}, X_{\max a_{2j}^L} - X_{\max a_{3j}^L}, X_{\max a_{3j}^L} - X_{\max a_{2j}^L}, \right. \\ \left. X_{\max a_{4j}^L} - X_{\max a_{1j}^L}; \min(H_1(\tilde{A}^L)); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \\ \left(r = a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U, a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L \right) \\ i = 1, 2, 3, 4, \dots, n \\ j = 1, 2, 3, 4, \dots, m \end{array} \right) \quad (6.11)$$

(6.11) eşitliği sonucu ortaya çıkan tip-2 YBS (6.12) eşitliğindeki gibi olmaktadır.

$$\tilde{\tilde{R}}_j = \left(\begin{array}{l} \left(R_{a_{1j}^U}, R_{a_{2j}^U}, R_{a_{3j}^U}, R_{a_{4j}^U}; \min(H_1(\tilde{A}^U)); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(R_{a_{1j}^L}, R_{a_{2j}^L}, R_{a_{3j}^L}, R_{a_{4j}^L}; \min(H_1(\tilde{A}^L)); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.12)$$

Tip-2 YBS kullanarak aralıkların ortalaması (6.13) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{\tilde{R}} = \left(\begin{array}{l} \left(\frac{\sum R_{a_{1j}^U}}{m}, \frac{\sum R_{a_{2j}^U}}{m}, \frac{\sum R_{a_{3j}^U}}{m}, \frac{\sum R_{a_{4j}^U}}{m}; \min(H_1(\tilde{A}^U)); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(\frac{\sum R_{a_{1j}^L}}{m}, \frac{\sum R_{a_{2j}^L}}{m}, \frac{\sum R_{a_{3j}^L}}{m}, \frac{\sum R_{a_{4j}^L}}{m}; \min(H_1(\tilde{A}^L)); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.13)$$

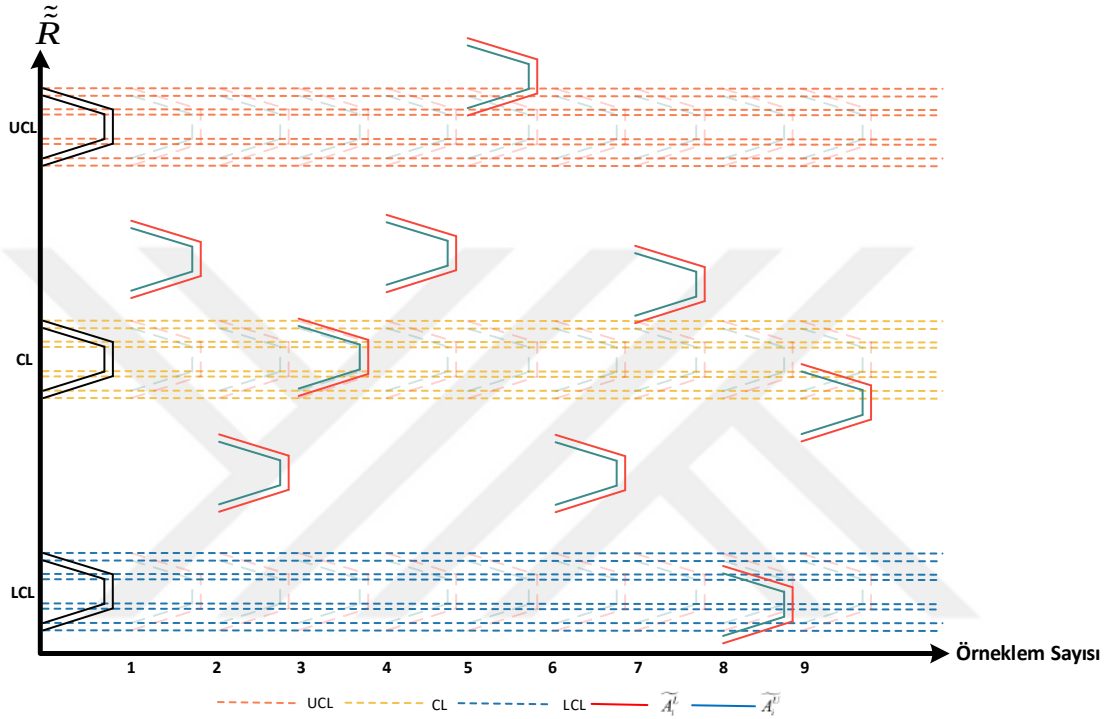
Tip-2 YBS kullanılarak $\tilde{\tilde{R}}$ kontrol diyagramına ait $\widetilde{\widetilde{UCL}}$, $\widetilde{\widetilde{CL}}$ ve $\widetilde{\widetilde{LCL}}$ değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_R = \left(\begin{array}{l} \left(D_4 \overline{R_{a_1^U}}, D_4 \overline{R_{a_2^U}}, D_4 \overline{R_{a_3^U}}, D_4 \overline{R_{a_4^U}}; \min(H_1(\tilde{A}^U)), \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(D_4 \overline{R_{a_1^L}}, D_4 \overline{R_{a_2^L}}, D_4 \overline{R_{a_3^L}}, D_4 \overline{R_{a_4^L}}; \min(H_1(\tilde{A}^L)), \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.14)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_R = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{R_{a_1^U}}, \overline{R_{a_2^U}}, \overline{R_{a_3^U}}, \overline{R_{a_4^U}}; \min(H_1(\tilde{A}^U)), \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(\overline{R_{a_1^L}}, \overline{R_{a_2^L}}, \overline{R_{a_3^L}}, \overline{R_{a_4^L}}; \min(H_1(\tilde{A}^L)), \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.15)$$

$$\widetilde{\widetilde{LCL}}_R = \left(\begin{array}{l} \left(D_3 \overline{R_{d_1^U}}, D_3 \overline{R_{d_2^U}}, D_3 \overline{R_{d_3^U}}, D_3 \overline{R_{d_4^U}}; \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right), \\ \left(D_3 \overline{R_{d_1^L}}, D_3 \overline{R_{d_2^L}}, D_3 \overline{R_{d_3^L}}, D_3 \overline{R_{d_4^L}}; \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.16)$$

Tüm bu işlemler sonucunda ortaya çıkan $\widetilde{\widetilde{R}}$ kontrol diyagramı şekilsel olarak Şekil 6.2' de gösterilmiştir.



Şekil 6-2 $\widetilde{\widetilde{R}}$ Kontrol Diyagramı

6.2 Tip-2 Bulanık Sayılarla $\widetilde{\widetilde{X}} - \widetilde{\widetilde{S}}$ Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi

6.2.1 $\widetilde{\widetilde{X}}$ Kontrol Diyagramı

Tip-2 YBS kullanarak her bir örneklem içerisindeki örneklerin standart sapması (6.17) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{s}_{rj} = \left(\frac{\sum (X_{rij} - \bar{X}_{rj})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \begin{array}{l} r = a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4 \\ j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, m \\ n = \text{Örneklemlerdeki örnek sayısı} \\ m = \text{Örneklem sayısı} \end{array} \quad (6.17)$$

Tip-2 YBS kullanarak örneklemelerin standart sapma ortalaması (6.18) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\tilde{s} = \frac{\sum \tilde{s}_{rj}}{m} \quad \begin{array}{l} r = a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4 \\ j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, m \\ m = \text{Örneklem sayısı} \end{array} \quad (6.18)$$

(6.18) eşitliği sonucu ortaya çıkacak olan tip-2 yamuk YBS gösterimi (6.19) eşitliğinde gösterilmiştir. Eşitlikte bulunan $s_{a_{ij}^U}$ ve $s_{a_{ij}^L}$ ($i=1,2,3,4$ ve $j=1,2,3,4\dots m$) sırasıyla üst ve alt üyelik fonksiyonlarının bulanık sayı parametrelerinin standart sapmasını ifade eder.

$$\tilde{s} = \left(\begin{array}{l} \left(\frac{\sum s_{a_{1j}^U}}{m}, \frac{\sum s_{a_{2j}^U}}{m}, \frac{\sum s_{a_{3j}^U}}{m}, \frac{\sum s_{a_{4j}^U}}{m}; \min(H_1(\tilde{A}^U)); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right), \\ \left(\frac{\sum s_{a_{1j}^L}}{m}, \frac{\sum s_{a_{2j}^L}}{m}, \frac{\sum s_{a_{3j}^L}}{m}, \frac{\sum s_{a_{4j}^L}}{m}; \min(H_1(\tilde{A}^L)); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.19)$$

Tüm bu işlemler sonucunda tip-2 YBS kullanılarak $\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramına ait $\widetilde{\widetilde{UCL}}$, $\widetilde{\widetilde{CL}}$ ve $\widetilde{\widetilde{LCL}}$ değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{\overline{X_{a_1^U} + A_3 s_{a_1^U}}}, \overline{\overline{X_{a_2^U} + A_3 s_{a_2^U}}}, \overline{\overline{X_{a_3^U} + A_3 s_{a_3^U}}}, \overline{\overline{X_{a_4^U} + A_3 s_{a_4^U}}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\tilde{A}^U)); \min(H_2(\tilde{A}^U)) \right) \\ \left(\overline{\overline{X_{a_1^L} + A_3 s_{a_1^L}}}, \overline{\overline{X_{a_2^L} + A_3 s_{a_2^L}}}, \overline{\overline{X_{a_3^L} + A_3 s_{a_3^L}}}, \overline{\overline{X_{a_4^L} + A_3 s_{a_4^L}}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\tilde{A}^L)); \min(H_2(\tilde{A}^L)) \right) \end{array} \right) \quad (6.20)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_{\bar{x}} = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{X_{a_1^U}}, \overline{X_{a_2^U}}, \overline{X_{a_3^U}}, \overline{X_{a_4^U}}; H_1(\widetilde{A^U}); H_2(\widetilde{A^U}) \right), \\ \left(\overline{\overline{X_{a_1^L}}, \overline{X_{a_2^L}}, \overline{X_{a_3^L}}, \overline{X_{a_4^L}}; H_1(\widetilde{A^L}); H_2(\widetilde{A^L}) \right) \end{array} \right) \quad (6.21)$$

$$\widetilde{\widetilde{LCL}}_{\bar{x}} = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{X_{a_1^U} - A_3 s_{a_4^U}}, \overline{X_{a_2^U} - A_3 s_{a_3^U}}, \overline{X_{a_3^U} - A_3 s_{a_2^U}}, \overline{X_{a_4^U} - A_3 s_{a_1^U}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^U}); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right) \\ \left(\overline{\overline{X_{a_1^L} - A_3 s_{a_4^L}}, \overline{X_{a_2^L} - A_3 s_{a_3^L}}, \overline{X_{a_3^L} - A_3 s_{a_2^L}}, \overline{X_{a_4^L} - A_3 s_{a_1^L}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^L}); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.22)$$

Tüm bu işlemler sonucunda ortaya çıkan $\widetilde{\widetilde{X}}$ kontrol diyagramı şekilsel olarak Şekil 6.1 ile aynıdır.

6.2.2 $\widetilde{\widetilde{S}}$ Kontrol Diyagramı

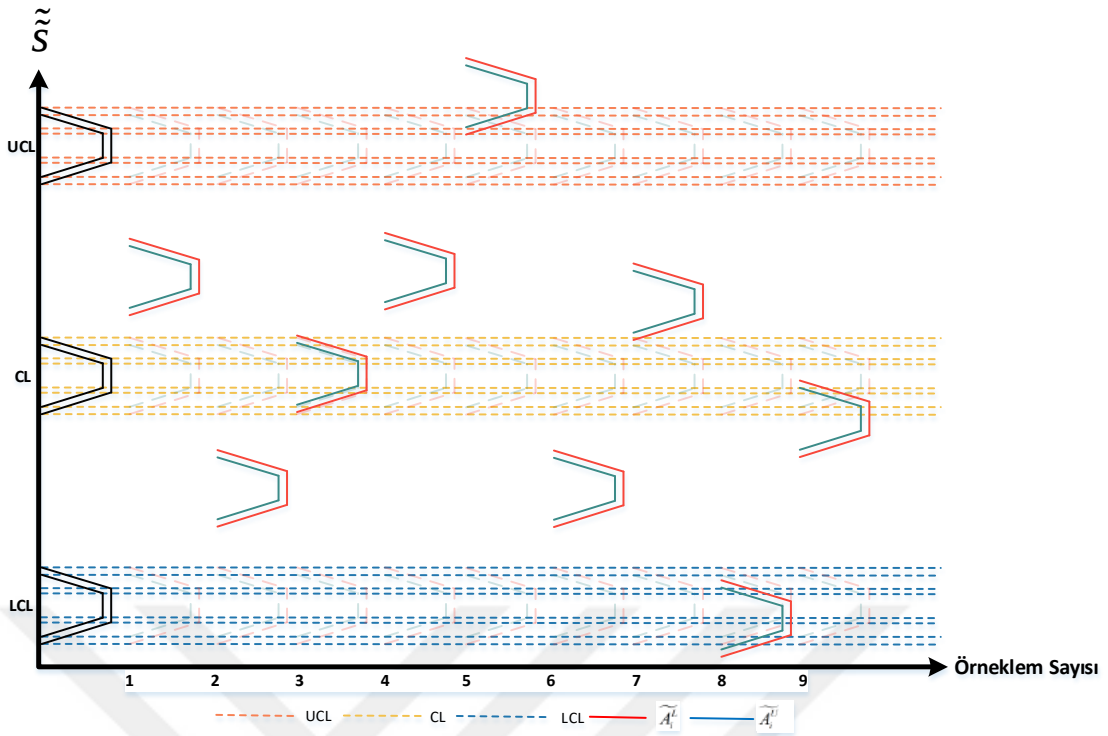
Tip-2 YBS kullanılarak $\widetilde{\widetilde{S}}$ kontrol diyagramına ait $\widetilde{\widetilde{UCL}}$, $\widetilde{\widetilde{CL}}$ ve $\widetilde{\widetilde{LCL}}$ değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_s = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{B_4 s_{a_1^U}}, \overline{B_4 s_{a_2^U}}, \overline{B_4 s_{a_3^U}}, \overline{B_4 s_{a_4^U}}; \min(H_1(\widetilde{A^U}); \min(H_2(\widetilde{A^U}))) \right), \\ \left(\overline{\overline{B_4 s_{a_1^L}}, \overline{B_4 s_{a_2^L}}, \overline{B_4 s_{a_3^L}}, \overline{B_4 s_{a_4^L}}; \min(H_1(\widetilde{A^L}); \min(H_2(\widetilde{A^L}))) \right) \end{array} \right) \quad (6.23)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_s = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{s_{a_1^U}}, \overline{s_{a_2^U}}, \overline{s_{a_3^U}}, \overline{s_{a_4^U}}; \min(H_1(\widetilde{A^U}); \min(H_2(\widetilde{A^U}))) \right), \\ \left(\overline{\overline{s_{a_1^L}}, \overline{s_{a_2^L}}, \overline{s_{a_3^L}}, \overline{s_{a_4^L}}; \min(H_1(\widetilde{A^L}); \min(H_2(\widetilde{A^L}))) \right) \end{array} \right) \quad (6.24)$$

$$\widetilde{\widetilde{LCL}}_s = \left(\begin{array}{c} \left(\overline{\overline{B_3 s_{a_1^U}}, \overline{B_3 s_{a_2^U}}, \overline{B_3 s_{a_3^U}}, \overline{B_3 s_{a_4^U}}; \min(H_1(\widetilde{A^U}); \min(H_2(\widetilde{A^U}))) \right), \\ \left(\overline{\overline{B_3 s_{a_1^L}}, \overline{B_3 s_{a_2^L}}, \overline{B_3 s_{a_3^L}}, \overline{B_3 s_{a_4^L}}; \min(H_1(\widetilde{A^L}); \min(H_2(\widetilde{A^L}))) \right) \end{array} \right) \quad (6.25)$$

Tüm bu işlemler sonucunda ortaya çıkan $\widetilde{\widetilde{S}}$ kontrol diyagramı şekilsel olarak Şekil 6.3' de gösterilmiştir.



Şekil 6-3 $\tilde{S}$ Kontrol Diyagramı

6.3 Tip-2 Bulanık Sayılarla $\tilde{I} - \widetilde{MR}$ Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi

6.3.1 $\widetilde{MR}$ Kontrol Diyagramı

MR değeri hesaplanırken ilk olarak kaç örnek öncesi ile karşılaştırılacağı belirlenir. Çalışma $n=2$ 'ye göre yapılacaktır. Bu sebeple MR değeri bir önceki örnekten farkın mutlak değerini ifade etmektedir. MR hesaplanırken tüm bulanık sayı elemanları için tek tek hesaplanarak yapılacaktır. Tip-2 yamuk bulanık sayılar için $\widetilde{MR}$ değeri (6.26) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$\widetilde{\widetilde{MR}}_j = \left(\left(\left| X_{a_{1j}^U} - X_{a_{4(j-1)}^U} \right|, \left| X_{a_{2j}^U} - X_{a_{3(j-1)}^U} \right|, \left| X_{a_{3j}^U} - X_{a_{2(j-1)}^U} \right|, \right. \right. \\ \left. \left. \left| X_{a_{4j}^U} - X_{a_{1(j-1)}^U} \right|; \min(H_1(\widetilde{A}^U); \min(H_2(\widetilde{A}^U))) \right) \right. \\ \left. \left(\left| X_{a_{1j}^L} - X_{a_{4(j-1)}^L} \right|, \left| X_{a_{2j}^L} - X_{a_{3(j-1)}^L} \right|, \left| X_{a_{3j}^L} - X_{a_{2(j-1)}^L} \right|, \right. \right. \\ \left. \left. \left| X_{a_{4j}^L} - X_{a_{1(j-1)}^L} \right|; \min(H_1(\widetilde{A}^L); \min(H_2(\widetilde{A}^L))) \right) \right) \\ j = 1, 2, 3, 4, \dots, m \\ m = \text{Örnek sayısı} \quad (6.26)$$

(6.26) eşitliği sonucu ortaya çıkan tip-2 YBS (6.27) eşitliğindeki gibi olmaktadır.

$$\widetilde{\widetilde{MR}}_j = \left(\begin{array}{l} MR_{a_{1j}^U}, MR_{a_{2j}^U}, MR_{a_{3j}^U}, MR_{a_{4j}^U}; \min(H_1(\widetilde{A}^U)); \min(H_2(\widetilde{A}^U)) \\ MR_{a_{1j}^L}, MR_{a_{2j}^L}, MR_{a_{3j}^L}, MR_{a_{4j}^L}; \min(H_1(\widetilde{A}^L)); \min(H_2(\widetilde{A}^L)) \end{array} \right) \quad (6.27)$$

Tip-2 YBS kullanarak $\widetilde{\widetilde{MR}}$ değerlerinin ortalamaları (6.28) eşitliği yardımıyla bulunur.

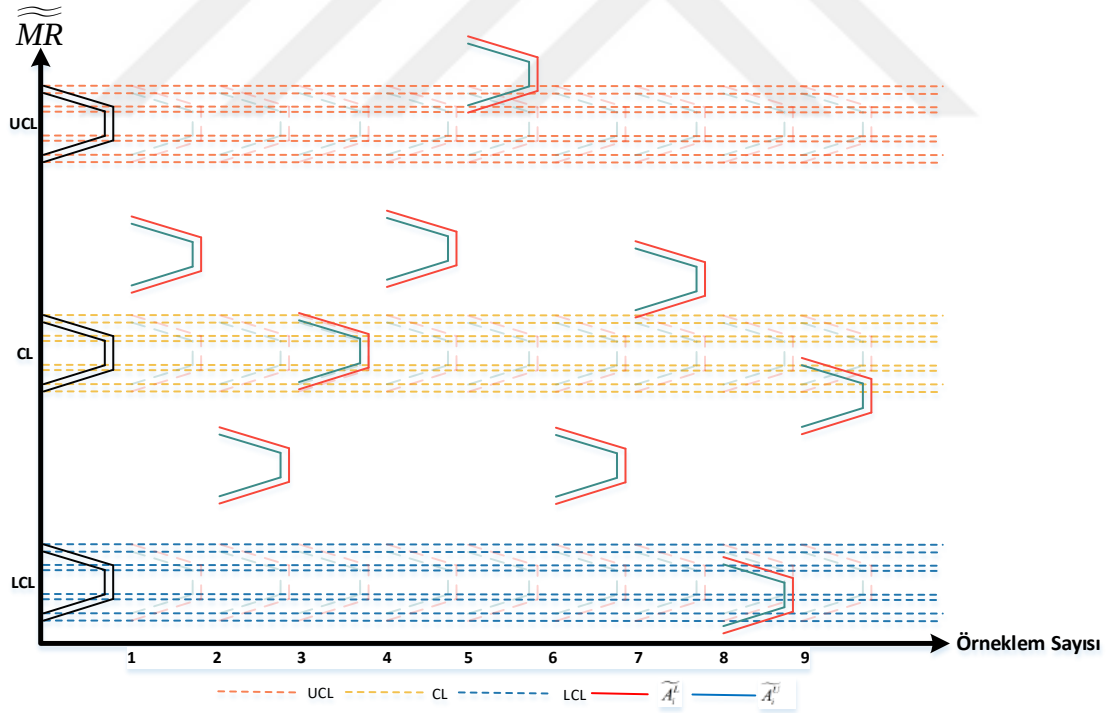
$$\widetilde{\widetilde{\widetilde{MR}}}_j = \left(\begin{array}{l} \left(\frac{\sum MR_{a_{1j}^U}}{m}, \frac{\sum MR_{a_{2j}^U}}{m}, \frac{\sum MR_{a_{3j}^U}}{m}, \frac{\sum MR_{a_{4j}^U}}{m}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A}^U); \min(H_2(\widetilde{A}^U))) \right) \\ \left(\frac{\sum MR_{a_{1j}^L}}{m}, \frac{\sum MR_{a_{2j}^L}}{m}, \frac{\sum MR_{a_{3j}^L}}{m}, \frac{\sum MR_{a_{4j}^L}}{m}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A}^L); \min(H_2(\widetilde{A}^L))) \right) \end{array} \right) \\ j = 1, 2, 3, 4, \dots, m \\ m = \text{Örnek sayısı} \quad (6.28)$$

Tip-2 YBS kullanılarak bulanık MR kontrol diyagramına ait $\widetilde{\widetilde{UCL}}$, $\widetilde{\widetilde{CL}}$ ve $\widetilde{\widetilde{LCL}}$ değerleri aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda ortaya çıkan $\widetilde{\widetilde{MR}}$ kontrol diyagramı şekilsel olarak Şekil 6.4' de gösterilmiştir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_{MR} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{D_4 \times MR_{a_1^U}}, \overline{D_4 \times MR_{a_2^U}}, \overline{D_4 \times MR_{a_3^U}}, \overline{D_4 \times MR_{a_4^U}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right) \\ \left(\overline{D_4 \times MR_{a_1^L}}, \overline{D_4 \times MR_{a_2^L}}, \overline{D_4 \times MR_{a_3^L}}, \overline{D_4 \times MR_{a_4^L}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.29)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_{MR} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{MR_{a_1^U}}, \overline{MR_{a_2^U}}, \overline{MR_{a_3^U}}, \overline{MR_{a_4^U}}; \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right), \\ \left(\overline{MR_{a_1^L}}, \overline{MR_{a_2^L}}, \overline{MR_{a_3^L}}, \overline{MR_{a_4^L}}; \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.30)$$

$$\widetilde{\widetilde{LCL}}_{MR} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{D_3 \times MR_{a_1^U}}, \overline{D_3 \times MR_{a_2^U}}, \overline{D_3 \times MR_{a_3^U}}, \overline{D_3 \times MR_{a_4^U}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right) \\ \left(\overline{D_3 \times MR_{a_1^L}}, \overline{D_3 \times MR_{a_2^L}}, \overline{D_3 \times MR_{a_3^L}}, \overline{D_3 \times MR_{a_4^L}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.31)$$



Şekil 6-4 $\widetilde{\widetilde{MR}}$ Kontrol Diyagramı

6.3.2 $\tilde{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

Tip-2 YBS kullanılarak $\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramına ait $\widetilde{\widetilde{UCL}}$, $\widetilde{\widetilde{CL}}$ ve $\widetilde{\widetilde{LCL}}$ değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda ortaya çıkan $\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramı şekilsel olarak Şekil 6.1 ile benzerlik göstermektedir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{X_{a_1^U} + 3 \frac{\overline{MR_{a_1^U}}}{d_2}}, \overline{X_{a_2^U} + 3 \frac{\overline{MR_{a_2^U}}}{d_2}}, \overline{X_{a_3^U} + 3 \frac{\overline{MR_{a_3^U}}}{d_2}}, \overline{X_{a_4^U} + 3 \frac{\overline{MR_{a_4^U}}}{d_2}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right) \\ \left(\overline{X_{a_1^L} + 3 \frac{\overline{MR_{a_1^L}}}{d_2}}, \overline{X_{a_2^L} + 3 \frac{\overline{MR_{a_2^L}}}{d_2}}, \overline{X_{a_3^L} + 3 \frac{\overline{MR_{a_3^L}}}{d_2}}, \overline{X_{a_4^L} + 3 \frac{\overline{MR_{a_4^L}}}{d_2}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.32)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{X_{a_1^U}}, \overline{X_{a_2^U}}, \overline{X_{a_3^U}}, \overline{X_{a_4^U}}; \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right), \\ \left(\overline{X_{a_1^L}}, \overline{X_{a_2^L}}, \overline{X_{a_3^L}}, \overline{X_{a_4^L}}; \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.33)$$

$$\widetilde{\widetilde{LCL}}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} \left(\overline{X_{a_1^U} - 3 \frac{\overline{MR_{a_1^U}}}{d_2}}, \overline{X_{a_2^U} - 3 \frac{\overline{MR_{a_2^U}}}{d_2}}, \overline{X_{a_3^U} - 3 \frac{\overline{MR_{a_3^U}}}{d_2}}, \overline{X_{a_4^U} - 3 \frac{\overline{MR_{a_4^U}}}{d_2}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^U})); \min(H_2(\widetilde{A^U})) \right) \\ \left(\overline{X_{a_1^L} - 3 \frac{\overline{MR_{a_1^L}}}{d_2}}, \overline{X_{a_2^L} - 3 \frac{\overline{MR_{a_2^L}}}{d_2}}, \overline{X_{a_3^L} - 3 \frac{\overline{MR_{a_3^L}}}{d_2}}, \overline{X_{a_4^L} - 3 \frac{\overline{MR_{a_4^L}}}{d_2}}; \right. \\ \left. \min(H_1(\widetilde{A^L})); \min(H_2(\widetilde{A^L})) \right) \end{array} \right) \quad (6.34)$$

6.4 Durulaştırma Yöntemi

Bulanık kontrol diyagramlarını bulanık kural tabanı oluşturarak veya bulanık sayıları durulaştırarak yorumlayabiliriz. Bulanık kural tabanında hangi durumlarda kontrol dışı durumun meydana geldiği veya hangi örüntüler oluştuğunda sürecin kontrol dışında olduğunun anlaşılması gerektiğine dair kuralların tanımlanması gerekir. Bulanık kural tabanının belirlenmesi bulanık sayıları durulaştırarak gerçel sayıya dönüştürülmesinden daha karmaşıktır. Bundan dolayı bu çalışmada

oluşturulan kontrol diyagramlarının yorumlanmasında bulanık kural tabanı oluşturmak yerine durulaştırma metodu tercih edilmiştir. Bu sayede bulanık kontrol diyagramından klasik kontrol diyagramına geçiş yapılacak ve süreç çok daha kolay bir biçimde yorumlanabilecektir.

Çalışmada; Kahraman vd. [147] tarafından geliştirilen BNP durulaştırma metodu kullanılacaktır. Formülasyonun oluşturulmasında (6.35) eşitliğinde tanımlanan tip-2 bulanık küme kullanılmıştır. Bu metoda ait matematiksel gösterimler sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\tilde{A} = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left(\left(a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \left(a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (6.35)$$

$$DIT2_{Trap(i)}^U = \frac{(a_{i4}^U - a_{i1}^U) + (H_2(\tilde{A}_1^U)a_{i2}^U - a_{i1}^U) + (H_1(\tilde{A}_1^U)a_{i3}^U - a_{i1}^U)}{4} + a_{i1}^U, \quad (6.36)$$

$$DIT2_{Trap(i)}^L = \frac{(a_{i4}^L - a_{i1}^L) + (H_2(\tilde{A}_1^L)a_{i2}^L - a_{i1}^L) + (H_1(\tilde{A}_1^L)a_{i3}^L - a_{i1}^L)}{4} + a_{i1}^L, \quad (6.37)$$

$$DIT2_{Trap(i)} = \frac{DIT2_{Trap(i)}^U + DIT2_{Trap(i)}^L}{2}; i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (6.38)$$

Eşitliklerde gösterilen $H_1(\tilde{A}_1^U)$ üst üyelik fonksiyonun en büyük üyelik derecesini ve $H_2(\tilde{A}_1^U)$ tip-2 bulanık alt üyelik fonksiyonun en büyük üyelik derecesini ifade etmektedir. Üst üyelik fonksiyonunu en büyük değeri a_{i4}^U temsil ederken en küçük değerini a_{i1}^U temsil etmektedir. Üst üyelik fonksiyonun ara değerlerini yani 2. ve 3. değerlerini sırasıyla a_{i2}^U ve a_{i3}^U temsil etmektedir. Aynı sıralama ve tanımlama alt üyelik fonksiyonu için de geçerlidir.

7.1 Firma Tanıtımı

Uygulama yapılan firma 2010 yılında İstanbul’ da kurulmuş olup kompanzasyon ürünlerinin üretimini ve satışını gerçekleştirmektedir. Kompanzasyon ürünleri alternatif akım devrelerinde gerilim ile akım arasında faz farkı oluştuğunda ortaya çıkan reaktif enerjiyi ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

15/01/2004 tarih ve 25347 sayılı Resmî Gazete’ de yayınlanan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kararına göre enerji tüketimi 9 kW olan işletmelerin kompanzasyon panosu kurması zorunludur [202].

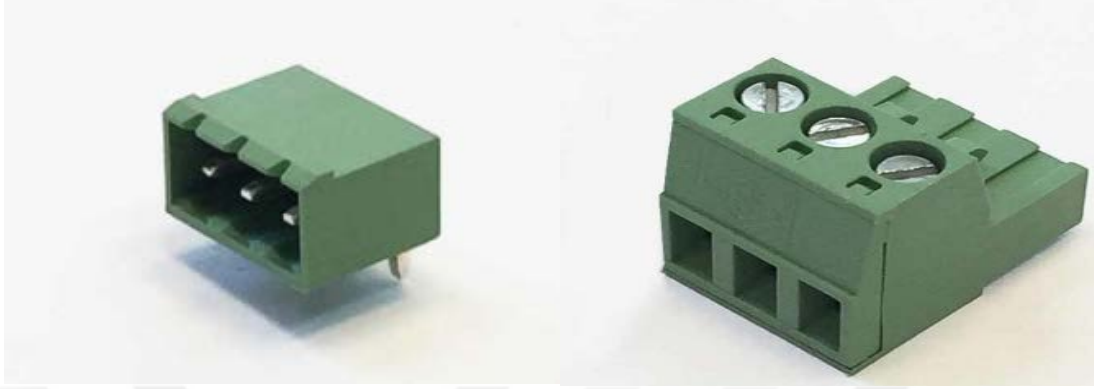
Kompanzasyon ürünlerini temel olarak reaktif güç kontrol rölesi, endüktif yük sürücüler, kapasitif yük sürücüler, analizör ve multimetre gibi elektronik temelli ürünlerin yanında şönt reaktörler, harmonik filtreler, kondansatörler ve kontaktörler gibi elektrik temelli ürün grupları oluşturmaktadır. Kompanzasyon pano içeriği işletmenin yük türü ve harcadığı güce göre değişkenlik göstermektedir. Firma, kompanzasyon ürün grupları içerisinde elektronik temelli ürünlerin Ar&Ge’ sini, üretimi ve satışını gerçekleştirirken elektrik temelli ürünleri üretici firmalardan tedarik ederek sadece satışını gerçekleştirmektedir.

7.2 Uygulamanın Amacı

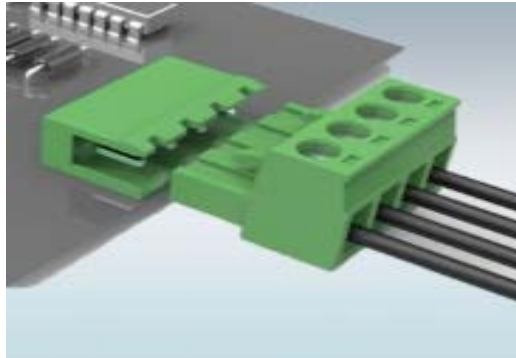
Pano tipi elektronik ürünlerde cihazın takıldığı ortamdan enerji alıp çalışabilmesi için bağlantı elemanları kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan bağlantı elemanlarından biri de klemensdir. Birden farklı klemens türü ve çeşidi bulunmaktadır. Cihazın özelliklerine bağlı olarak bağlantı ihtiyacına göre klemenslerin pin sayısı artmaktadır. Pin sayısı dışarıdan kaç tane kablo bağlayabileceğini göstermektedir. Örnek olarak 2 pinli klemens takımına dışarıdan 2 adet kablo monte edilebilmektedir. Uygulama yapılan işletmede yaygın olarak “geçmeli tip” olarak adlandırılan klemens türü kullanılmaktadır. Geçmeli tip

klemensler erkek ve dişi olarak ikiye ayrılmaktadır. İlgili firma cihaz üzerinde kullandığı klemensleri distribütör firmalar üzerinden tedarik etmektedir.

Geçmeli tip erkek ve dişi klemens görseli Şekil 7.1' de gösterilmiştir [203], [204].

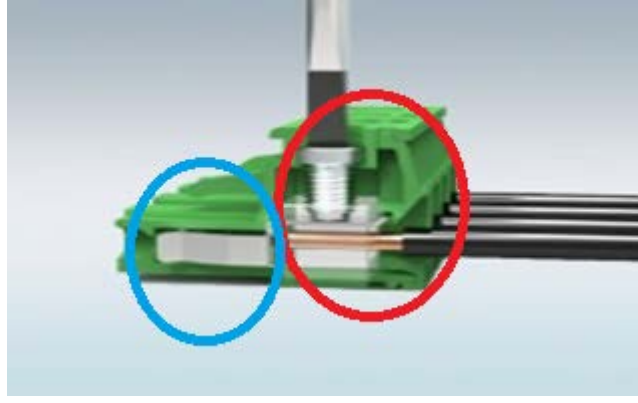


Şekil 7-1 Erkek Tip Geçmeli Klemens (Sol), Dişi Tip Geçmeli Klemens (Sağ) Örneği
Erkek tip geçmeli klemensler, elektronik devre kartı (PCB) üzerine lehimlenerek montajı yapılmaktadır. Dişi tip geçmeli klemensler ise dışardan kabloların üzerine montajına imkan vermektedir. Daha sonra erkek klemens ile dişi klemens birbiri içine geçerek dışardaki enerjiyi cihaz üzerine aktarılmasına sağlarlar. Bu durum Şekil 7.2' de gösterilmiştir [205].



Şekil 7-2 Erkek ve Dişi Tip Klemens Bağlantısı

Şekil 7.2' de gösterilen entegrasyonda dişi tip klemens kendisine kabloların montajına imkan sağlamasının yanında erkek klemensdeki iletken metal çubuğu kendisinde bulunan iletken pin içerisine tam olarak oturmasını sağlayarak cihaz-ortam birleşimini sağlamaktadır. Şekil 7.3' de kırmızı daire içine alınan kısımda kabloların dişi klemens üzerine montajını, mavi daire içine alınan kısımda ise erkek pinin girdiği dişi iletken pin gösterilmiştir [205].



Şekil 7-3 Dişi Tip Klemens Bağlantı Düzenegi

Uygulama, Şekil 7.3 üzerinde mavi daire içerisinde gösterilen dişi pindeki genişliğinin istenilen seviyede olup olmadığı incelemek için yapılacaktır. Eğer dişi klemens üzerindeki pin erkek klemens üzerindeki pinden daha geniş bir yapıya sahipse kompanzasyon panosu üzerindeki mekanik etkilerden dolayı dış ortamdaki enerjinin cihaz üzerine aktarımı sırasında kopukluklar meydana gelmektedir. Dişi klemens üzerinde pin görüntüsü Şekil 7.4’ deki gibidir.



Şekil 7-4 Dişi Klemens İçerisindeki İlekten Pin

Ölçüm yapılacak bölge Şekil 7.5’ de mavi daire içerisine alınmıştır. Mevcut durumda firmanın bu süreçler için bir kalite kontrol prosedürü bulunmamaktadır. Ölçüm yapılacak alanın genişliği 1 cm’ den daha küçüktür. Ölçüm yapacak olan personelin ve ölçüm yapan cihazın hata toleransları dikkate alındığında bu süreç için klasik kontrol diyagramı kullanılması efektif sonuçlar vermeyecektir. Bu sebeple toleransları ve hassasiyeti daha iyi temsil edebilmek ve anlamlı sonuçlar elde edebilmek için kontrol diyagramının tip-2 bulanık sayılarla oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 7-5 Dişi Klemens Pini Ölçüm Yeri

7.3 $\bar{X} - R$ Kontrol Diyagramları için Örnek Uygulama

Uygulama için 6 pinli dişi klemens seçilmiştir ve ölçüm için elektronik kumpas kullanılmıştır. Firma siparişine istinaden tedarikçi firmadan 2018-Aralık ayında gönderilen 2500 adet 6 pin dişi klemensin 100' erli paketlerinden 1' er adet örneklem alınmıştır. Klemens 6 pinli olduğu için her pinin ölçüm değeri örneklem içerisindeki örneği temsil etmektedir. Yaklaşık ölçüm değerleri Tablo 7.1' de gösterilmiştir.

Tablo 7.1 Yaklaşık Ölçüm Değerleri

Örneklem No	1. Örnek Yaklaşık Ölçüm Değeri	2. Örnek Yaklaşık Ölçüm Değeri	3. Örnek Yaklaşık Ölçüm Değeri	4. Örnek Yaklaşık Ölçüm Değeri	5. Örnek Yaklaşık Ölçüm Değeri	6. Örnek Yaklaşık Ölçüm Değeri
1	0.6	0,6	0.7	0.7	0.6	0.7
2	0.5	0.6	0,5	0.6	0,5	0.5
3	0.8	0,7	0.7	0.7	0.8	0.7
4	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8
5	0.7	0.6	0,6	0.6	0.6	0,6
6	0.7	0.8	0.7	0.7	0,7	0,7
7	0,6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6
8	0.6	0.7	0.7	0,7	0,6	0.6
9	0,6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
10	0,7	0.7	0.7	0.6	0,6	0.6
11	0.6	0.6	0.7	0,6	0,7	0,6
12	0.6	0.6	0,6	0.6	0.6	0.7

13	0.6	0.6	0.6	0.7	0,6	0.6
14	0.6	0.6	0.6	0.7	0,7	0.7
15	0.6	0.6	0.7	0.6	0,6	0.6
16	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
17	0.7	0.6	0.6	0.7	0,6	0.7
18	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7
19	0.6	0.6	0.7	0,6	0.6	0.6
20	0.7	0,6	0.5	0,6	0.6	0.6
21	0.7	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7
22	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7
23	0.7	0,6	0.7	0,6	0.5	0.7
24	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7
25	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7

Bulanık kontrol diyagramı oluşturabilmek için tip-2 YBS' yi (7.1) eşitliğindeki gibi tanımladığımızda yaklaşık ölçüm değerlerinin bulanık sayıya atanması Ek-B' de gösterilmiştir. Atanan bu değerler bu uygulama için karar verici tarafından belirlenmiş olup yine karar vericinin inisiyatifine göre bulanık sayı değerleri şekillendirilebilir. Bu atamaların temel amacı daha önce de belirtildiği üzere ölçüm yapan personel ve aletin ölçüm sırasında yaşanan hassasiyet hatalarını minimum seviyeye indirecek toleransların eklenmesidir. Bu uygulama için alt ve üst üyelik fonksiyonların üst üyelik dereceleri $(H_1(A_i^U), H_2(A_i^U))$ 1, alt üyelik dereceleri $(H_1(A_i^L), H_2(A_i^L))$ 0,8 olarak belirlenmiştir.

$$\tilde{\tilde{A}} = \left(\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L \right) = \left(\left(a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(A_i^U), H_2(A_i^U) \right), \left(a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(A_i^L), H_2(A_i^L) \right) \right) \quad (7.1)$$

$\tilde{\tilde{X}}$ kontrol diyagramı için örneklemeler içerisindeki örneklerin her bir tip-2 yamuk bulanık sayı parametresi $(a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U, a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L)$ için ortalaması Tablo 7.2' deki hücrelerde gösterilmiştir. Ayrıca her bulanık sayı parametresi için ortalamaların ortalaması ise Tablo 7.2' de ortalama satırında gösterilmiştir.

$\bar{\tilde{X}}$ ve $\tilde{R}$ kontrol diyagramları için örneklemeler içerisindeki örneklerin her bir tip-2 YBS parametresi $(a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U, a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L)$ için aralık (R) değeri Tablo 7.3' deki hücrelerde gösterilmiştir. Ayrıca her bulanık sayı parametresi için aralıkların ortalaması ise Tablo 7.3' deki ortalama satırında gösterilmiştir.



Tablo 7.2 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı Örneklem Ortalamaları

Örneklem Sırası	a_1^U	a_2^U	a_3^U	a_4^U	$H_1(A_1^U)$	$H_2(A_1^U)$	a_1^L	a_2^L	a_3^L	a_4^L	$H_1(A_1^L)$	$H_2(A_1^L)$
1	0,6183	0,6333	0,6483	0,6633	1,000	1,000	0,6273	0,6363	0,6453	0,6543	0,80	0,80
2	0,5517	0,5667	0,5817	0,5967	1,000	1,000	0,5607	0,5697	0,5787	0,5877	0,80	0,80
3	0,6850	0,7000	0,7150	0,7300	1,000	1,000	0,6940	0,7030	0,7120	0,7210	0,80	0,80
4	0,5683	0,5833	0,5983	0,6133	1,000	1,000	0,5773	0,5863	0,5953	0,6043	0,80	0,80
5	0,5683	0,5833	0,5983	0,6133	1,000	1,000	0,5773	0,5863	0,5953	0,6043	0,80	0,80
6	0,6683	0,6833	0,6983	0,7133	1,000	1,000	0,6773	0,6863	0,6953	0,7043	0,80	0,80
7	0,6183	0,6333	0,6483	0,6633	1,000	1,000	0,6273	0,6363	0,6453	0,6543	0,80	0,80
8	0,6350	0,6500	0,6650	0,6800	1,000	1,000	0,6440	0,6530	0,6620	0,6710	0,80	0,80
9	0,6183	0,6333	0,6483	0,6633	1,000	1,000	0,6273	0,6363	0,6453	0,6543	0,80	0,80
10	0,6350	0,6500	0,6650	0,6800	1,000	1,000	0,6440	0,6530	0,6620	0,6710	0,80	0,80
11	0,6017	0,6167	0,6317	0,6467	1,000	1,000	0,6107	0,6197	0,6287	0,6377	0,80	0,80
12	0,5850	0,6000	0,6150	0,6300	1,000	1,000	0,5940	0,6030	0,6120	0,6210	0,80	0,80
13	0,5850	0,6000	0,6150	0,6300	1,000	1,000	0,5940	0,6030	0,6120	0,6210	0,80	0,80
14	0,6517	0,6667	0,6817	0,6967	1,000	1,000	0,6607	0,6697	0,6787	0,6877	0,80	0,80
15	0,5850	0,6000	0,6150	0,6300	1,000	1,000	0,5940	0,6030	0,6120	0,6210	0,80	0,80
16	0,6350	0,6500	0,6650	0,6800	1,000	1,000	0,6440	0,6530	0,6620	0,6710	0,80	0,80
17	0,6183	0,6333	0,6483	0,6633	1,000	1,000	0,6273	0,6363	0,6453	0,6543	0,80	0,80
18	0,6350	0,6500	0,6650	0,6800	1,000	1,000	0,6440	0,6530	0,6620	0,6710	0,80	0,80
19	0,5850	0,6000	0,6150	0,6300	1,000	1,000	0,5940	0,6030	0,6120	0,6210	0,80	0,80

20	0,5683	0,5833	0,5983	0,6133	1,000	1,000	0,5773	0,5863	0,5953	0,6043	0,80	0,80
21	0,6183	0,6333	0,6483	0,6633	1,000	1,000	0,6273	0,6363	0,6453	0,6543	0,80	0,80
22	0,6350	0,6500	0,6650	0,6800	1,000	1,000	0,6440	0,6530	0,6620	0,6710	0,80	0,80
23	0,5850	0,6000	0,6150	0,6300	1,000	1,000	0,5940	0,6030	0,6120	0,6210	0,80	0,80
24	0,6350	0,6500	0,6650	0,6800	1,000	1,000	0,6440	0,6530	0,6620	0,6710	0,80	0,80
25	0,6517	0,6667	0,6817	0,6967	1,000	1,000	0,6607	0,6697	0,6787	0,6877	0,80	0,80
Ortalama	0,6137	0,6287	0,6437	0,6587	1,000	1,000	0,6227	0,6317	0,6407	0,6497	0,80	0,80

Tablo 7.3 $\tilde{\bar{X}}$ ve $\tilde{R}$ Kontrol Diyagramı İçin Örneklem Aralık Değerleri ve Ortalamaları

Örneklem Sırası	a_1^U	a_2^U	a_3^U	a_4^U	$H_1(A^U)$	$H_2(A^U)$	a_1^L	a_2^L	a_3^L	a_4^L	$H_1(A^L)$	$H_2(A^L)$
1	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
2	0,055	0,085	0,115	0,145	1,000	1,000	0,073	0,091	0,109	0,127	0,80	0,80
3	0,255	0,285	0,315	0,345	1,000	1,000	0,273	0,291	0,309	0,327	0,80	0,80
4	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
5	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
6	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
7	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
8	0,255	0,285	0,315	0,345	1,000	1,000	0,273	0,291	0,309	0,327	0,80	0,80
9	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
10	0,255	0,285	0,315	0,345	1,000	1,000	0,273	0,291	0,309	0,327	0,80	0,80

11	0,255	0,285	0,315	0,345	1,000	1,000	0,273	0,291	0,309	0,327	0,80	0,80
12	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
13	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
14	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
15	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
16	0,055	0,085	0,115	0,145	1,000	1,000	0,073	0,091	0,109	0,127	0,80	0,80
17	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
18	0,055	0,085	0,115	0,145	1,000	1,000	0,073	0,091	0,109	0,127	0,80	0,80
19	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
20	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
21	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
22	0,055	0,085	0,115	0,145	1,000	1,000	0,073	0,091	0,109	0,127	0,80	0,80
23	0,155	0,185	0,215	0,245	1,000	1,000	0,173	0,191	0,209	0,227	0,80	0,80
24	0,055	0,085	0,115	0,145	1,000	1,000	0,073	0,091	0,109	0,127	0,80	0,80
25	0,055	0,085	0,115	0,145	1,000	1,000	0,073	0,091	0,109	0,127	0,80	0,80
Ortalama	0,15	0,18	0,21	0,24	1,000	1,000	0,17	0,18	0,20	0,22	0,80	0,80

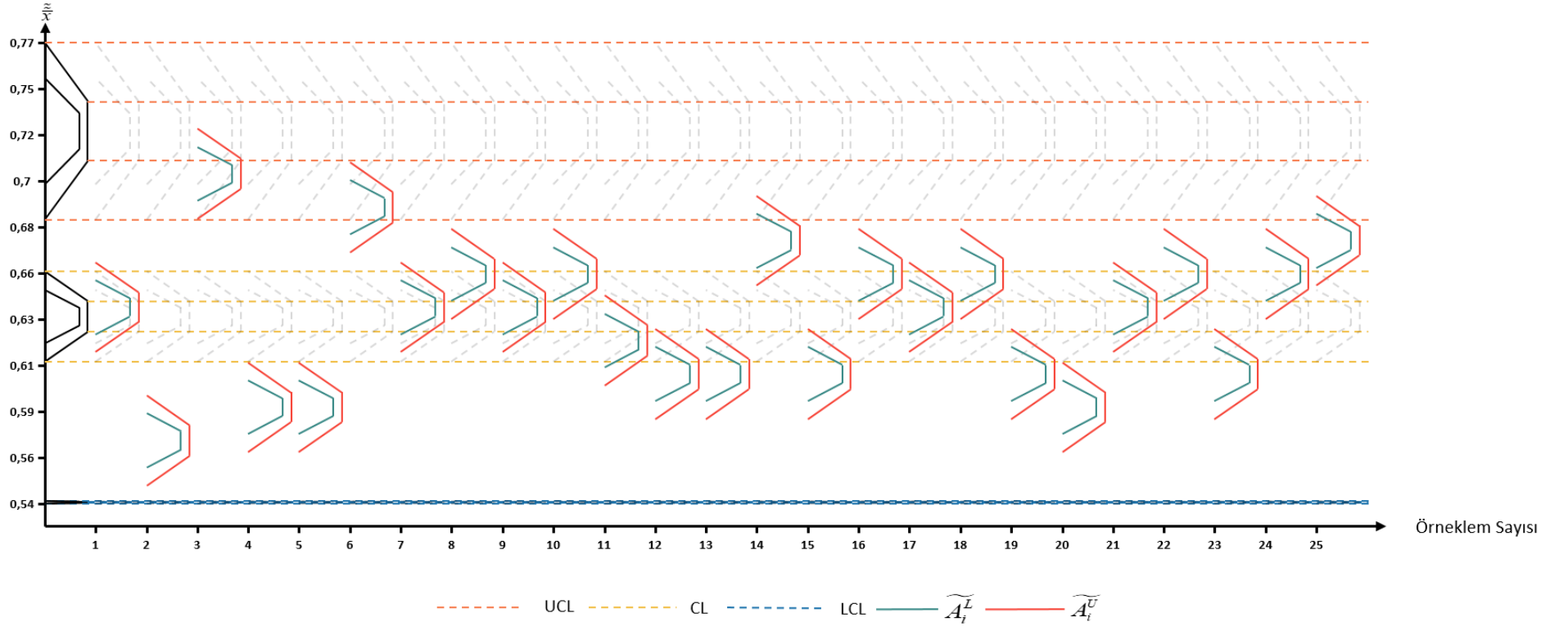
$\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramında örneklem hacmi 6 için A_2 sabiti 0,483 olmak üzere kontrol limiti değerleri tip-2 YBS olarak aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_{\bar{X}} = \begin{pmatrix} 0.6847, 0.7142, 0.7436, 0.7731; 1, 1 \\ 0.7024, 0.7201, 0.7377, 0.7554; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_{\bar{X}} = \begin{pmatrix} 0.6137, 0.6287, 0.6437, 0.6587; 1, 1 \\ 0.6227, 0.6317, 0.6407, 0.6497; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.3)$$

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_{\bar{X}} = \begin{pmatrix} 0.5427, 0.5432, 0.5437, 0.5442; 1, 1 \\ 0.5430, 0.5433, 0.5436, 0.5439; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.4)$$

Yapılan işlemler sonucunda oluşan $\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramı Şekil 7.6' daki gibi olmaktadır.



Şekil 7-6 $\bar{x}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.6 incelendiğinde bulanıklaştırılmış ölçüm değerlerinin $\bar{\tilde{X}}$ kontrol diyagramında merkez çizgi civarında konumlandığı görülmektedir. Kontrol limitleri dışında herhangi bir gözlem bulunmamaktadır. Bulanık kontrol diyagramının yorumlanmasında kural tabanı yerine durulaştırma yöntemi seçildiğinden sürecin kontrol altında olup olmadığı durulaştırılmış $\bar{\tilde{X}}$ kontrol diyagramı incelenerek karar verilecektir. $\bar{\tilde{X}}$ kontrol diyagramı için durulaştırılmış örneklemelerin ortalaması ($\bar{\tilde{X}}$) Tablo 7.4’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.4 $\bar{\tilde{X}}$ Verilerin Durulaştırılması

Örneklem Sırası	Örneklemelerin Durulaştırılması	Örneklem Sırası	Örneklemelerin Durulaştırılması
1	0,5452	14	0,5735
2	0,4885	15	0,5168
3	0,6018	16	0,5593
4	0,5027	17	0,5452
5	0,5027	18	0,5593
6	0,5877	19	0,5168
7	0,5452	20	0,5027
8	0,5593	21	0,5452
9	0,5452	22	0,5593
10	0,5593	23	0,5168
11	0,5310	24	0,5593
12	0,5168	25	0,5735
13	0,5168		

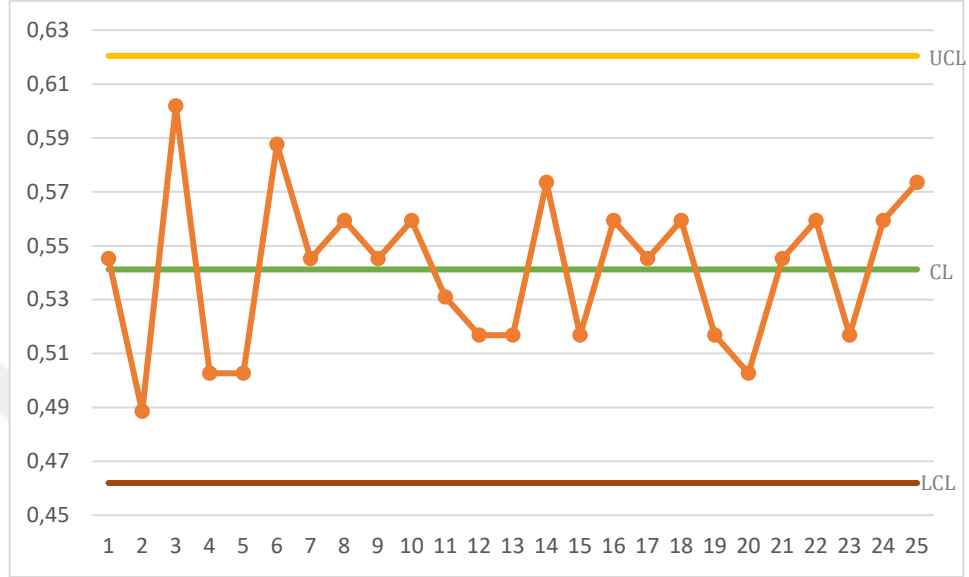
Bulanık olarak oluşturulmuş olan kontrol limitlerinin durulaştırılmış hali aşağıda gösterilmiştir.

$$UCL_{\bar{\tilde{X}}} = 0,6205 \quad (7.5)$$

$$CL_{\bar{\tilde{X}}} = 0,5421 \quad (7.6)$$

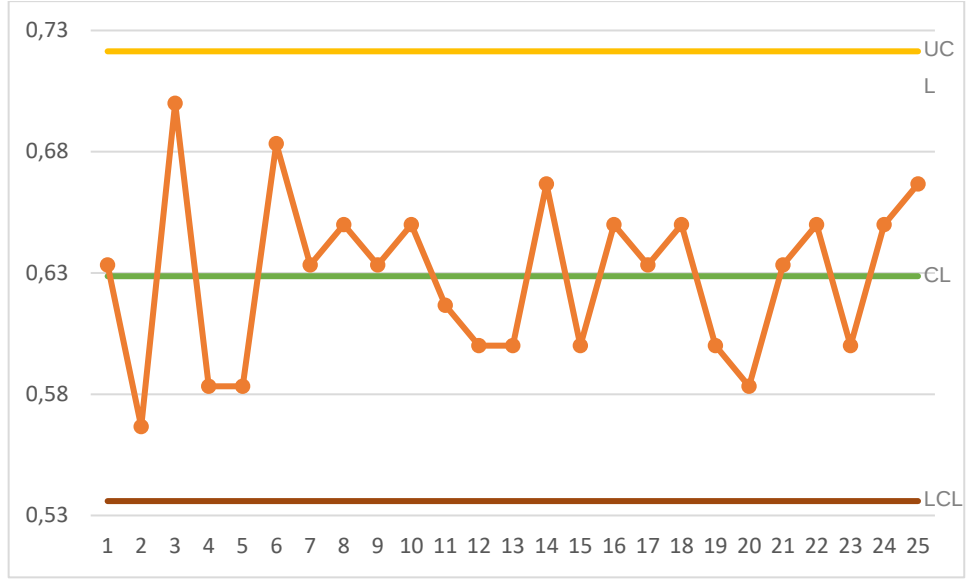
$$UCL_{\bar{X}} = 0,4619 \quad (7.7)$$

Tablo 7.4' deki $\bar{\bar{X}}$ verilerinin yukarıda belirtilen sınırlarla oluşturulmuş kontrol diyagramının görüntüsü Şekil 7.7' de gösterilmiştir.



Şekil 7-7 Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.7 incelendiğinde ölçüm değerleri genel olarak kontrol limitleri arasında dağılım göstermektedir. Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramı için süreç kontrol altındadır. Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramına karşın Tablo 7.1 verileri kullanılarak oluşturulmuş klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramı Şekil 7.8' de gösterilmiştir.



Şekil 7-8 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.8’ de bulunan klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramıyla Şekil 7.7 karşılaştırıldığında örüntülerin hemen hemen benzer oldukları görülmektedir. Kontrol limitleri karşılaştırıldığında klasik $\bar{X}$ kontrol diyagram değerlerinin durulaştırılmış $\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramına göre niceliksel olarak biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Mevcut durumda her iki kontrol diyagramı için de kontrol dışı bir gözlem değeri bulunmamaktadır. Sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verebilmek için R kontrol diyagramı incelenmelidir.

$\tilde{R}$ kontrol diyagramında örneklem hacmi 6 için D_4 sabiti 2,004 ve D_3 sabiti 0 olmak üzere kontrol limiti değerleri tip-2 YBS olarak aşağıda gösterilmiştir.

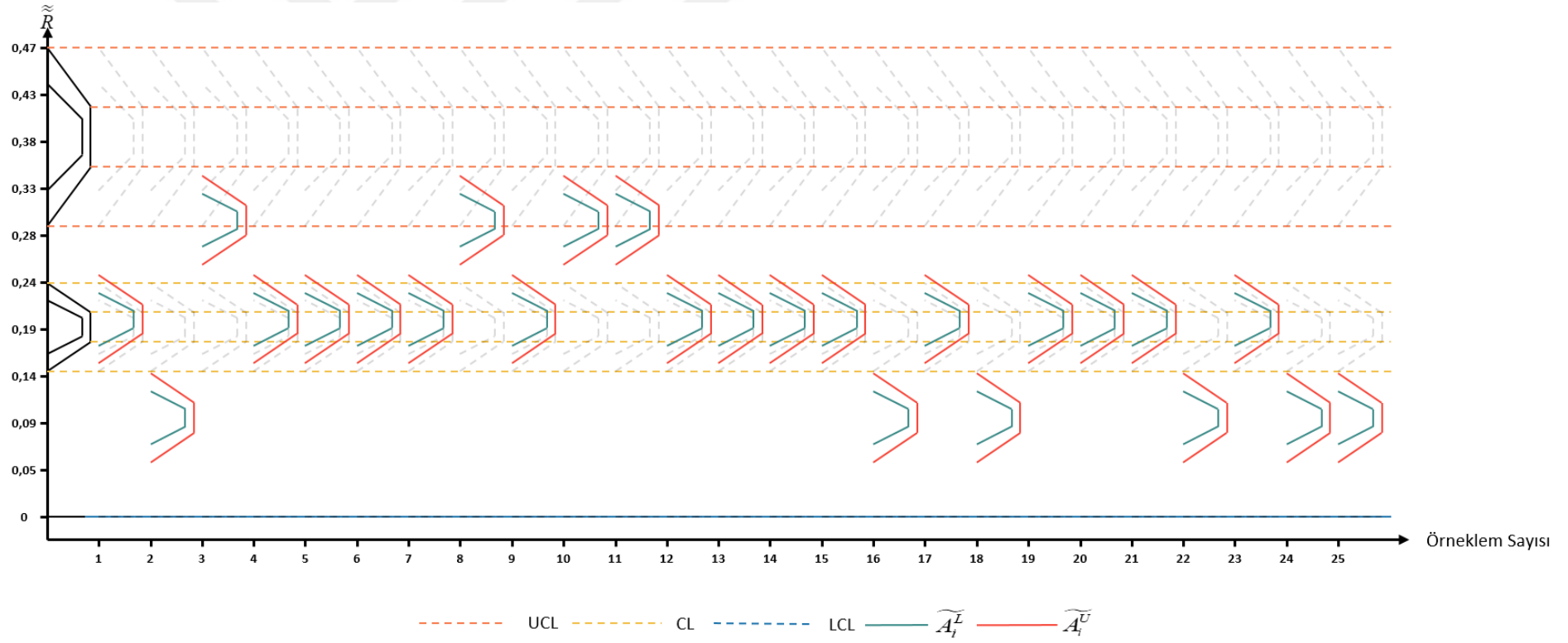
$$\widetilde{UCL}_R = \begin{pmatrix} 0.29, 0.35, 0.41, 0.47; 1, 1 \\ 0.33, 0.37, 0.40, 0.44; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.8)$$

$$\widetilde{CL}_R = \begin{pmatrix} 0.15, 0.18, 0.21, 0.24; 1, 1 \\ 0.17, 0.18, 0.20, 0.22; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.9)$$

$$\widetilde{LCL}_R = \begin{pmatrix} 0, 0, 0, 0; 1, 1 \\ 0, 0, 0, 0; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.10)$$

Yapılan işlemler sonucunda oluşan $\tilde{R}$ kontrol diyagramı Şekil 7.9' daki gibi olmaktadır.





Şekil 7-9 $\widetilde{R}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.9 incelendiğinde bulanıklaştırılmış ölçüm değerlerinin $\tilde{R}$ kontrol diyagramında merkez çizgi ve civarında konumlandığı görülmektedir. Kontrol limitleri dışında herhangi bir gözlem bulunmamaktadır. Sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilebilmesi için durulaştırılmış $\tilde{R}$ değerleri Tablo 7.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.5 $\tilde{R}$ Verilerin Durulaştırılması

Örneklem Sırası	Örneklemelerin Durulaştırılması	Örneklem Sırası	Örneklemelerin Durulaştırılması
1	0,1709	14	0,1709
2	0,0859	15	0,1709
3	0,2559	16	0,0859
4	0,1709	17	0,1709
5	0,1709	18	0,0859
6	0,1709	19	0,1709
7	0,1709	20	0,1709
8	0,2559	21	0,1709
9	0,1709	22	0,0859
10	0,2559	23	0,1709
11	0,2559	24	0,0859
12	0,1709	25	0,0859
13	0,1709		

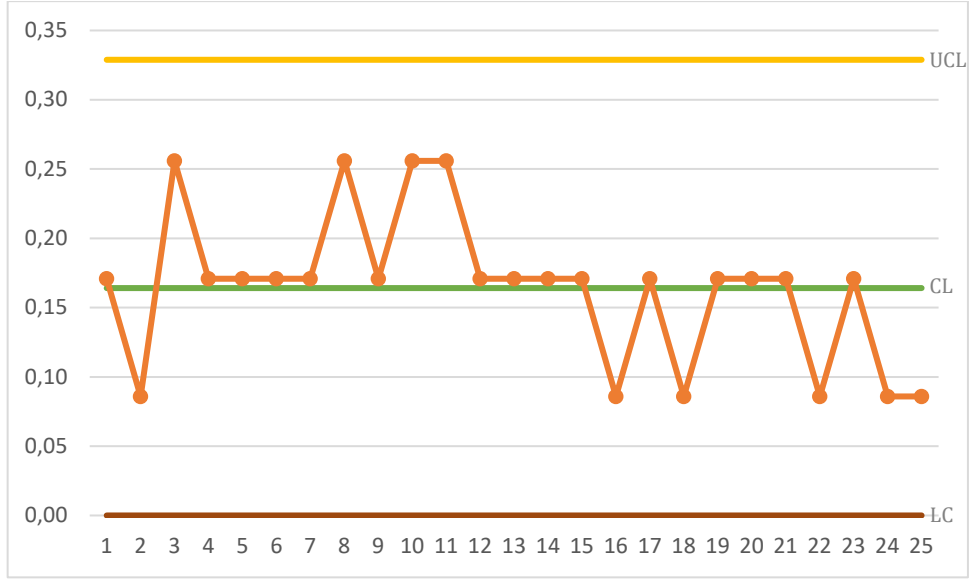
Bulanık olarak oluşturulmuş olan kontrol limitlerinin durulaştırılmış hali aşağıda gösterilmiştir.

$$UCL_R = 0,3289 \quad (7.11)$$

$$CL_R = 0,1641 \quad (7.12)$$

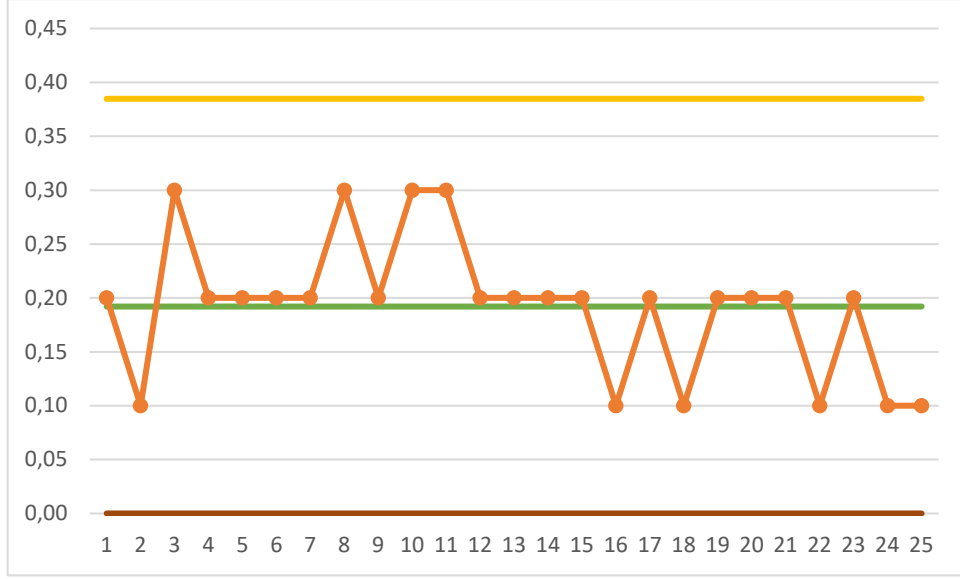
$$LCL_R = 0 \quad (7.13)$$

Tablo 7.5’ deki $\tilde{R}$ verilerinin yukarıda belirtilen sınırlarla oluşturulmuş kontrol diyagramının görüntüsü Şekil 7.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 7-10 Durulaştırılmış $\tilde{R}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.10 incelendiğinde ölçüm değerlerinin belli bir kısmının merkez çizgi üzerinde konumlandığı, diğer bir kısmın ise alt ve üst kontrol limitleri arasında konumlandığı görülmektedir. Durulaştırılmış $\tilde{R}$ kontrol diyagramı kontrol altındadır. Aynı zamanda durulaştırılmış $\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramı da kontrol altında olduğu için süreç kontrol altındadır. Durulaştırılmış $\tilde{R}$ kontrol diyagramına karşın Tablo 7.1’ deki veriler kullanılarak oluşturulmuş klasik R kontrol diyagramı Şekil 7.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 7-11 R Kontrol Diyagramı

Şekil 7.11 incelendiğinde klasik R kontrol diyagramı ile durulaştırılmış $\tilde{R}$ diyagramlarındaki örüntü hemen hemen aynı olmakla beraber temel farklılıklar merkez ve üst kontrol limitleri değerleri arasındadır. Klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramı ile beraber değerlendirildiğinde süreç kontrol altındadır.

$\bar{X} - R$ kontrol diyagramına klasik ve bulanık yaklaşımları ayrı ayrı uyguladığımızda bu uygulama ve bulanıklaştırma metodolojisi için benzer örüntülerin oluştuğu gözlemlenmektedir. İki yöntem arasında belirgin farklılıklar görülmemektedir. Her iki yöntemde de süreç kontrol altındadır.

7.4 $\bar{X} - S$ Kontrol Diyagramları için Örnek Uygulama

$\bar{X} - S$ kontrol diyagramı için de 6 pinli diş klemens verileri kullanılmıştır.

$\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramında kullanılacak olan tip-2 YBS' ler için örnek ve örneklem ortalamaları Tablo 7.2 ile aynı olmaktadır. $\tilde{\bar{X}}$ ve $\tilde{S}$ kontrol diyagramları için örneklem içerisindeki örneklerin her bir tip-2 YBS parametresi için standart sapma (s) değeri Tablo 7.6' deki hücrelerde gösterilmiştir. Ayrıca her bulanık sayı parametresi için standart sapmalarının ortalaması ise Tablo 7.6' daki ortalama satırında gösterilmiştir.

Tablo 7.6 $\bar{\bar{X}}$ ve $\bar{\bar{S}}$ Kontrol Diyagramı İçin Örneklerin Standart Sapma Değerleri ve Ortalamaları

Örneklem Sırası	a_1^U	a_2^U	a_3^U	a_4^U	$H_1(A^U)$	$H_2(A^U)$	a_1^L	a_2^L	a_3^L	a_4^L	$H_1(A^L)$	$H_2(A^L)$
1	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	1,000	1,000	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	0,80	0,80
2	0,05164	0,05164	0,05164	0,05164	1,000	1,000	0,05164	0,05164	0,05164	0,05164	0,80	0,80
3	0,10954	0,10954	0,10954	0,10954	1,000	1,000	0,10954	0,10954	0,10954	0,10954	0,80	0,80
4	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	1,000	1,000	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	0,80	0,80
5	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	1,000	1,000	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	0,80	0,80
6	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	1,000	1,000	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	0,80	0,80
7	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	1,000	1,000	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	0,80	0,80
8	0,10488	0,10488	0,10488	0,10488	1,000	1,000	0,10488	0,10488	0,10488	0,10488	0,80	0,80
9	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	1,000	1,000	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	0,80	0,80
10	0,10488	0,10488	0,10488	0,10488	1,000	1,000	0,10488	0,10488	0,10488	0,10488	0,80	0,80
11	0,11690	0,11690	0,11690	0,11690	1,000	1,000	0,11690	0,11690	0,11690	0,11690	0,80	0,80
12	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	1,000	1,000	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	0,80	0,80
13	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	1,000	1,000	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	0,80	0,80
14	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	1,000	1,000	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	0,80	0,80
15	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	1,000	1,000	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	0,80	0,80
16	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	1,000	1,000	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	0,80	0,80



17	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	1,000	1,000	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	0,80	0,80
18	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	1,000	1,000	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	0,80	0,80
19	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	1,000	1,000	0,06325	0,06325	0,06325	0,06325	0,80	0,80
20	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	1,000	1,000	0,07528	0,07528	0,07528	0,07528	0,80	0,80
21	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	1,000	1,000	0,08165	0,08165	0,08165	0,08165	0,80	0,80
22	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	1,000	1,000	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	0,80	0,80
23	0,10954	0,10954	0,10954	0,10954	1,000	1,000	0,10954	0,10954	0,10954	0,10954	0,80	0,80
24	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	1,000	1,000	0,05477	0,05477	0,05477	0,05477	0,80	0,80
25	0,05164	0,05164	0,05164	0,05164	1,000	1,000	0,05164	0,05164	0,05164	0,05164	0,80	0,80
Ortalama	0,07648	0,07648	0,07648	0,07648	1,000	1,000	0,07648	0,07648	0,07648	0,07648	0,80	0,80

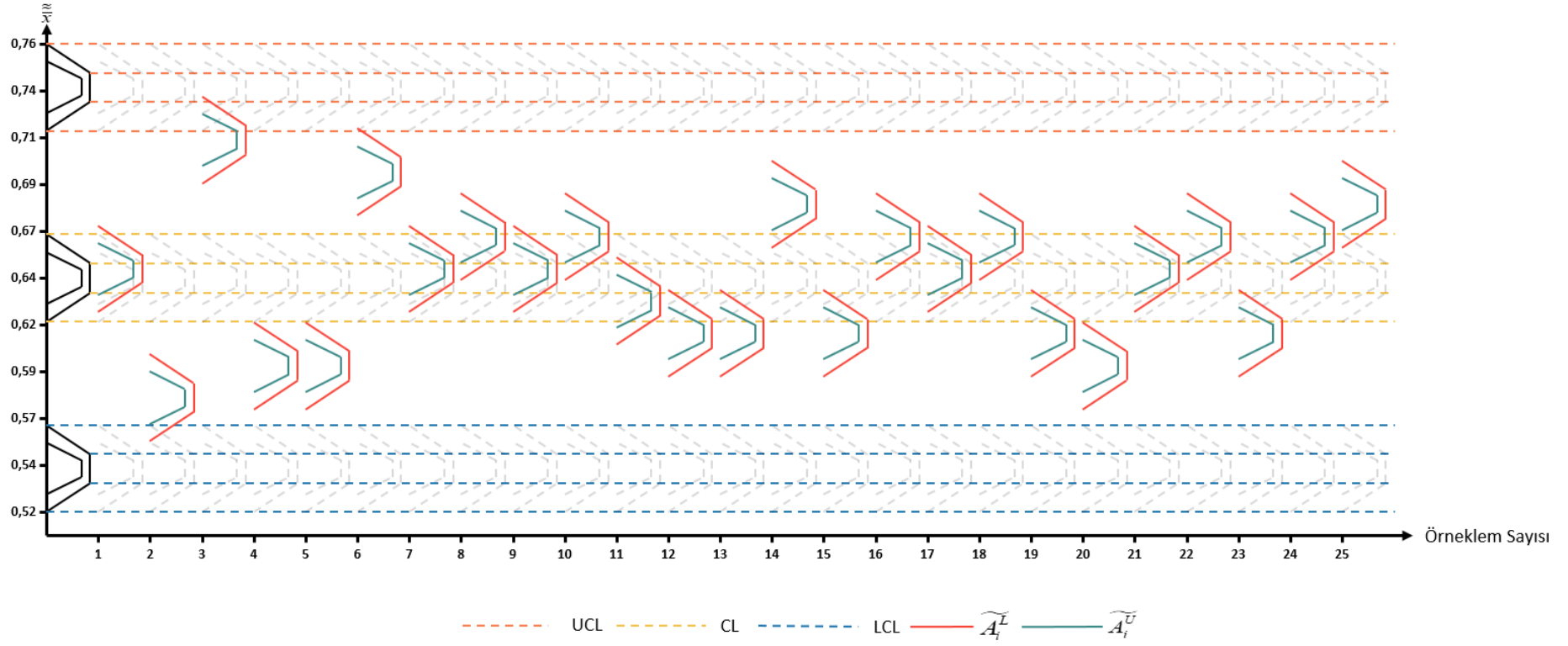
$\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramında örneklem hacmi 6 için A_3 sabiti 1,287 olmak üzere kontrol limiti değerleri tip-2 YBS olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$\widetilde{\widetilde{UCL}}_{\bar{x}} = \begin{pmatrix} 0.71, 0.73, 0.74, 0.76; 1, 1 \\ 0.72, 0.73, 0.74, 0.75; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.14)$$

$$\widetilde{\widetilde{CL}}_{\bar{x}} = \begin{pmatrix} 0.61, 0.63, 0.64, 0.66; 1, 1 \\ 0.62, 0.63, 0.64, 0.65; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.15)$$

$$\widetilde{\widetilde{LCL}}_{\bar{x}} = \begin{pmatrix} 0.52, 0.53, 0.55, 0.56; 1, 1 \\ 0.52, 0.53, 0.54, 0.55; 0.8, 0.8 \end{pmatrix} \quad (7.16)$$

Yapılan işlemler sonucunda oluşan $\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramı Şekil 7.12' deki gibi olmaktadır.



Şekil 7-12 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

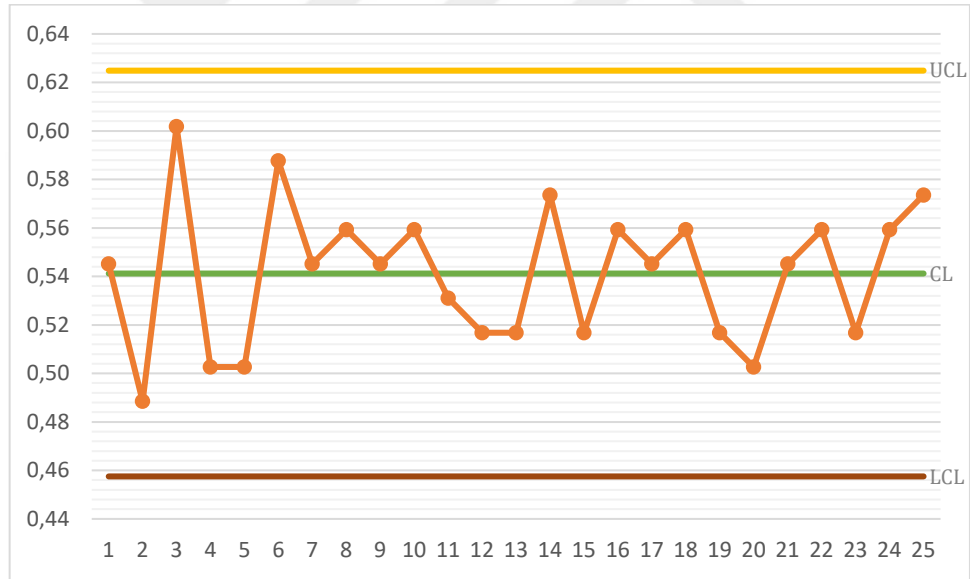
Şekil 7.12 incelendiğinde bulanıklaştırılmış ölçüm değerlerinin büyük çoğunluğunun merkez çizgi çevresinde konumlandığı görülmektedir. Kontrol dışında bir gözlem değeri bulunmamaktadır. Bu diyagram türünde de $\hat{\bar{X}}$ değerlerinin durulaştırılmış hali Tablo 7.4' deki gibidir. Bunun dışında bulanık kontrol limitlerinin durulaştırılmış hali aşağıda verilmiştir.

$$UCL_{\bar{X}} = 0,6249 \quad (7.17)$$

$$CL_{\bar{X}} = 0,5412 \quad (7.18)$$

$$LCL_{\bar{X}} = 0,4575 \quad (7.19)$$

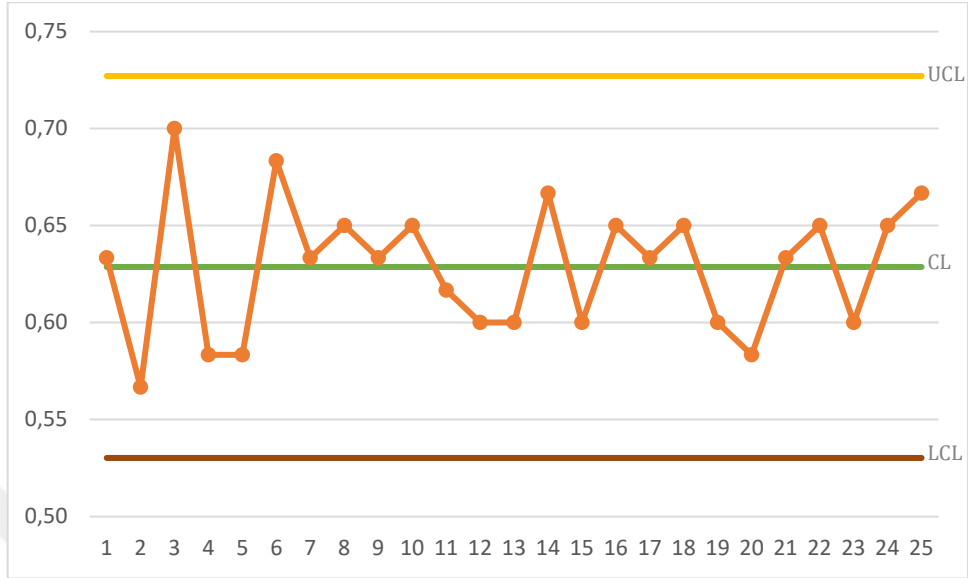
Tablo 7.4' deki $\hat{\bar{X}}$ verilerinin yukarıda belirtilen sınırlarla oluşturulmuş kontrol diyagramının görüntüsü Şekil 7.13' de gösterilmiştir.



Şekil 7-13 Durulaştırılmış $\hat{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.13 incelendiğinde gözlem değerlerinin kontrol limitleri arasında dağılım gösterdiği görülmektedir. Sadece 2. ve 3. gözlem noktaları sırasıyla alt ve üst kontrol limitlerine yakın bir konumda yer almaktadır. Kontrol dışında bir gözlem noktası bulunmamaktadır. Durulaştırılmış $\hat{\bar{X}}$ verileri için süreç kontrol altındadır.

Durulaştırılmış $\bar{\tilde{X}}$ kontrol diyagramına karşın Tablo 7.1 verileri kullanılarak oluşturulmuş klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramı Şekil 7.14' de gösterilmiştir.



Şekil 7-14 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.14' de bulunan klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramıyla Şekil 7.13 karşılaştırıldığında ortaya çıkan örüntülerin hemen hemen benzer oldukları görülmektedir. Gözlem değerleri kontrol limitleri arasında dağılım göstermektedir. Durulaştırılmış $\bar{\tilde{X}}$ kontrol diyagramına paralel olarak 2. ve 3. gözlem değerleri sırasıyla alt ve üst kontrol limitlerine yakın konumlanmıştır. Sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verebilmek için S kontrol diyagramı incelenmelidir.

$\tilde{S}$ kontrol diyagramında örneklem hacmi 6 için B_4 sabiti 1,97 ve B_3 sabiti 0,03 olmak üzere kontrol limiti değerleri tip-2 YBS olarak aşağıda gösterilmiştir.

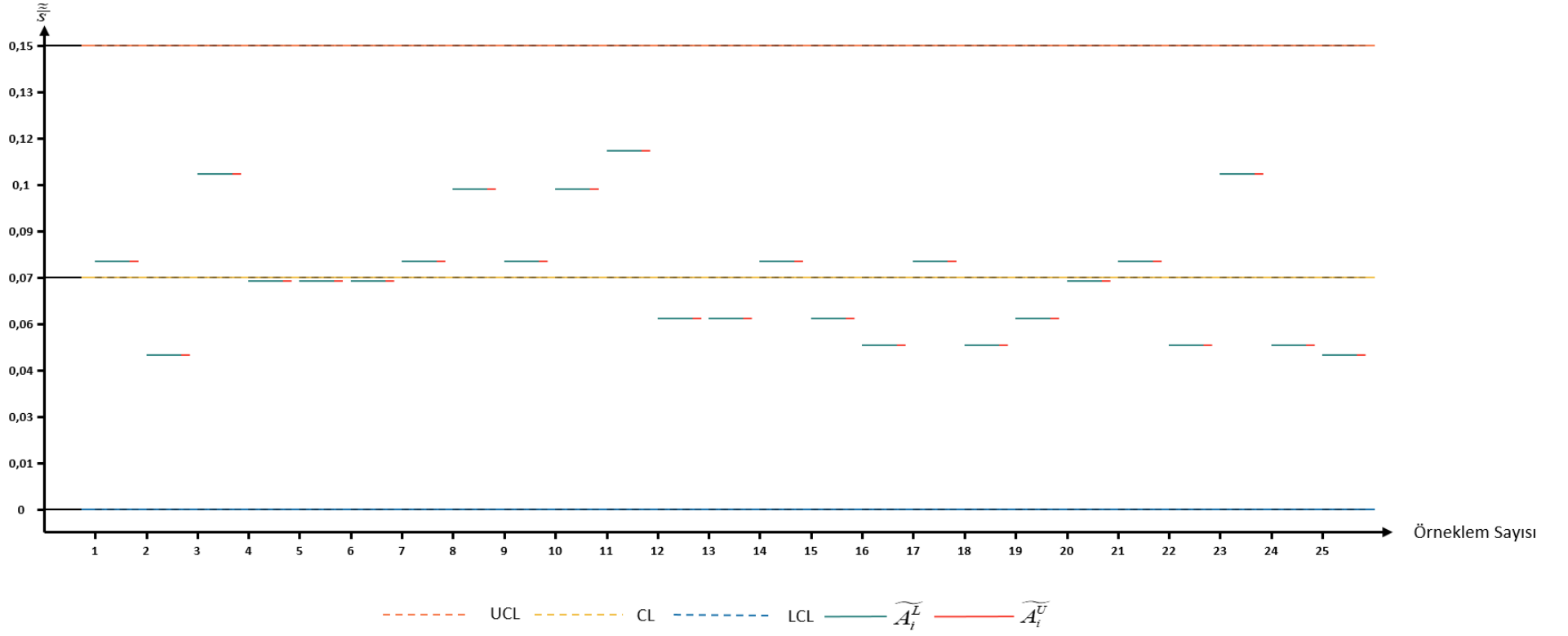
$$\widetilde{UCL}_s = \left(\begin{array}{c} 0.150675, 0.150675, 0.150675, 0.150675; 1,1 \\ 0.150675, 0.150675, 0.150675, 0.150675; 0.8, 0.8 \end{array} \right) \quad (7.20)$$

$$\widetilde{CL}_s = \left(\begin{array}{c} 0.076485, 0.076485, 0.076485, 0.076485; 1,1 \\ 0.076485, 0.076485, 0.076485, 0.076485; 0.8, 0.8 \end{array} \right) \quad (7.21)$$

$$\widetilde{LCL}_s = \left(\begin{array}{c} 0.002295, 0.002295, 0.002295, 0.002295; 1,1 \\ 0.002295, 0.002295, 0.002295, 0.002295; 0.8, 0.8 \end{array} \right) \quad (7.22)$$

Yapılan işlemler sonucunda oluşan $\tilde{S}$ kontrol diyagramı Şekil 7.15' deki gibi olmaktadır.





Şekil 7-15 $\widetilde{S}$ Kontrol Diyagramı

Bulanıklaştırma metodolojisi dolayısıyla örneklemler arasındaki standart sapma değerlerini aynı çıkmaktadır. Bu sebeple bulanık $\tilde{S}$ kontrol diyagramında yamuk sayı elde edilememektedir. Ortaya çıkan veriler sonucunda Şekil 7.15’ de görüldüğü üzere ölçüm değerleri kontrol limitleri arasında dağılım göstermektedir. Sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilebilmesi için durulaştırılmış $\tilde{S}$ değerleri Tablo 7.7’ de gösteriştir.

Tablo 7.7 $\tilde{S}$ Verilerin Durulaştırılması

Örneklem Sırası	Örneklemlerin Durulaştırılması	Örneklem Sırası	Örneklemlerin Durulaştırılması
1	0,0694	14	0,0694
2	0,0439	15	0,0538
3	0,0931	16	0,0466
4	0,0640	17	0,0694
5	0,0640	18	0,0466
6	0,0640	19	0,0538
7	0,0694	20	0,0640
8	0,0891	21	0,0694
9	0,0694	22	0,0466
10	0,0891	23	0,0931
11	0,0994	24	0,0466
12	0,0538	25	0,0439
13	0,0538		

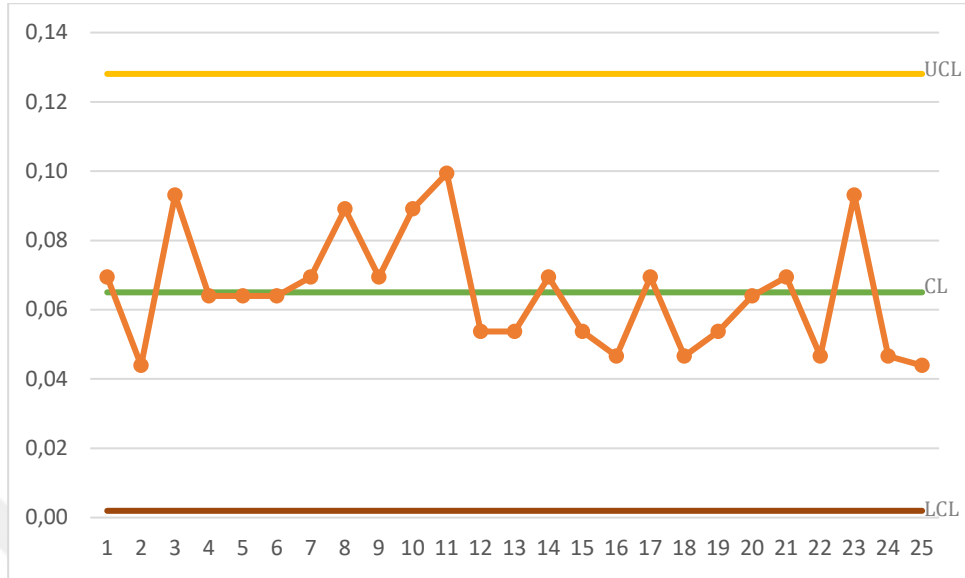
Bulanık olarak oluşturulmuş olan kontrol limitlerinin durulaştırılmış hali aşağıda gösterilmiştir.

$$UCL_s = 0,1281 \quad (7.23)$$

$$CL_s = 0,0650 \quad (7.24)$$

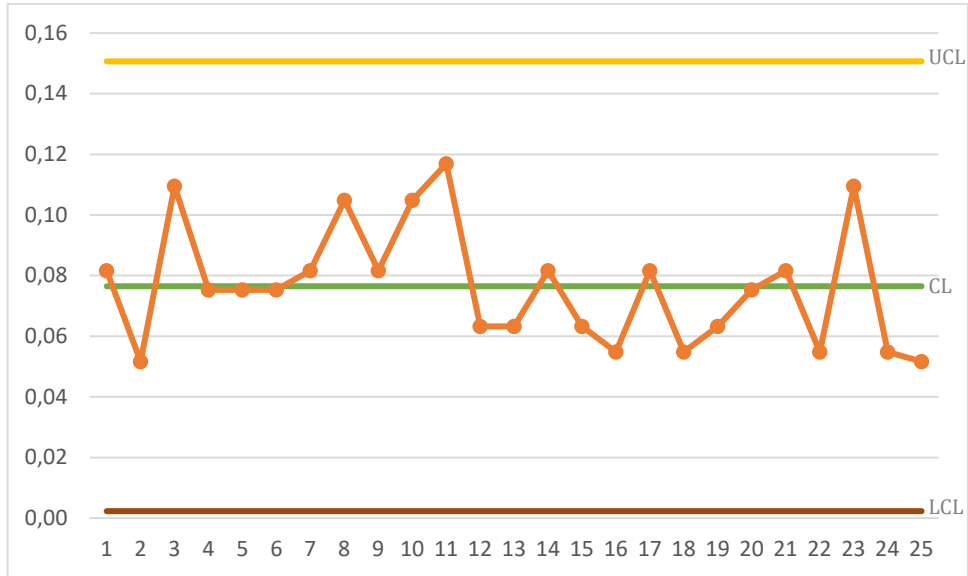
$$LCL_s = 0,0020 \quad (7.25)$$

Tablo 7.7’ deki $\tilde{S}$ verilerinin yukarıda belirtilen sınırlarla oluşturulmuş kontrol diyagramının görüntüsü Şekil 7.16’ da gösterilmiştir.



Şekil 7-16 Durulaştırılmış $\tilde{S}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.16 incelendiğinde ölçüm değerlerin merkez çizgi ve civarlarında konumlandığı görülmektedir. Kontrol dışı herhangi bir gözlem bulunmamaktadır. Durulaştırılmış $\tilde{S}$ kontrol diyagramı için süreç kontrol altındadır. Durulaştırılmış $\tilde{S}$ kontrol diyagramına karşın Tablo 7.1 verileri kullanılarak oluşturulmuş klasik S kontrol diyagramı Şekil 7.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 7-17 S Kontrol Diyagramı

Şekil 7.17 incelendiğinde ortaya çıkan örüntünün durulaştırılmış $\tilde{S}$ kontrol diyagramıyla hemen hemen benzer olduğu görülmektedir. Kontrol dışı herhangi bir gözlem değeri olmadığı için klasik S kontrol diyagramı da kontrol altındadır. Hem bulanık hem de klasik kontrol diyagramlarında X ve S kontrol diyagramları kontrol altında olduğu için süreç kontrol altındadır.

Gözlemlenen verilerle uygulanan bulanıklaştırma ve durulaştırma metodolojisi sonucu bu uygulama için tip-2 bulanık küme yaklaşımıyla klasik kontrol diyagramları arasındaki kontrol limitleri değerleri hariç belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Ortaya çıkan örüntüler hemen hemen aynı özellikleri taşımaktadır. Bu sebeple her iki diyagramın türü de süreç içerisindeki değişiklikleri aynı seviyede yansıttığı söylenebilir.

7.5I-MR Kontrol Diyagramları için Örnek Uygulama

I – MR kontrol diyagramı firmanın otomatik sayaç izleme sistemi (OSOS) olarak adlandırılan cihazlarının sinyal gücü değerleri için yapılacaktır. OSOS, elektrik sayaçlarının internet üzerinden aktif olarak izlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Sistemin çalışması için elektrik sayaçlarına birer adet modem takılmaktadır ve modem üzerinde bulunan 2G bağlantı özelliği taşıyan sim kart sayesinde sayaçtaki verileri son kullanıcıya bilgisayar ortamında aktarmaktadır. Uygulama yapılan firma OSOS sistemi için modem üretmektedir ve müşterileri enerji tüketimleri bu modemler sayesinde online ortamda takip edebilmektedir. Firma, modemlerin sinyal güçlerini bünyesinde bulunan yazılım sayesinde görebilmektedir. Bu sayede etkin olarak bağlantı kurulamayan modemlere müdahale edebilmektedir. Sinyal gücü birimi ASU' dur, cihaz ve coğrafi özelliklere bağlı olarak sinyal güçlerinin okunmasında kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu kayıpları en iyi şekilde yansıtabilmek için sahadan firma merkezine gelen sinyal değerleri tip-2 YBS' yle ifade edilerek kontrol diyagramının kurulması önerilmektedir. OSOS cihazlarının sistem üzerinde okunan sinyal gücü verileri Tablo 7.8' deki gibidir.

Tablo 7.8 Osos Cihazları Sinyal Gücü Değerleri

Örnek No	Ölçüm Değeri
1	Yaklaşık 14
2	Yaklaşık 17
3	Yaklaşık 16
4	Yaklaşık 14
5	Yaklaşık 17
6	Yaklaşık 14
7	Yaklaşık 16
8	Yaklaşık 15
9	Yaklaşık 14
10	Yaklaşık 16
11	Yaklaşık 17
12	Yaklaşık 15
13	Yaklaşık 14
14	Yaklaşık 16
15	Yaklaşık 14
16	Yaklaşık 18
17	Yaklaşık 17
18	Yaklaşık 15
19	Yaklaşık 14
20	Yaklaşık 16
21	Yaklaşık 14
22	Yaklaşık 15
23	Yaklaşık 17
24	Yaklaşık 16
25	Yaklaşık 15

$\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramı için örneklerin Tablo 7.8' e göre her bir tip-2 YBS parametresine göre atanmış hali Tablo 7.9' da gösterilmiştir. Ayrıca her bir parametreye göre örneklerin ortalaması Tablo 7.9' daki ortalama satırında gösterilmiştir.

Tablo 7.9 $\tilde{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı İçin Örnek ve Örneklem Ortalamaları

Örnek Sırası	a_1^U	a_2^U	a_3^U	a_4^U	$H_1(A_1^U)$	$H_2(A_1^U)$	a_1^L	a_2^L	a_3^L	a_4^L	$H_1(A_1^L)$	$H_2(A_1^L)$
1	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
2	16,65	17	17,35	17,7	1,00	1,00	16,85	17,05	17,25	17,45	0,80	0,80
3	15,65	16	16,35	16,7	1,00	1,00	15,85	16,05	16,25	16,45	0,80	0,80
4	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
5	16,65	17	17,35	17,7	1,00	1,00	16,85	17,05	17,25	17,45	0,80	0,80
6	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
7	15,65	16	16,35	16,7	1,00	1,00	15,85	16,05	16,25	16,45	0,80	0,80
8	14,65	15	15,35	15,7	1,00	1,00	14,85	15,05	15,25	15,45	0,80	0,80
9	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
10	15,65	16	16,35	16,7	1,00	1,00	15,85	16,05	16,25	16,45	0,80	0,80
11	16,65	17	17,35	17,7	1,00	1,00	16,85	17,05	17,25	17,45	0,80	0,80
12	14,65	15	15,35	15,7	1,00	1,00	14,85	15,05	15,25	15,45	0,80	0,80
13	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
14	15,65	16	16,35	16,7	1,00	1,00	15,85	16,05	16,25	16,45	0,80	0,80
15	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
16	17,65	18	18,35	18,7	1,00	1,00	17,85	18,05	18,25	18,45	0,80	0,80
17	16,65	17	17,35	17,7	1,00	1,00	16,85	17,05	17,25	17,45	0,80	0,80
18	14,65	15	15,35	15,7	1,00	1,00	14,85	15,05	15,25	15,45	0,80	0,80
19	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
20	15,65	16	16,35	16,7	1,00	1,00	15,85	16,05	16,25	16,45	0,80	0,80
21	13,65	14	14,35	14,7	1,00	1,00	13,85	14,05	14,25	14,45	0,80	0,80
22	14,65	15	15,35	15,7	1,00	1,00	14,85	15,05	15,25	15,45	0,80	0,80
23	16,65	17	17,35	17,7	1,00	1,00	16,85	17,05	17,25	17,45	0,80	0,80
24	15,65	16	16,35	16,7	1,00	1,00	15,85	16,05	16,25	16,45	0,80	0,80
25	14,65	15	15,35	15,7	1,00	1,00	14,85	15,05	15,25	15,45	0,80	0,80
Ort.	15,09	15,44	15,79	16,14	1,00	1,00	15,29	15,49	15,69	15,89	0,80	0,80

$\tilde{\bar{X}}$ ve $\widetilde{MR}$ kontrol diyagramı için n=2' ye göre hesaplanmış $\widetilde{MR}$ değerleri Çizelge Tablo 7.10' daki hücrelerde gösterilmiştir. Ayrıca her bulanık sayı parametresi için $\widetilde{MR}$ değerlerinin ortalaması ise Tablo 7.10' daki ortalama satırında gösterilmiştir.

Tablo 7.10 $\tilde{\bar{X}}$ ve $\widetilde{MR}$ Kontrol Diyagramı için MR değerleri ve Ortalamaları

Örnek Sırası	a_1^U	a_2^U	a_3^U	a_4^U	$H_1(A_1^U)$	$H_2(A_1^U)$	a_1^L	a_2^L	a_3^L	a_4^L	$H_1(A_1^L)$	$H_2(A_1^L)$
1	-	-	-	-	1,00	1,00	-	-	-	-	0,80	0,80
2	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,80	0,80
3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
4	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80

5	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,80	0,80
6	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,80	0,80
7	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
10	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
12	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
14	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
15	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
16	4,00	4,00	4,00	4,00	1,00	1,00	4,00	4,00	4,00	4,00	0,80	0,80
17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
18	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
19	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
20	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
21	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
22	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
23	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,80	0,80
24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
Ort.	1,79	1,79	1,79	1,79	1,00	1,00	1,79	1,79	1,79	1,79	0,80	0,80

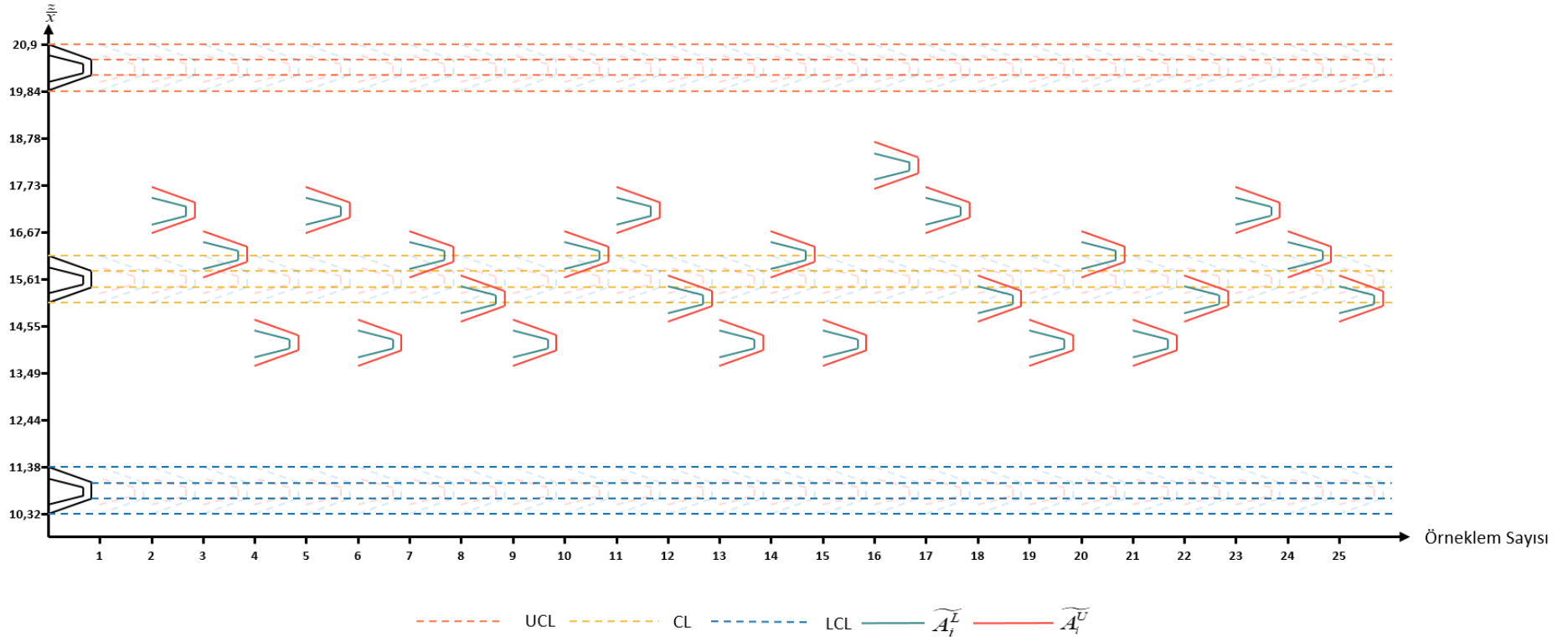
$\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramında örnek sayısı 2 için d_2 sabiti 1,128 olmak üzere kontrol limiti değerleri tip-2 YBS olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$\widetilde{UCL}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} 19.8551, 20.2051, 20.5551, 20.9051; 1,1 \\ 20.0551, 20.2551, 20.4551, 20.6551; 0,8; 0,8 \end{array} \right) \quad (7.26)$$

$$\widetilde{CL}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} 15.09, 15.44, 15.79, 16.14; 1,1 \\ 15.29, 15.49, 15.69, 15.89; 0,8; 0,8 \end{array} \right) \quad (7.27)$$

$$\widetilde{LCL}_{\bar{X}} = \left(\begin{array}{l} 10.3249, 10.6749, 11.0249, 11.3749; 1,1 \\ 10.5249, 10.7249, 10.9249, 11.1249; 0,8; 0,8 \end{array} \right) \quad (7.28)$$

Yapılan işlemler sonucunda oluşan $\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramı Şekil 7.18' deki gibi olmaktadır.



Şekil 7-18 $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.18 incelendiğinde gözlem değerlerinin kontrol limitleri arasında dağılım gösterdiği görülmektedir. Kontrol dışı herhangi bir gözlem değeri bulunmamaktadır. Sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilebilmesi için durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ değerleri Tablo 7.11’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.11 $\bar{\bar{X}}$ Verilerin Durulaştırılması

Örnek Sırası	Örneklerin Durulaştırılması	Örnek Sırası	Örneklerin Durulaştırılması
1	12,0500	14	13,7500
2	14,6000	15	12,0500
3	13,7500	16	15,4500
4	12,0500	17	14,6000
5	14,6000	18	12,9000
6	12,0500	19	12,0500
7	13,7500	20	13,7500
8	12,9000	21	12,0500
9	12,0500	22	12,9000
10	13,7500	23	14,6000
11	14,6000	24	13,7500
12	12,9000	25	12,9000
13	12,0500		

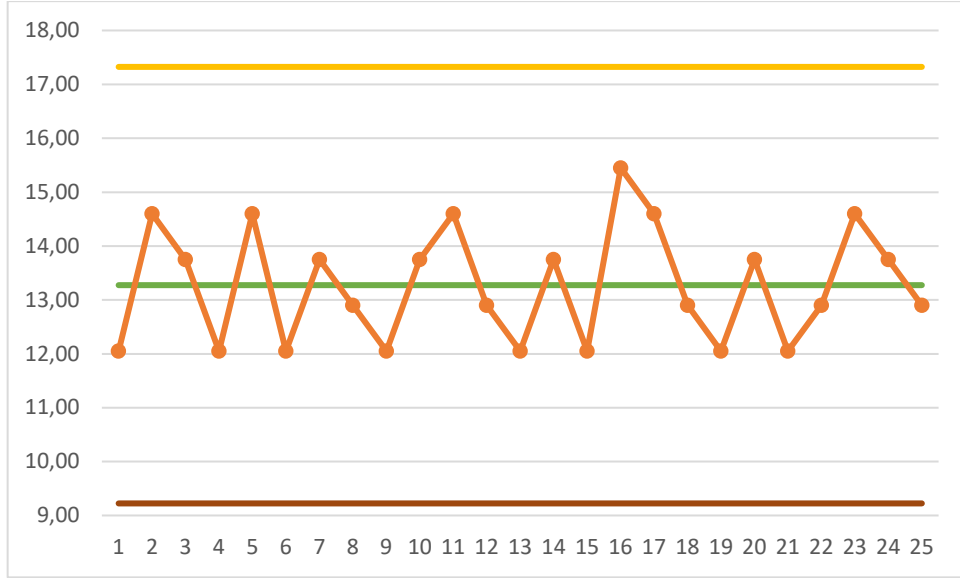
Bulanık olarak oluşturulmuş olan kontrol limitlerinin durulaştırılmış hali aşağıda gösterilmiştir.

$$UCL_{\bar{\bar{X}}} = 17,3243 \quad (7.29)$$

$$CL_{\bar{\bar{X}}} = 13,2740 \quad (7.30)$$

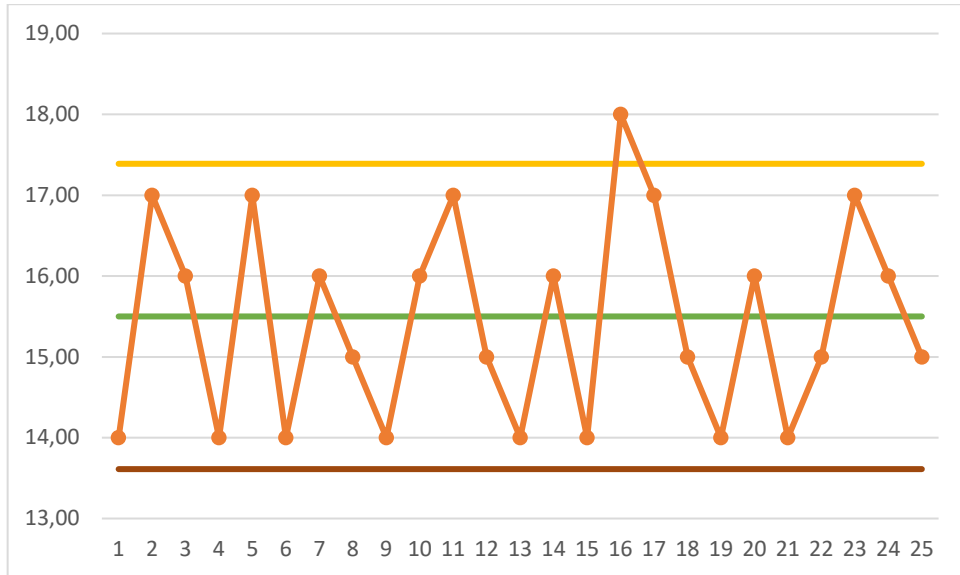
$$LCL_{\bar{\bar{X}}} = 9,2237 \quad (7.31)$$

Tablo 7.11’ deki $\bar{\bar{X}}$ verilerinin yukarıda belirtilen sınırlarla oluşturulmuş kontrol diyagramının görüntüsü Şekil 7.19’ da gösterilmiştir.



Şekil 7-19 Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.19 incelendiğinde bulanık ölçüm değerlerinin kontrol limitleri arasında dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Kontrol dışında herhangi bir ölçüm değeri bulunmamaktadır. Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ verileri için süreç kontrol altındadır. Durulaştırılmış $\bar{\bar{X}}$ kontrol diyagramına karşın Tablo 7.11 verileri kullanılarak oluşturulmuş $\bar{X}$ kontrol diyagramı Şekil 7.20’de gösterilmiştir.



Şekil 7-20 $\bar{X}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.20 incelendiğinde ölçüm değerlerinin genel olarak üst ve alt kontrol limit çizgisilerine yakın bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. 16. örneklem üst kontrol limitinin dışında konumlanmış olup MR kontrol diyagramında süreç kontrol altında çıksa bile klasik I-MR kontrol diyagramı için süreç kontrol altında değildir. Bulanık $\tilde{\bar{X}}$ kontrol diyagramında süreç kontrol altında olduğu için MR kontrol diyagramı da oluşturulacaktır.

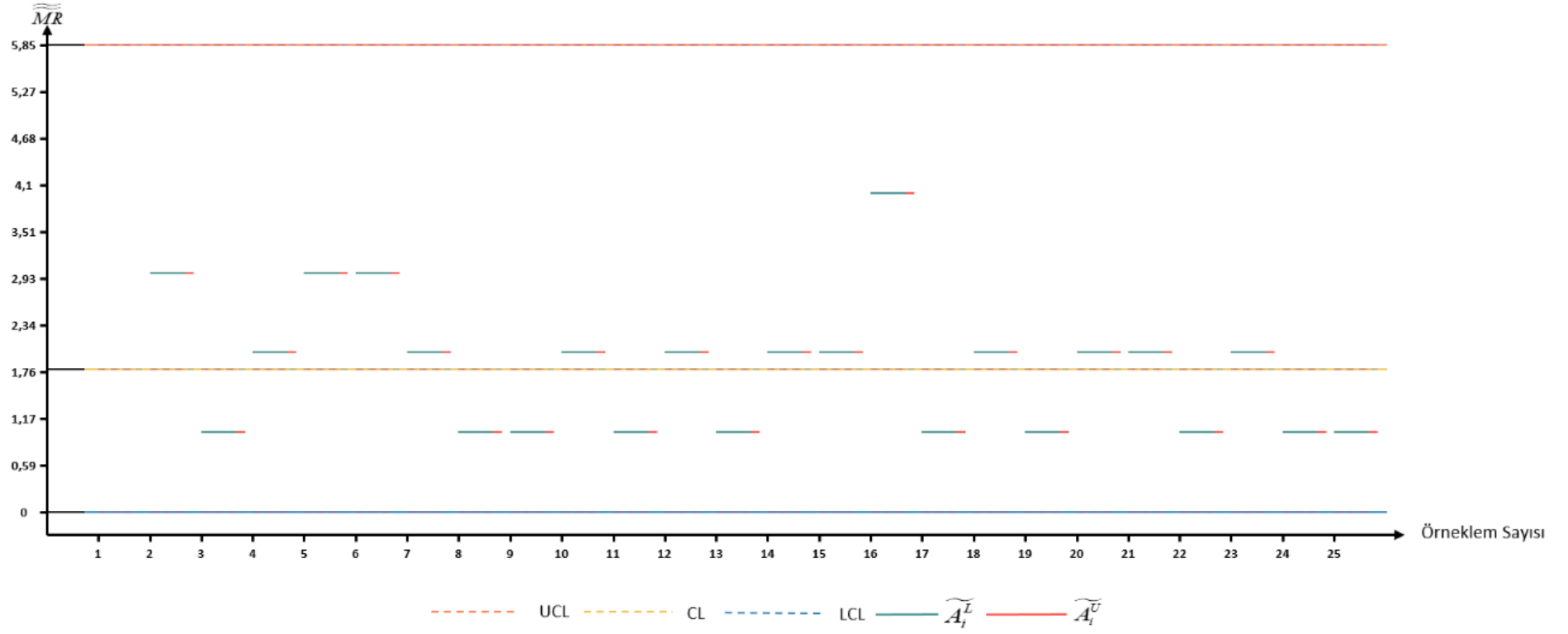
$\widetilde{MR}$ kontrol diyagramında $n=2$ için D_3 sabiti 0 ve D_4 sabiti 3,267 olmak üzere kontrol limiti değerleri tip-2 YBS olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$\widetilde{UCL}_{MR} = \left(5.8534, 5.8534, 5.8534, 5.8534; 1, 1 \right) \quad (7.32)$$

$$\widetilde{CL}_{MR} = \left(1.7917, 1.7917, 1.7917, 1.7917; 1, 1 \right) \quad (7.33)$$

$$\widetilde{LCL}_{MR} = \left(0, 0, 0, 0; 1, 1 \right) \quad (7.34)$$

Yapılan işlemler sonucunda oluşan $\widetilde{MR}$ kontrol diyagramı Şekil 7.21' deki gibi olmaktadır.



Şekil 7-21 $\widetilde{MR}$ Kontrol Diyagramı

Bulanıklaştırma metodolojisi dolayısıyla örneklemeler için oluşturulan tip-2 YBS içerisindeki her bir $\widetilde{MR}$ değeri aynı çıkmaktadır. Bu sebeple $\widetilde{MR}$ kontrol diyagramında yamuk sayı elde edilememektedir. Ortaya çıkan veriler sonucunda Şekil 7.21’ de görüldüğü üzere ölçüm değerleri kontrol limitleri arasında dağılım gösterdiğini gözükmemektedir. Sürecin kontrol altında olup olmadığına karar verilebilmesi için durulaştırılmış $\widetilde{MR}$ değerleri Tablo 7.12’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.12 $\widetilde{MR}$ Verilerin Durulaştırılması

Örnek Sırası	Örneklerin Durulaştırılması	Örnek Sırası	Örneklerin Durulaştırılması
1	0,0000	14	1,7000
2	2,5500	15	1,7000
3	0,8500	16	3,4000
4	1,7000	17	0,8500
5	2,5500	18	1,7000
6	2,5500	19	0,8500
7	1,7000	20	1,7000
8	0,8500	21	1,7000
9	0,8500	22	0,8500
10	1,7000	23	1,7000
11	0,8500	24	0,8500
12	1,7000	25	0,8500
13	0,8500		

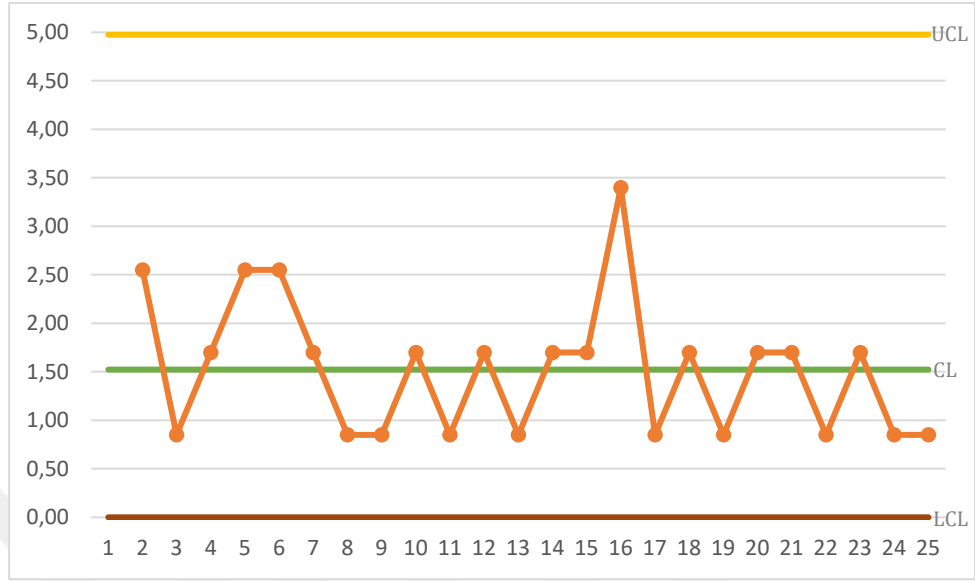
Bulanık olarak oluşturulmuş olan kontrol limitlerinin durulaştırılmış hali aşağıda gösterilmiştir.

$$UCL_{MR} = 4,9754 \quad (7.35)$$

$$CL_{MR} = 1,5229 \quad (7.36)$$

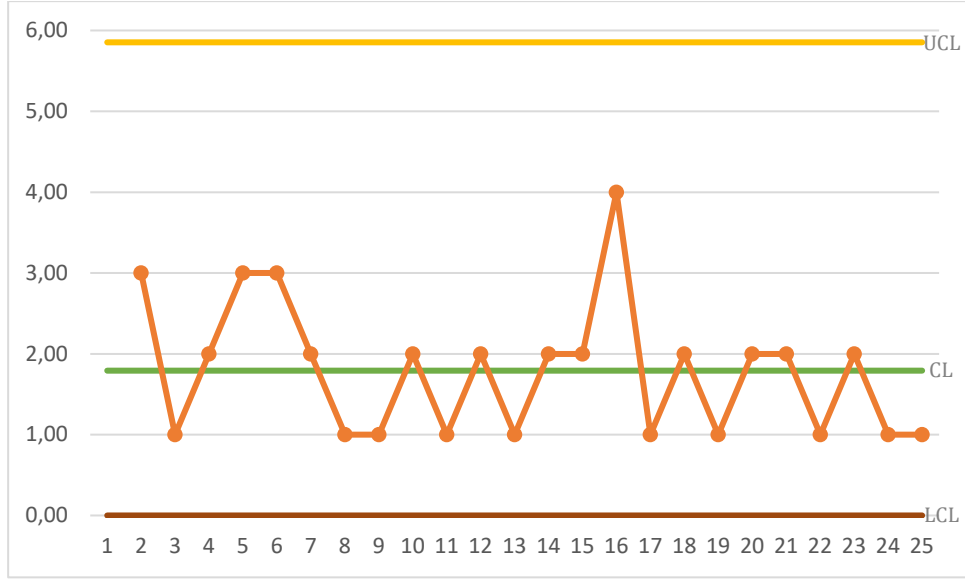
$$LCL_{MR} = 0 \quad (7.37)$$

Tablo 7.12’deki $\widetilde{MR}$ verilerinin yukarıda belirtilen sınırlarla oluşturulmuş kontrol diyagramının görüntüsü Şekil 7.22’de gösterilmiştir.



Şekil 7-22 Durulaştırılmış $\widetilde{MR}$ Kontrol Diyagramı

Şekil 7.22 incelendiğinde ölçüm değerlerinin genel olarak kontrol limitleri arasında dağılım gösterdiğini anlaşılmaktadır. Kontrol dışı bir gözlem değeri bulunmamaktadır. Durulaştırılmış $\widetilde{X}$ kontrol diyagramı da kontrol altında olduğu için süreç kontrol altındadır. Durulaştırılmış $\widetilde{MR}$ kontrol diyagramına karşın Tablo 7.11 verileri kullanılarak oluşturulmuş klasik MR kontrol diyagramı Şekil 7.23’de gösterilmiştir.



Şekil 7-23 MR Kontrol Diyagramı

Şekil 7.23 incelendiğinde ortaya çıkan örüntünün durulaştırılmış $\widetilde{MR}$ kontrol diyagramıyla hemen hemen benzer olduğu görülmektedir. Kontrol dışı herhangi bir gözlem değeri olmadığı için klasik MR kontrol diyagramı da kontrol altındadır. Fakat $\bar{X}$ kontrol diyagramı kontrol altında olmadığı için klasik I-MR kontrol diyagramında süreç kontrol altında değildir.

Klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramında 16. örnek üst kontrol limitini aştığı için süreç kontrol altında değildir. Fakat uygulanan bulanıklaştıma ve durulaştırma metodoloji sonucu bu gözlem değerinin bulanık kontrol diyagramında kontrol limitleri arasında yer aldığı görülmektedir. Ölçüm değerlerinin net olarak elde edilemediği durumlarda bu uygulama için bulanık kontrol diyagramı aslında kontrol altında olan bir gözlemin kontrol dışında görünmesini engellemiştir.

Kontrol diyagramları, müşteri beklentilerine ve istenilen kalite özelliklerine uygun ürün üretebilmek için üretim süreçleri içerisindeki değişkenliğin gözlemlenmesinde ve sürecin kontrol altında olup olmadığının anlaşılmasında kullanılan en yaygın İKK tekniklerinden biridir. Kontrol diyagramları sayesinde süreç içerisindeki değişkenlik gözlemlenerek üretim süreçlerinde anında müdahale edilebilmekte ve kalite maliyetleri minimum seviyeye indirilebilmektedir.

Kontrol diyagramlarının etkin bir şekilde kurulabilmesi için süreç içerisinde alınan gözlem değerlerinin hatalı olmaması gerekmektedir. Fakat ölçüm yapan operatör, ölçüm aletinin hassasiyeti veya ölçüm yöntemi sebebiyle gözlem değerleri hatalı bir şekilde elde edilebilir. Bu durum kontrol diyagramının hatalı kurulmasına aynı zamanda sürecin yanlış bir şekilde yorumlanmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu hataları minimum seviyeye indirmek veya ortadan kaldırmak için son zamanlarda kontrol diyagramlarında Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantık metodolojisi uygulanmaya başlanmıştır. Bulanık kontrol diyagramlarında yaygın olarak klasik (tip-1) bulanık mantık metodolojisi kullanılmıştır. Klasik bulanık mantık metodolojisi sayesinde ölçüm değerlerine üyelik dereceleriyle tolerans aralığının eklenmesi sağlanmış ve operatör, ölçüm aleti veya yöntemi sebebiyle oluşabilecek hatalarının etkileri minimum seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır.

Üretim süreçlerinin çok hassas olduğu durumlarda klasik bulanık mantık metodolojisi de süreç içerisinde alınacak örneklemelerin ölçüm değerlerindeki hataları tam olarak temsil edemeyebilir. Bu sebeple bu çalışmada üretim süreçlerinin çok hassas olduğu durumlarda süreç içerisindeki değişkenliği ve hassasiyeti etkin olarak gözlemleyebilmek için üyelik derecelerinin de bulanık olarak atanabildiği tip-2 bulanık küme yaklaşımı kullanılarak nicel kontrol diyagramları ($\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$, I-MR) geliştirilmiştir. Tip-2 bulanık küme yaklaşımı sayesinde ölçüm değerlerine daha geniş bir tolerans aralığı sağlanmış ve hata

kaynaklarından oluşabilecek olumsuz etkilerin dereceleri minimum seviyeye indirilmiştir.

Tip-2 bulanık mantık yaklaşımıyla oluşturulan $\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - S$ kontrol diyagramları elektronik cihaz imalatı yapan bir işletmenin cihaz ile pano arasındaki etkileşimi sağlayan klemens adı verilen komponentin kalite kontrol sürecinde uygulanmıştır. Cihazın etkin olarak çalışabilmesi için dişi klemens içerisinde bulunan pinin erkek klemens içerisindeki pinle tam olarak eşleşmesi gerekmektedir. Aksi durumda cihazla pano arasında tam olarak elektriksel bağlantı kurulamadığı için cihaz etkin olarak çalışmamaktadır. $\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - S$ kontrol diyagramları için 6' lı dişi klemens örneği seçilmiş ve 25 adet örneklem alınmıştır. Dişi pin genişliği elektronik kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm değerleri tip-2 bulanık sayı haline getirilmiş ve bu değerlerle birlikte tip-2 bulanık kontrol diyagramı oluşturulmuştur. Sürecin yorumlanmasında bulanık kural tabanı yerine durulaştırma metodu tercih edilmiş ve bulanık kontrol diyagramı durulaştırılmıştır. Uygulamada hem klasik hem de durulaştırılmış kontrol diyagramı gösterilmiştir. Belirtilen her iki kontrol diyagramında örüntüler birbirlerine benzerlik göstermiştir. Her iki kontrol diyagramında da kontrol dışında herhangi bir gözlem değeri bulunmamaktadır. Uygulanan bulanıklaştırma metodolojisi temelinde her iki kontrol diyagramı da süreç içerisindeki değişkenliği benzer olarak yansıtmışlardır.

I-MR kontrol diyagramı için OSOS cihazlarına ait sinyal gücü değerleri kullanılmıştır. Sinyal gücü değerlerinde coğrafi ve cihaz özelliklerine bağlı olarak kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu kayıpları en iyi şekilde temsil edebilmek için tip-2 bulanık mantık metodolojisinin uygulanmasına karar verilmiştir. Ölçüm değerleri benzer metodolojiyle tip-2 bulanık sayı haline getirilmiş ve bulanık kontrol diyagramı kurulmuştur. Daha sonra veriler durulaştırılarak klasik kontrol diyagramıyla karşılaştırılmıştır. Oluşturulan klasik $\bar{X}$ kontrol diyagramında 16. gözlem değeri kontrol dışında gözlemlenirken durulaştırılmış kontrol diyagramında kontrol altında olduğu gözlemlenmiştir. Bunun haricinde MR kontrol diyagramında klasik ve durulaştırılmış diyagramlarındaki örüntüler birbirlerine paralellik göstermektedir. Bulanık mantık metodoloji sayesinde bu kontrol diyagramı için

kontrol dışında bulunan bir gözlem değerinin aslında kontrol altında olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç olarak, üretim süreçlerinin hassas olduğu durumlarda operatör, ölçüm aleti veya yöntemi sebebiyle oluşabilecek ölçüm hatalarını veya ölçüm kayıplarının olduğu durumları en iyi şekilde temsil edebilmek için kontrol diyagramlarının kurulmasında ve yorumlanmasında tip-2 bulanık küme yaklaşımı etkin sonuçlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında ilk kez tip-2 bulanık küme yaklaşımı kullanılarak $\bar{X} - S$ ve I-MR kontrol diyagramları geliştirilmiştir.

Çalışma kısıtı olarak spesifikasyon limitleri ve süreç yeterlilik indislerinin tip-2 bulanık sayı olarak tanımlanamaması gösterilebilir. Ayrıca gelecek çalışmalar için nicel kontrol diyagramlarının kurulmasında üye olma derecesinin yanında üye olmama derecesini de içerebilen sezgisel bulanık sayılarla karar vericiyi birden fazla üyelik derecesi ataması yapmasına imkan veren kararsız bulanık sayılar önerilebilir.

A

Kontrol Diyagramı Sabitleri Tablosu

Örnek Boyutu=m	A2	A3	d2	D3	D4	B3	B4
2	1,880	2,659	1,128	0,000	3,267	0,000	3,267
3	1,023	1,954	1,693	0,000	2,574	0,000	2,568
4	0,729	1,628	2,059	0,000	2,282	0,000	2,266
5	0,577	1,427	2,326	0,000	2,114	0,000	2,089
6	0,483	1,287	2,534	0,000	2,004	0,030	1,970
7	0,419	1,182	2,704	0,076	1,924	0,118	1,882
8	0,373	1,099	2,847	0,136	1,864	0,185	1,815
9	0,337	1,032	2,970	0,184	1,816	0,239	1,761
10	0,308	0,975	3,078	0,223	1,777	0,284	1,716
11	0,285	0,927	3,173	0,256	1,744	0,321	1,679
12	0,266	0,886	3,258	0,283	1,717	0,354	1,646
13	0,249	0,850	3,336	0,307	1,693	0,382	1,618
14	0,235	0,817	3,407	0,328	1,672	0,406	1,594
15	0,223	0,789	3,472	0,347	1,653	0,428	1,572
16	0,212	0,763	3,532	0,363	1,637	0,448	1,552
17	0,203	0,739	3,588	0,378	1,622	0,466	1,534
18	0,194	0,718	3,640	0,391	1,608	0,482	1,518
19	0,187	0,698	3,689	0,403	1,597	0,497	1,503
20	0,180	0,680	3,735	0,415	1,585	0,510	1,490
21	0,173	0,663	3,778	0,425	1,575	0,523	1,477
22	0,167	0,647	3,819	0,434	1,566	0,534	1,466
23	0,162	0,633	3,858	0,443	1,557	0,545	1,455
24	0,157	0,619	3,895	0,451	1,548	0,555	1,445
25	0,153	0,606	3,931	0,459	1,541	0,565	1,435

B

X-R ve X-S Kontrol Diyagramları için Ölçüm Değerleri

Örneklem No	Örnek No	Yaklaşık Ölçüm Değerler	a_1^U	a_2^U	a_3^U	a_4^U	$H_1(A_1^U)$	$H_2(A_1^U)$	a_1^L	a_2^L	a_3^L	a_4^L	$H_1(A_1^L)$	$H_2(A_1^L)$
1	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
2	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80

3	1	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80
	2	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
4	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
5	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
6	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80

	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
7	1	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
8	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
9	1	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80

	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
10	1	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
11	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	5	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80
	6	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
12	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80

13	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
14	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,8	0,785	0,8	0,815	0,83	1,00	1,00	0,794	0,803	0,812	0,821	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
15	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
16	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80

	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
17	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
18	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
19	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80

	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
20	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	3	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
21	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
22	1	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80

23	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	5	0,5	0,485	0,5	0,515	0,53	1,00	1,00	0,494	0,503	0,512	0,521	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
24	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	3	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
25	1	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	2	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	3	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	4	0,6	0,585	0,6	0,615	0,63	1,00	1,00	0,594	0,603	0,612	0,621	0,80	0,80
	5	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80
	6	0,7	0,685	0,7	0,715	0,73	1,00	1,00	0,694	0,703	0,712	0,721	0,80	0,80

- [1] J.H. Wang and T. Raz, "On the construction of control charts using linguistic variables", *Int. J. Prod. Res.*, vol. 28, no. 3, pp. 477–487, 1990.
- [2] T. Raz and J.H. Wang, "Probabilistic and membership approaches in the construction of control charts for linguistic data", *Prod. Plan. Control*, vol. 1, no. 3, pp. 147–157, 1990.
- [3] A. Kanagawa, F. Tamaki and H. Ohta, "Control charts for process average and variability based on linguistic data", *Int. J. Prod. Res.*, vol. 31, no. 4, pp. 913–922, 1993.
- [4] M. Gülbay and C. Kahraman, "An alternative approach to fuzzy control charts: Direct fuzzy approach", *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 177, no. 6, pp. 1463–1480, 2007.
- [5] İ. Kaya and C. Kahraman, "Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts", *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 4, pp. 3172–3184, 2011.
- [6] H.E. Teksen and A. S. Anagun, "Different methods to fuzzy X-R control charts used in production", *J. Enterp. Inf. Manag.*, vol. 31, no. 6, pp. 848–866, 2018.
- [7] P. Kotler, *Marketing Management*, 8th ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1996.
- [8] H. Bircan and S. Özcan, *Excel Uygulamalı Kalite Kontrol*, Sivas: Yargı Yayınevi, 2003.
- [9] M. Uğur, "Beyaz Eşya Sanayiinde Kalite Kontrol Tasarımı ve Arçelik Bulaşık Makinesi Fabrikasındaki Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2015.
- [10] A. Top, *Üretim Sistemleri, Analizi, Planlama ve Kontrolü*, İstanbul: Alfa Yayınları, 2001.
- [11] İ. Ertuğrul, *Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri*, Bursa: Ekin Kitabevi, 2004.
- [12] P. Newbold, *İşletme ve İktisat için İstatistik*, Çev. Ümit Şenesen, İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2001.

- [13] D.C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th ed. America: John Wiley & Sons Inc., 2009.
- [14] S. Yıldırım, "Giriş Kalite Kontrol Süreçlerinde Kabul Örneklemesine Yönelik Bir Metodoloji: Beyaz Eşya Endüstrisinde Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [15] H. Alkan, "Kalitesizliğin Önemli Bir Boyutu: Maliyet Artışı", *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Derg.*, vol. A, no. 2, pp. 97–118, 2002.
- [16] R. Bozkurt, *Kalite Maliyetleri*, 8. Baskı. Ankara: MPM Yayınları, 2003.
- [17] F.Ç. Ertaş, "Kalite Maliyetleri ve Analizi", *Verimlilik Dergisi*, MPM Yayını, Sayı:2, 1996.
- [18] R. Karcıoğlu, *Stratejik Maliyet Yönetimi, Maliyet ve Yönetim Muhasebesinde Yeni Yaklaşımlar*, Erzurum: Aktif Yayınevi, 2000.
- [19] E. Koç, "Üretim Yönetimi ve Organizasyon", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 33 pp. 95-112, 2000.
- [20] A. Bağrıaçık, *Belgelerle Uygulamalı ISO 9000 Nedir? Nasıl Kurulur?*, İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, 1995.
- [21] A.A. Dikmen and M.K. Dikmen, "Her Derde Deva İksir: Toplam Kalite Yönetimi",
http://www.academia.edu/2314285/HER_DERDE_DEVA_%C4%B0KS%C4%B0R_TOPLAM_KAL%C4%B0TE_Y%C3%96NET%C4%B0M%C4%B0.
[Accessed: 27-Nov-2018].
- [22] A.V. Feigenbaum, *Total Quality Control*, Third ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [23] C. Çınar and Y. Kılıç, *Toplam Kalite Yönetimi (TKY) Eğitimi*, T.C. Hava Kuvvetleri Komutanlığı 3. Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı, Ankara, 2003.
- [24] Ö.İ. Doğan, "Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 2, no.1, pp. 5-27, 2000.
- [25] HKK (Hava Kuvvetleri Komutanlığı 3.H.İ.B.M.K.lığı), *Kalite Güvence Sistemi Eğitim Notları*, Hv. Basımevi ve Neş. Müdürlüğü, Ankara, 1998.
- [26] B. Kobu, *Üretim Yönetimi*, İstanbul: Avcıol Basım Yayın, 2003.

- [27] H. Rowlands and L. R. Wang, "An Approach of Fuzzy Logic Evaluation and Control in SPC", *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 16, pp. 91–98, 2000.
- [28] E. Aytaç, "Kalite Kontrolde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2006
- [29] M. Kartal, *İstatistiksel Proses Kontrolü*, Ankara: Kariyer Matbaası, 1999.
- [30] R. Bozkurt, *Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri (İstatistiksel Teknikler)*, Ankara: MPM Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, 2003.
- [31] S. Üreten, *Üretim/ İşlemler Yönetimi Planlama-Denetim Kararları Karar Modelleri ve İyileştirme Yaklaşımları*, Ankara: Türk Hava Kurumu Basımevi, 1998.
- [32] S. Ağaç and B. Çileroğlu, *Kalite Kontrol 1-Kalite ve Kalite Kavramları Hazır Giyim Üretiminde Ana ve Yardımcı Malzeme Kontrolü*, Ankara: YA-PA Yayınları, 2004.
- [33] P. Demir, "Ürün Onay Süreçlerinde Kalite Kontrol Sayılarının Maliyetler Üzerine Etkisi", Yaşar Üniversitesi, 2018.
- [34] G.A. Bek, "Bir Konfeksiyon İşletmesinde Proses ve Kalite Kontrol", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.
- [35] M. Halis, *Toplam Kalite Yönetimi: Kapsam, İlkeler ve Uygulamalar*, Ankara: Roma Yayınları, 2004.
- [36] T. Özdemir, *İstatistiksel Kalite Kontrol*, Ankara: A.Ü.F.F. Döner Sermaye Yayınları, 2000.
- [37] B. Akın, C. Çetin and V. Erol, *Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi- Uygulamalardan Örnekler*, İstanbul: Beta Basım Yayım, 1998.
- [38] M.A. Olgun, "Kalite Kontrol Grafiklerinde Örüntü Tanıma", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2011.
- [39] T. Staphenurst, *Masterting Statistical Process Control: A Handbook for Performance Improvement Using Cases*, New York: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
- [40] E. Işığışok, *Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol*, Bursa: Ezgi Kitabevi, 2004.

- [41] N.P. Alakoç, "Bulanık Kontrol Grafiklerinde Yeni Bir Yaklaşım (Oran Yaklaşımı)", Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 2012.
- [42] Anonymous, *Statistical Quality Control Handbook*, New York: Western Electric, 1956.
- [43] L.S. Nelson, "The Shewhart Control Chart—Tests for Special Causes", *J. Qual. Technol.*, vol. 16, no. 4, pp. 237–239, 1984.
- [44] D.C. Montgomery, *Introduction To Statistical Quality Control*, USA: John Wiley & Sons, 1996.
- [45] S. Bala, "Bootsrap Örnekleme Yönteminin X-R Süreç Kontrol Diyagramlarında Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2013.
- [46] E. Akgül, "Süreç Kontrol Diyagramlarının Gaz Armatürleri İmalatında Uygulanabilirliği", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2014.
- [47] Ch. 12-Control Charts for Attributes, <https://slideplayer.com/slide/3425863/>. [Accessed: 27-Nov-2018].
- [48] L.S. Nelson, "Interpreting Shewhart X# Control Charts", *J. Qual. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 114–116, 1985.
- [49] T. Pyzdek and P. Keller, *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*, New York: McGraw-Hill Companies Inc., 2010.
- [50] A. Baray, *Üretimde Varyasyon*, İstanbul: Çağlayan Kitapevi, 2008.
- [51] N.R. Farnum, *Modern Statistical Quality Control and Improvement*, California: Duxbury Press, 1994.
- [52] F. Akdeniz, *Olasılık ve İstatistik*, Adana: Nobel kitapevi, 2000.
- [53] D.C. Montgomery, *Statistical Quality Control*, New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [54] M.L. Berenson and D.M. Levine, *Basic Business Statistics, Concepts and Applications*, Sixth ed. USA, 1996.
- [55] S. Patır, "İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Ve Kontrol Grafiklerinin Malatyadaki Bir Tekstil (İplik Dokuma) İşletmesinde Bobin Sarım Kontrolüne Uygulanması", *SÜ İİBF Sos. ve Ekon. Araştırmalar Derg.*, vol. 9, no. 18, pp. 231–250, 2009.

- [56] G. Smith, *Statistical Process Control And Quality Improvement*, Fourth ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [57] D.H. Besterfield, *Quality Control*, New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [58] N. İşçil, *İstatistiksel Kalite Kontrolü*, Ankara: Kalite Matbaası, 1975.
- [59] H. Bircan and H. Gedik, "Tekstil Sektöründe İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Uygulaması Üzerine Bir Deneme", *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 69–79, 2003.
- [60] E. Kasap, "Shewhart, Cusum ve Ewma Kalite Denetimi Grafiklerinin Bir Üretim Sürecinde Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, 2006.
- [61] D.C. Montgomery and A. Johnson, *Forecasting and Time Series Analysis*, New York: McGraw-Hill Book Company, 1976.
- [62] D. Trietsch, *Statistical Quality Control- A Loss Minimization Approach, Series On Applied Mathematics*, Singapore: World Scientific Publishing Co., 1999.
- [63] J. Fleischer, G. Lanza and M. Schlipf, "Statistical quality control in micro-manufacturing through multivariate μ -EWMA chart", *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 57, no. 1, pp. 521–524, 2008.
- [64] A. Özçil, "Shewart, Cusum ve Ewma Kontrol Grafiklerinin Bir Üretim İşletmesinde Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2014.
- [65] E. Oktay, "Shewart, Cusum ve Ewma Kontrol Grafiklerinin Şeker Sanayiine Uygulanması Üzerine Bir Deneme", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, 1994.
- [66] Minitab, "Overview for EWMA Chart", <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/time-weighted-charts/ewma-chart/before-you-start/overview/>. [Accessed: 27-Nov-2018].
- [67] T. Çolak, "İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Uygulamalar", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2007.
- [68] K. Gözübatık, "İstatistiksel Kalite Kontrol ve Süreç Kontrolündeki Gelişmeler", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 1997.

- [69] Engineering Statisticks Handbook, "CUSUM Control Charts", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc323.htm>. [Accessed: 27-Nov-2018].
- [70] Ö. Bıyıklı, "İSG' de Risk Değerlendirmesi İçin Çok Parametrelili Hiyerarşik Bir Model Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2011.
- [71] T. Öztürk, "Hata Türü ve Etkileri Analizi' nde Bulanık Mantık Kullanarak Bir Kamu Hastanesinin Satın Alma Sürecinin İyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2008.
- [72] İ. Gültaş, "Endüstri Mühendisliği Eğitiminde Matematik Ders İçeriklerinin Belirlenmesine Bulanık AHP Yöntemi ile Çözüm Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2007.
- [73] E. Sıramkaya, "Veri Madenciliğinde Bulanık Mantık Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2005.
- [74] M. Yılmaz and E. Arslan, "Geoit Yüksekliğinin ANFIS ile Adım Adım Hesaplanması", *hkm jeodezi ve jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Derg.*, vol. 1, no. 96, pp. 31–38, 2007.
- [75] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Inf. Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- [76] L.A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28–44, 1973.
- [77] Ç. Elmas, *Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık)*, Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2003.
- [78] Bulanık Mantık, <http://matlabdersi.com/?p=157>. [Accessed: 14-Aug-2012].
- [79] E. Kıyak and A. Kahvecioğlu, "Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması", *Havacılık ve Uzay Teknol. Derg.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–72, 2003.
- [80] A. Çelikyılmaz and I.B. Türksen, *Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic: With Recent Theory and Applications, Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Berlin: Springer-Verlag, 2009.
- [81] D. Dubois and H. Prade, *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, Mathematics in Science and Engineering*, USA: Academic Press Inc., 1980.
- [82] H.J. Zimmermann, *Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems*, USA: Kluwer Academic Publishers, 1993.

- [83] M. Hanss, *Applied Fuzzy Arithmetics: An Introduction with Engineering Applications*, Netherlands: Springer-Verlag, 2005.
- [84] M.M. Özkan, *Bulanık Hedef Programlama*, Bursa: Ekin Kitabevi, 2003.
- [85] T.J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, Third ed. United Kingdom: John Wiley and Sons, 2010.
- [86] G.J. Klir and B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [87] N. Baykal and T. Beyan, *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Ankara: Bıçaklar Kitabevi, 2004.
- [88] Z. Şen, *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme, Mühendislik ve Sosyal Bilimler*, Genişletilmiş 3. Baskı, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 2009.
- [89] İ.Ç. Sarı, "Yatırım Analizinde Bulanık Model Önerileri", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012.
- [90] G. Chen and T.T. Pham, *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems*, USA: CRC Press LLC, 2000.
- [91] B.L. Altay, "Bir Açık İşletmede Bulanık Karar Verme Yöntemleri Kullanarak Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi Seçimi", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2013.
- [92] M. Barman and J. Pal Choudhury, "A Fuzzy Rule Base System for the Diagnosis of Heart Disease", *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 57, no. 7, pp. 975–8887, 2012.
- [93] E. Massad, N.R.S. Ortega, L.C. de Barros and C.J. Struchiner, *Fuzzy Logic in Action Applications in Epidemiology and Beyond*, Berlin: Springer, 2008.
- [94] W. Pedrycz and F. Gomide, *An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design*, USA: The MIT Press, 1998.
- [95] R. Özdemir, "Satış Gücü Yapısı Seçiminde Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS Yöntemi: Telekomünikasyon Sektörü Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012.
- [96] M. Büyükoğkan, "ERP Danışman Firma Seçiminde Fuzzy ANP ve Fuzzy TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2011.
- [97] L.X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, International ed. USA: Prentice Hall International, 1997.

- [98] G. Bojadziev and M. Bojadziev, *Fuzzy Logic for Business, Finance and Management*, 2nd ed. USA: World Scientific Publishing, 2007.
- [99] D. Dubois and H. Prade, "Operations on Fuzzy Numbers", *Int. J. Syst. Sci.*, vol. 9, no. 6, pp. 613–626, 1978.
- [100] S.J. Chen, C.L. Hwang and F.P. Hwang, *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- [101] İspanya-Madrid Politecnica Üniversitesi Bilgisayar Fakültesi Uygulamalı Matematik Departmanı eMath Teacher Java Uygulamaları Portalı, http://www.dma.fi.upm.es/java/fuzzy/fuzzyinf/funpert_en.htm. [Accessed: 26-Jul-2014].
- [102] B. Gülcan, "Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma", Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, 2012.
- [103] G. Köse, "Algılanan Kalite Parametrelerinin Önceliklendirilmesi: Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımının Beyaz Eşya Sektöründe Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016.
- [104] D.B. Eravcı, "Bulanık Mantık ile Silikozisin Tespit Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 2016.
- [105] N. Ziasabounchi, "Bulanık Uzman Sistemler Kullanılarak Tıpta Hastalık Teşhisi", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 2014.
- [106] B. Çobanoğlu, "Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi", <http://www.cobanoglu.fws1.com/bulanik.html>. [Accessed: 15-Oct-2014].
- [107] C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I", *IEEE Trans. Syst. man. Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 404–418, 1990.
- [108] C.C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, Part II", *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 419–435, 1990.
- [109] T.A. Runkler and M. Glesner, "A set of axioms for defuzzification strategies towards a theory of rational defuzzification operators", *[Proceedings 1993] Second IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, no. 3, pp. 1161–1166, 2002.
- [110] R.R. Yager and D. Filev, "On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set", *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 55, no. 3, pp. 255–271, 1993.

- [111] R.R. Yager and D. P. Filev, "SLIDE: A Simple Adaptive Defuzzification Method", *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 69–78, 1993.
- [112] T.J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, USA: McGraw-Hill, 1995.
- [113] H. Yalçın, "Hayvansal Üretime Ait Zaman Serilerinde Bulanık Mantık Modellemesinin Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, 2014.
- [114] T. Paksoy, N. Y. Pehlivan and E. Özceylan, *Bulanık Küme Teorisi*, Ankara: Nobel Yayınevi, 2013.
- [115] A.D. Kulkarni, *Fuzzy Logic Fundamentals, Computer Vision and Fuzzy Neural Systems*, First ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [116] U. Acar, "Bulanık Mantıkla Görüntü Zenginleştirme Yöntemlerine Dayanarak Mammogramlardan Mikrokalsifikasyon Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2005.
- [117] M. Kılıç, "Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Tabanlı Bir Yaklaşım", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2015.
- [118] Ö. Boyacı, "Bulanık Mantık Kullanılarak PLC ile Hidrolik Pres Pistonunun Konum Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2015.
- [119] M. Kumar and S. P. Yadav, "A novel approach for analyzing fuzzy system reliability using different types of intuitionistic fuzzy failure rates of components", *ISA Trans.*, vol. 51, no. 2, pp. 288–297, 2012.
- [120] H. Davarzani and M. A. Khorheh, "A novel application of intuitionistic fuzzy sets theory in medical science: Bacillus colonies recognition," *Artif. Intell. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–17, 2013.
- [121] K.T. Atanassov, "Intuitionistic Fuzzy Sets", *Fuzzy set Syst.*, vol. 20, pp. 87–96, 1986.
- [122] M.H Shu, C. H. Cheng and J. R Chang, "Using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly", *Microelectron. Reliab.*, vol. 46, pp. 2139–2148, 2006.
- [123] H. Garg, M. Rani and S. P. Sharma, "Reliability Analysis of the Engineering Systems Using Intuitionistic Fuzzy Set Theory," *Hindawi Publ. Corp. J. Qual. Reliab. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–10, 2013.

- [124] G. Yıldız, "Sezgisel Bulanık Sayılara Dayalı Weibull Dağılımı Kullanılarak Yaşam Fonksiyonunun Tahmini ve Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Üniversitesi, 2018.
- [125] S.K. De, R. Biswas and A.R. Roy, "Some operations on intuitionistic fuzzy sets", *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 114, pp. 477–484, 2000.
- [126] M.R. Seikh, M. Pal and P. K. Nayak, "Application of Triangular Intuitionistic fuzzy Number in Bi Matrix Games", *Int. J. Pure Appl. Math.*, vol. 79, no. 2, pp. 235–247, 2012.
- [127] D.F. Li and J. Yang, "A Difference-Index Based Ranking Method Of Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers And Application To Multiattribute Decision Making", *Math. Comput. Appl.*, vol. 20, no. 1, pp. 25–38, 2015.
- [128] V. Torra and Y. Narukawa, "On hesitant fuzzy sets and decision", 2009 IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst., Jeju Island, 2009.
- [129] V. Torra, "Hesitant Fuzzy Sets", *Int. J. Inf. Manag. Sci.*, vol. 25, pp. 529–539, 2010.
- [130] M. Xia and Z. Xu, "Hesitant fuzzy information aggregation in decision making", *Int. J. Approx. Reason.*, vol. 52, no. 3, pp. 395–407, 2011.
- [131] D. Yu, "Triangular Hesitant Fuzzy Set and Its Application to Teaching Quality Evaluation", *J. Inf. Comput. Sci.*, vol. 10, no. 7, pp. 1925–1934, 2013.
- [132] X. Zhao, R. Lin and G. Wei, "Hesitant triangular fuzzy information aggregation based on Einstein operations and their application to multiple attribute decision making", *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, pp. 1086–1094, 2014.
- [133] X. Zhang, Z. Xu and M. Liu, "Hesitant trapezoidal fuzzy QUALIFLEX method and its application in the evaluation of green supply chain initiatives", *Sustain.*, vol. 8, no. 952, pp. 1–17, 2016.
- [134] J. M. Mendel and R. I. B. John, "Type-2 Fuzzy Sets Made Simple", *IEEE Trans. fuzzy Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 117–127, 2002.
- [135] Fuzzy Intelligent Control,
http://mhrq.if.uidaho.edu/RS_IntellCntrlT2FL_content.html. [Accessed: 01-Aug-2014].
- [136] J.M. Mendel, R. I. John and F. L. Liu, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple", *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 14, no. 6, pp. 808–821, 2006.

- [137] T. Tunçinan, “Yenileme Analizinde Aralık Tip-2 Bulanık Model Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [138] Z. Lv, H. Jin and P. Yuan, “The Theory of Triangle Type-2 Fuzzy Sets”, in *IEEE Ninth International Conference on Computer and Information Technology*, pp. 57–62, 2009.
- [139] K.P. Chiao, “Multiple criteria group decision making with triangular interval type-2 fuzzy sets”, in *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 2575–2582, 2011.
- [140] L.W. Lee and S. M. Chen, “Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the extension of TOPSIS method and interval type-2 fuzzy sets”, in *Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ICMLC*, pp. 3260–3265, 2008.
- [141] S. Makinist, “İnsan Hareketlerinin Tip-2 Bulanık Mantık Tabanlı Analiz ve Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2013.
- [142] Y. Yüksel, “Görüntülerdeki Sayısal Dürtü Gürültüsünün Tip-2 Bulanık Mantık Teknikleriyle İyileştirilmesi”, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2012.
- [143] M.T. Yıldırım, “2. Tip Bulanık Sistemler ile Sayısal Görüntülerden Dürtü Gürültüsünün Giderilmesi”, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2007.
- [144] J. Mendel, *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*, NJ: Prentice-Hall, 2001.
- [145] N.N. Karnik and J. M. Mendel, “Centroid of an Interval Type-2 Fuzzy Set”, *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 132, pp. 195–220, 2012.
- [146] N.N. Karnik and J. M. Mendel, “Operations on type-2 fuzzy sets Nilesh”, *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 122, pp. 327–348, 2011.
- [147] C. Kahraman, B. Öztayşi, I. U. Sarı and E. Turanoğlu, “Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets”, *Knowledge-Based Syst.*, vol. 59, pp. 48–57, 2014.
- [148] M. Gülbay, C. Kahraman, and D. Ruan, “A-Cut Fuzzy Control Charts for Linguistic Data”, *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 19, no. 12, pp. 1173–1195, 2004.
- [149] H. Taleb and M. Limam, “On fuzzy and probabilistic control charts”, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 40, no. 12, pp. 2849–2863, 2002.

- [150] N. Erginel, "Fuzzy individual and moving range control charts with α -cuts", J. Intell. Fuzzy Syst., vol. 19, no. 4, 5, pp. 373–383, 2008.
- [151] O. Engin, A. Çelik and I. Kaya, "A fuzzy approach to define sample size for attributes control chart in multistage processes: An application in engine valve manufacturing process", Appl. Soft Comput. J., vol. 8, no. 4, pp. 1654–1663, 2008.
- [152] S. Senturk and N. Erginel, "Development of Fuzzy X-R and X-S Control Charts Using α -Cuts", Inf. Sci. (Ny), vol. 179, no. 10, pp. 1542–1551, 2009.
- [153] V. Amirzadeh, M. Mashinchi and A. Parchami, "Construction of p-charts using degree of nonconformity", Inf. Sci. (Ny), vol. 179, no. 1–2, pp. 150–160, 2009.
- [154] M.H.F. Zarandi, A. Alaeddini and I. B. Turksen, "A hybrid fuzzy adaptive sampling - Run rules for Shewhart control charts", Inf. Sci. (Ny), vol. 178, no. 4, pp. 1152–1170, 2008.
- [155] A. Faraz and A. F. Shapiro, "An application of fuzzy random variables to control charts", Fuzzy Sets Syst., vol. 161, no. 20, pp. 2684–2694, 2010.
- [156] M.H. Shu and H. C. Wu, "Monitoring imprecise fraction of nonconforming items using p control charts", J. Appl. Stat., vol. 37, no. 8, pp. 1283–1297, 2010.
- [157] S. Senturk, N. Erginel, I. Kaya and C. Kahraman, "Design of Fuzzy (u) overtilde Control Charts", J. Mult. Log. Soft Comput., vol. 17, pp. 459–473, 2011.
- [158] S. Sentürk, "Fuzzy regression control chart based on α -cut approximation", Int. J. Comput. Intell. Syst., vol. 3, no. 1, pp. 123–140, 2010.
- [159] M.H. Shu and H. C. Wu, "Fuzzy $\bar{X}$ and R control charts: Fuzzy dominance approach", Comput. Ind. Eng., vol. 61, no. 3, pp. 676–685, 2011.
- [160] H.M. Alizadeh and S. M. T. F. Ghomi, "Fuzzy development of Mean and Range control charts using statistical properties of different representative values", J. Intell. Fuzzy Syst., vol. 22, no. 5–6, pp. 253–265, 2011.
- [161] N. Erginel, S. Sentürk, C. Kahraman and I. Kaya, "Evaluating the packing process in food industry using fuzzy and [stilde] control charts", Int. J. Comput. Intell. Syst., vol. 4, no. 4, pp. 509–520, 2011.
- [162] T.T. Huang, L.H. Chen, Y.W. Wang and Y.S. Su, "Design of fuzzy quality control charts for attributes based on triangular fuzzy numbers", in Proceedings -

- 2012 6th International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, Kitakyushu, 2012, pp. 449–452.
- [163] Nguyen, T.L., Shu, M.H., Huang, Y.F. ve Hsu, B.M., (2013). "Fuzzy $\bar{x}$ and s Charts: Left & Right Dominance Approach", In: Advanced Methods for Computational Collective Intelligence, Nguyen, N.T., Trawinski, B., Katarzyniak, R., ve Jo, G.S. (eds), Studies in Computational Intelligence, Springer, 457: 355-366.
- [164] L.H. Chen and H.W. Lu, "An Approximate Approach for Ranking Fuzzy Number Based on Left and Right Dominance", *Comput. Math. with Appl.*, vol. 41, pp. 1589–1602, 2001.
- [165] S.S.A. Pandian and P. Puthiyanayagam, "Triangular fuzzy multinomial control chart with variable sample size using α -cuts", *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 03, pp. 699–707, 2013.
- [166] A. Pandurangan and R. Varadharajan, "Fuzzy Multinomial Control Chart with Variable Sample Size", *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 9, pp. 6984–6991, 2011.
- [167] D. Wang, "A soft control chart based on weighted measurement of fuzzy data", in Proceedings - 2013 10th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Shenyang, 2013, pp. 299–303.
- [168] M. Khademi and V. Amirzadeh, "Fuzzy rules for fuzzy $\bar{x}$ and r control charts", *Iran. J. Fuzzy Syst.*, vol. 11, no. 5, pp. 55–66, 2014.
- [169] H. Alipour and R. Noorossana, "Fuzzy multivariate exponentially weighted moving average control chart", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 48, no. 9, pp. 1001–1007, 2010.
- [170] S.M. Zabihinpour, M.K.A. Ariffin, S.H. Tang, A.S. Azfanizam and O. Boyer, "Fuzzy mean and range control charts for monitoring fuzzy quality characteristics: A case study in food industries using chicken nugget", in IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014, vol. 2015-Janua, pp. 759–763.
- [171] A. Saravanan and V. Alamelumangai, "Performance of Attribute Charts and Fuzzy Control Chart for Variable Data", *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 3, no. 5, pp. 9758–9766, 2014.

- [172] F. Sogandi, S.M. Mousavi, and R. Ghanaatiyan, "An Extension of Fuzzy P-Control Chart Based on α -Level Fuzzy Midrange", *Adv. Comput. Tech. Electromagn.*, vol. 2014, pp. 1–8, 2015.
- [173] N. Erginel, "Fuzzy rule-based p and np control charts", *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 27, no. 1, pp. 159–171, 2014.
- [174] D. Wang, P. Li, and M. Yasuda, "Construction of fuzzy control charts based on weighted possibilistic mean", *Commun. Stat. - Theory Methods*, vol. 43, no. 15, pp. 3186–3207, 2014.
- [175] M.H. Shu, C.C. Chiu, T.L. Nguyen, B.M. Hsu, W.I. Hsiao and T.H. Lam, "Monitoring Welding Discontinuities with Fuzzy Control Chart", *Adv. Mater. Res.*, vol. 893, pp. 630–633, 2014.
- [176] S. A. Darestani, A. M. Tadi, S. Taheri and M. Raeiszadeh, "Development of fuzzy U control chart for monitoring defects", *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 31, no. 7, pp. 811–821, 2014.
- [177] A. Aslangiray, K. Grafikleri and K. Grafikleri, "Bulanık kontrol grafikleri: Tekstil firmasında bir uygulama", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Derg.*, vol. 43, no. 1, pp. 70–89, 2014.
- [178] S. Şentürk, N. Erginel, I. Kaya and C. Kahraman, "Fuzzy exponentially weighted moving average control chart for univariate data with a real case application", *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 22, pp. 1–10, 2014.
- [179] K.M.J. Rashid and S.S. Haydar, "Use Fuzzy Midrange Transformation Method to Construction Fuzzy Control Charts limits", *Int. J. Sci. Stat. Comput.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, 2015.
- [180] S. Mojtaba Zabihinpour, M.K.A. Ariffin, S.H. Tang and A.S. Azfanizam, "Construction of fuzzy X-S control charts with an unbiased estimation of standard deviation for a triangular fuzzy random variable", *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 28, no. 6, pp. 2735–2747, 2015.
- [181] B.S. Gildeh and N. Shafiee, "X-MR control chart for autocorrelated fuzzy data using D p,q-distance", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 81, no. 5–8, pp. 1047–1054, 2015.

- [182] M.H. Shu, J.Y. Kung and B.M. Hsu, "Demerit-Fuzzy Rating Mechanism and Monitoring Chart", *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Syst.*, vol. 23, no. 03, pp. 399–420, 2015.
- [183] D. Wang and O. Hryniewicz, "A fuzzy nonparametric Shewhart chart based on the bootstrap approach", *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 389–401, 2015.
- [184] M. Gülbay and C. Kahraman, "Intelligent process control using control charts—I: Control charts for variables", in *Intelligent Systems Reference Library*, vol. 97, C. Kahraman and S. Yanık, Eds. 2016, pp. 23–70.
- [185] C. Kahraman, M. Gülbay and E. Boltürk, "Fuzzy Shewhart Control Charts", in *Fuzzy Statistical Decision-Making*, vol. 343, C. Kahraman and Ö. Kabak, Eds. Springer, 2016, pp. 263–280.
- [186] S.A. Darestani and M. Nasiri, "Fuzzy X-S Control Chart and Process Capability Indices in Normal Data Environment", *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 33, no. 1, pp. 2–24, 2016.
- [187] A. Moraditadi and S. Avakhdarestani, "Development of fuzzy individual x and moving range control chart", *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 17, no. 1, p. 82–103, 2016.
- [188] S. Yanık, C. Kahraman and H. Yılmaz, "Intelligent Process Control Using Control Charts—II: Control Charts for Attributes", in *Intelligent Decision Making in Quality Management*, vol. 97, C. Kahraman and S. Yanık, Eds. 2016, pp. 71–100.
- [189] N. Erginel and S. Şentürk, "Fuzzy EWMA and Fuzzy CUSUM Control Charts", in *Fuzzy Statistical Decision-Making*, vol. 343, C. Kahraman and Ö. Kabak, Eds. Springer, 2016, pp. 281–295.
- [190] S. Hou, H. Wang and S. Feng, "Attribute control chart construction based on fuzzy score number", *Symmetry (Basel)*, vol. 8, no. 139, pp. 1–13, 2016.
- [191] M. Shu, D. Dang, T. Nguyen, B. Hsu and N. Phan, "Fuzzy x and s Control Charts: A Data-Adaptability and Human-Acceptance Approach", *Hindawi Complex.*, vol. 2017, no. 4376809, pp. 1–17, 2017.
- [192] V.F. Yu and L. Q. Dat, "An improved ranking method for fuzzy numbers with integral values", *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 14, pp. 603–608, 2014.

- [193] İ. Kaya, M. Erdoğan and C. Yıldız, "Analysis and control of variability by using fuzzy individual control charts", *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 51, pp. 370–381, 2017.
- [194] M.H. Madadi and M. Mahmoudzadeh, "A fuzzy development for attribute control chart with Monte Carlo simulation method", *Manag. Sci. Lett.*, vol. 7, pp. 555–564, 2017.
- [195] E. Sakthivel, K.K. Senthamara and M. Logaraj, "Application of Fuzzy Logic Approach in Statistical Control Charts", *Glob. Stoch. Anal.*, vol. 4, no. 1, pp. 139–147, 2017.
- [196] S. Şentürk, "Construction of Fuzzy C Control Charts Based on Fuzzy Rule Method", *Anadolu Univ. J. Sci. Technol. A- Appl. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 563–572, 2017.
- [197] S. Şentürk and J. Antucheviciene, "Interval Type-2 Fuzzy c-Control Charts: An Application in a Food Company", *Informatica*, vol. 28, no. 2, pp. 269–283, 2017.
- [198] A. Shabani, S. Nadarajah and M. Alizadeh, "The (α, β) -cut control charts for process average based on the generalised intuitionistic fuzzy number", *Int. J. Syst. Sci.*, vol. 49, no. 2, pp. 392–406, 2018.
- [199] N. Erginel, S. Şentürk and G. Yıldız, "Modeling attribute control charts by interval type-2 fuzzy sets", *Soft Comput.*, vol. 22, no. 15, pp. 5033–5041, 2018.
- [200] H.E. Teksen and A.S. Anagün, "Interval type-2 fuzzy c-control charts using likelihood and reduction methods", *Soft Comput.*, vol. 22, no. 15, pp. 4921–4934, 2018.
- [201] S. Fadaei and A. Pooya, "Fuzzy U control chart based on fuzzy rules and evaluating its performance using fuzzy OC curve", *TQM J.*, vol. 30, no. 3, pp. 232–247, 2018.
- [202] Elektrik Rehberiniz, "Kompanzasyon Nedir", <http://www.elektrikrehberiniz.com/kompanzasyon/kompanzasyon-nedir1032/>. [Accessed: 27-Nov-2018].
- [203] Perpa Otomasyon, Soket Tipi 90 °C Erkek 3 Pin 3.81mm Baskı Devre Klemensi, <https://www.perpaotomasyon.com/soket-tipi-90-c-erkek-3-pin-3-81mm-baski-devre-klemensi>. [Accessed: 27-Nov-2018].

- [204] Perpa Otomasyon, Kablo Birleřtirici Dişi 3 Lü Klemens 3.81mm, <https://www.perpaotomasyon.com/kablo-birlestirici-disi-3-lu-klemens-3-81mm>. [Accessed: 27-Nov-2018].
- [205] Oniks Elektronik, http://www.onikssatis.com/urun_detay.asp?id=760&adi=5.08-180%60-12-li-erkek-gecmeli-klemens-50adet. [Accessed: 27-Nov-2018].



İletişim Bilgisi: turgutata.110@gmail.com

Uluslararası Bildiriler

- 1 İ. Kaya and A. Turgut, "Tip-2 Bulanık Kümelerle Nicel Kontrol Diyagramlarının Geliştirilmesi ve Bir Uygulama," in *4th International Scientific Research Congress (UBAK)*, 2019, pp. 134-135.

