

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

İSTATİSTİKSEL VE BULANIK NİCEL KALİTE
KONTROL GRAFİKLERİNİN SİMÜLASYON
VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELTEM ÇELİK

HAZİRAN 2018

MUĞLA

**T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

**İSTATİSTİKSEL VE BULANIK NİCEL KALİTE
KONTROL GRAFİKLERİNİN SİMÜLASYON
VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELTEM ÇELİK

HAZİRAN 2018

MUĞLA

MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

MELTEM ÇELİK tarafından hazırlanan **İSTATİSTİKSEL ve BULANIK NİCEL KALİTE KONTROL GRAFİKLERİNİN SİMÜLASYON VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI** başlıklı tezin, 20 / 06 / 2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İstatistik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Doç. Dr. Fatih ÇEMREK (Jüri Başkanı)

İstatistik Ana Bilim Dalı,
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

Dr. Öğr. Üyesi Aytaç PEKMEZCİ (Danışman)

İstatistik Ana Bilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Dr. Öğr. Üyesi Nevin GÜLER DİNCER (Üye)

İstatistik Ana Bilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Dursun AYDIN

İstatistik Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Dr. Öğr. Üyesi Aytaç PEKMEZCİ

Danışman, İstatistik Ana Bilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Savunma Tarihi: 20 / 06 / 2018

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Meltem ÇELİK

16 / 07 / 2018

Meltem Çelik

ÖZET

İSTATİSTİKSEL VE BULANIK NİCEL KALİTE KONTROL GRAFİKLERİNİN SİMÜLASYON VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Meltem ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aytaç PEKMEZCİ

Haziran 2018, 131 sayfa

İstatistiksel kalite kontrol (İKK), bir süreçten elde edilen hizmet veya ürünlerin standartlara, müşteri beklentilerine ve spesifikasyonlara uygun olup olmadığını denetleyen istatistiksel yöntemler topluluğudur. En iyi bilinen İKK yöntemi kalite kontrol grafikleridir (KKG). KKG'leri bir ürüne ilişkin kalite karakteristiğinin (ortalama, standart sapma vs) kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalıp kalmadığını kontrol eden ve bu sınırları aşması durumunda uyarı veren grafiksel bir yöntemdir. KKG'ler nicel ve nitel olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Bu iki kategori arasındaki temel fark, nicel KKG'leri ürünün ortalama, standart sapma ve aralık gibi ölçülebilir özelliklerini dikkate alırken, nitel KKG'leri ölçülemeyen özelliklerini dikkate almasıdır. Her iki kategori içinde temel istatistiksel varsayım, süreçten elde edilen örneklerin normal dağılıma uymasındır. Ancak gerçek uygulamalarda, örneklerin bu varsayımı sağlaması oldukça güçtür. Bunun dışında, bu grafiklerin kullanılabilir olması için örneklerdeki gözlemler kesin olmak zorundadır. İstatistiksel KKG'lerin bu tür dezavantajlarını ortadan kaldırmak için son zamanlarda bulanık KKG'ler kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık KKG'ler belirsiz ve eksik veriyi ele alabilme yeteneğine sahip bulanık küme teorisine dayanır. Bulanık KKG'lerde temel mantık, kontrol limitlerinin bulanık sayı olarak elde edilmesine izin vermesidir. Bulanık KKG'ler şu ana kadar birçok çalışmada kullanılmıştır. Ancak istatistiksel ve bulanık KKG'lerin performanslarını simülasyon çalışması yoluyla karşılaştıran bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, nicel istatistiksel ve bulanık KKG'lerin performanslarının simülasyon çalışması yoluyla karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaca yönelik olarak, sürecin kontrol altında ve kontrol dışı olduğu durumları dikkate alan iki farklı simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, nicel bulanık KKG'lerin en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Kalite Kontrol Grafikleri, İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri, Bulanık Mantık, Simülasyon

ABSTRACT

COMPARISON OF STATISTICAL AND FUZZY QUANTITATIVE QUALITY CONTROL USING WITH SIMULATION DATA

Meltem ÇELİK

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Statistic

Supervisor: Assist. Prof. Aytaç PEKMEZCİ

June 2018, 131 pages

Statistical Quality Control (SQC) is a collection of statistical methods that check whether a product and service obtained from a process is conformed with standards, customer's expectations and specifications. The most known SQC method is quality control charts (QCC). QCCs is a graphical method which check whether quality characteristics of a product (mean, standard deviation etc.) are between admissible limits and give a warning in case that they exceed these limits. QCCs are divided into two categories as quantitative and qualitative. The main difference of these two categories is that quantitative QCCs consider measurable properties of the product such as mean, standard deviation, range etc. while qualitative QCCs consider unmeasurable properties. The fundamental statistical assumption for both two categories is that samples obtained from process follow normal distribution. But, it is very difficult that the samples satisfy this assumption in real time applications. Besides, the observations in the samples must be certain in order for these graphics to be practicable. In order to overcome these disadvantages of statistical QCCs, fuzzy QCCs are begun to use recently. Fuzzy QCCs are based on fuzzy set theory which is able to deal with uncertainty and incomplete data. The fundamental logic of fuzzy QCC is to allow obtaining the control limits as fuzzy number. So far, fuzzy QCCs have been used in many studies. But, there is no study that compares the performance of statistical and fuzzy QCCs via simulation study. This study aims to compare the performance of quantitative statistical and fuzzy QCCs via simulation. For this aim, two different simulation considered the cases which process is under control and out of control are carried out. At the result of analyses, it is observed that quantitative fuzzy QCCs provide the best performance.

Key Words: Fuzzy Quality Control Graphs, Statistical Quality Control Graphs, Fuzzy Logic, Simulation



Biricik Melek Anneme...

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı yaparken bana rehber olan ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Aytaç PEKMEZCİ'ye, üzerimde emeği çok büyük olan her durumda beni rahatlatıp destekleyen sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Nevin GÜLER DİNÇER'e, düşünce ve önerileri ile yön gösteren hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARAHASAN ve Doç. Dr. Eralp DOĞU'ya çok teşekkür ederim.

Yine bu süreç boyunca maddi manevi desteklerinden dolayı başta ailem olmak üzere yanımda olan değerli arkadaşlarım Sümeyra Gökçen, İmren Saygır Yılmaz ve Sinem Aray'a sonsuz teşekkürler.



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
3. KALİTE VE KALİTE KONTROL.....	9
3.1. Kalitenin Tanımı	9
3.2. Kalitenin Tarihsel Gelişimi	10
3.3. Kalitenin Amacı	11
3.4. Kalitenin Boyutları	12
3.5. Kalitenin Çeşitleri	14
3.6. Kalite Kontrol.....	15
3.7. Kalitenin Kontrolün Amacı	16
3.8. Kalite Kontrolü Etkileyen Faktörler.....	18
3.9. Kalite Kontrol Alanında Çalışan Önemli Bilim Adamları.....	19
4. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL(İKK).....	21
4.1. Temel Kavramlar.....	22
4.2. İKK Yöntemleri.....	22
4.2.1. Çetele diyagramı	22
4.2.2. Histogram	23
4.2.3. Pareto analizi	23
4.2.4. Neden-sonuç diyagramı	23
4.2.5. Hata yoğunluk diyagramı	24
4.2.6. Dağılıma diyagramı	24
4.2.7. Kontrol grafikleri	25
4.3. İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri.....	26
4.3.1. Değişkenler için (nicel) kontrol grafikleri.....	28
4.3.1.1. Ortalama ve genişlik ($\bar{x} - R$) kontrol grafiği	29
4.3.1.2. Ortalama ve standart sapma ($\bar{x} - s$) kontrol grafiği	29

5. BULANIK MANTIK VE BULANIK KALİTE KONTROL	31
5.1. Bulanık Mantık Kavramı ve Tanımı	31
5.2. Bulanık Mantığın Tarihsel Gelişimi.....	33
5.3. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları	34
5.4. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları.....	36
5.5. Klasik ve Bulanık Küme Kavramı.....	37
5.6. Bulanık Küme Özellikleri	41
5.6.1. Destek kümesi	41
5.6.2. Kernel kümesi	41
5.6.3. Sınır kümesi	41
5.6.4. α -Kesim kümesi	42
5.6.5. Dışbükeylik(Konvekslik)	43
5.6.6. Yükseklik	43
5.6.7. Normallik	44
5.7. Bulanık Küme İşlemleri	44
5.7.1. Boş küme.....	44
5.7.2. Eşitlik	45
5.7.3. Kapsama.....	45
5.7.4. Birleşme	45
5.7.5. Kesişme	46
5.7.6. Tümleme	47
5.7.7. Cebirsel toplam	47
5.7.8. Cebirsel fark	47
5.7.9. Cebirsel çarpım	48
5.7.10.Cebirsel kuvvet	48
5.8.Üyelik Fonksiyonu Kavramı ve Çeşitleri	48
5.8.1. Üçgen üyelik fonksiyonu	49
5.8.2. Yamuk üyelik fonksiyonu	50
5.8.3. Gaussian üyelik fonksiyonu	51
5.8.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu	52
5.8.5. S üyelik fonksiyonu.....	52
5.8.6. Sigmoidal üyelik fonksiyonu	53
5.9. Bulanık Sayılar	54
5.9.1. Üçgensel bulanık sayılar	54
5.9.2. Yamuksal bulanık sayılar	54

5.10. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler.....	55
5.10.1. Toplama işlemi	55
5.10.2. Çıkarma işlemi.....	55
5.10.3. Çarpma işlemi.....	56
5.10.4. Bölme işlemi.....	56
6. BULANIK KALİTE KONTROL	58
6.1. Bulanık Kalite Kontrol Grafikleri	59
6.2. Bulanık Temsilci Değerleri	60
6.2.1. Bulanık mod(tepe değeri) yaklaşımı.....	60
6.2.2. α - Seviyesinde bulanık orta aralık yaklaşımı	62
6.2.3. α - Seviyesinde bulanık medyan yaklaşımı	63
6.3. Bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ ve $\tilde{X} - \tilde{s}$ Kontrol Grafikleri.....	63
6.3.1. Üçgen bulanık sayılar için bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ kontrol grafiği.....	64
6.3.2. Yamuk bulanık sayılar için bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ kontrol grafiği.....	65
6.3.3. Üçgen bulanık sayılar için bulanık $\tilde{X} - \tilde{s}$ kontrol grafiği.....	67
6.3.4. Yamuk bulanık sayılar için bulanık $\tilde{X} - \tilde{s}$ kontrol grafiği	68
7. UYGULAMA	69
7.1. Sürecin Kontrol Altı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Nicel Kalite Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması	71
7.2. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması	78
7.3. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması.....	93
7.4. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması	108
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	127
EKLER	130
Ek.1. Kalite Kontrol Sınırlarının Hesaplanması için Çarpan Katsayıları.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatür Araştırması.....	3
Çizelge 4.1. $\bar{x} - R$ Kontrol Kartı Hesaplama Denklemleri.....	29
Çizelge 4.2. $\bar{x} - s$ Kontrol Kartı Hesaplama Denklemleri.....	30
Çizelge 7.1. Örneklerin Bulanıklaştırılması.....	71
Çizelge 7.2. İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri.....	72
Çizelge 7.3. İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri.....	73
Çizelge 7.4. İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri.....	74
Çizelge 7.5. İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -s Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri.....	76
Çizelge 7.6. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	78
Çizelge 7.7. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	82
Çizelge 7.8. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	85
Çizelge 7.9. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} S Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	89
Çizelge 7.10. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	93
Çizelge 7.11. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	97
Çizelge 7.12. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	100
Çizelge 7.13. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık $\bar{X} - s$ Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	104
Çizelge 7.14. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	108
Çizelge 7.15. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumlarda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	112
Çizelge 7.16. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri.....	115

Çizelge 7.17. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri	119
Çizelge 8.1. Sürecin Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık ARL Değerleri Arasındaki Farkların Ortalaması.....	124



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Kalitenin Boyutları.....	12
Şekil 3.2. Kalite Kontrol Sistemi	16
Şekil 3.3. Ürünün Kalite Kontrol Aşamaları ve Amacı	17
Şekil 3.4. Kalite Kontrolü Etkileyen Faktörler	18
Şekil 4.1. İ.K.K Yöntemi	21
Şekil 4.2. Dağılma Diyagramları Çeşitleri.....	24
Şekil 4.3. Kontrol Grafiği ve Noktaların Dağılma Yüzdeleri	26
Şekil 4.4. İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri	26
Şekil 4.5. Kontrol Grafiklerinin Kullanım şekli	28
Şekil 5.1. Klasik ve Bulanık Mantık Kavramı	32
Şekil 5.2. Klasik Küme ve Bulanık Küme Gösterimi	39
Şekil 5.3. Klasik Memnuniyet Kümesinin Gösterimi	40
Şekil 5.4. Bulanık Memnuniyet Kümesinin Gösterimi.....	40
Şekil 5.5. Bulanık \tilde{A} Kümesine Ait α -Kesim Düzeyi	42
Şekil 5.6. (a):Dış bükey(konveks) olan bulanık bir küme, (b): Dışbükey(konveks) olmayan bulanık bir küme	43
Şekil 5.7. (a):Normal bulanık küme, (b):Normalaltı (subnormal) bulanık küme	44
Şekil 5.8. Bulanık Kümelerde Kapsama	45
Şekil 5.9. \tilde{A} ve \tilde{B} Bulanık Kümelerine Ait Birleşim Kümesi	46
Şekil 5.10. \tilde{A} ve \tilde{B} Bulanık Kümelerine Ait Kesişim Kümesi	46
Şekil 5.11. \tilde{A} Bulanık Kümesinin Tümleyeni	47
Şekil 5.12. (a): Üyelik Fonksiyon Grafiği (b): Üyelik Fonksiyon Grafiğinin Kısımları	49
Şekil 5.13. Üçgen Üyelik Fonksiyonu	50
Şekil 5.14. Doğrusal Olmayan Üçgen Üyelik Fonksiyonu	50
Şekil 5.15. Yamuk Üyelik Fonksiyonu	51
Şekil 5.16. Gaussian Üyelik Fonksiyonu	51
Şekil 5.17. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu.....	52
Şekil 5.18. S Üyelik fonksiyonu	53
Şekil 5.19. Sigmodial Üyelik Fonksiyonu	53
Şekil 6.1. Bir Örneğin Yamuk Bulanık Sayılarla Temsil Edilmesi	65

Şekil 7.1. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin Ortalama ARL Değerleri	80
Şekil 7.2. Sürecin Varyansının Kontrol Dışında Yamuk Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin Ortalama ARL Değerleri.....	81
Şekil 7.3. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	83
Şekil 7.4. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	84
Şekil 7.5. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	87
Şekil 7.6. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	88
Şekil 7.7. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri.....	91
Şekil 7.8. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	92
Şekil 7.9. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	95
Şekil 7.10. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	96
Şekil 7.11. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	98
Şekil 7.12. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	99
Şekil 7.13. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri.....	102
Şekil 7.14. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	103
Şekil 7.15. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda $\bar{X} - s$ Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri.....	106
Şekil 7.16. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	107
Şekil 7.17. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	110
Şekil 7.18. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	111

Şekil 7.19. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	113
Şekil 7.20. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	114
Şekil 7.21. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	117
Şekil 7.22. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	118
Şekil 7.23. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	121
Şekil 7.24. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri	122

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E	: Uzay kümesi (kesin küme)
M	: Örnek Sayıları
n	: Örnek Büyüklüğü
R	: Değişim aralığı
\bar{R}	: Değişim aralıklarının ortalaması
\tilde{R}	: Değişim aralıklarının bulanık ortalaması
s	: Standart sapma
\bar{s}	: Standart sapma ortalaması
μ	: Anakitle için aritmetik ortalama
\bar{X}	: Kitleden alınan örnek için aritmetik ortalama
$\bar{\bar{X}}$: Ana kitle aritmetik ortalamasının ortalaması
σ	: Ana kitle için standart sapma
σ^2	: Ana kitle için varyans
X_i	: Normal dağılışa ait sürekli şans değişkeni
Z_i	: Standart normal dağılışa ait sürekli şans değişkeni
\tilde{A}	: Bulanık küme
x	: Uzay kümesinin kesin küme elemanları
$\mu_{\tilde{A}}(x)$: x kesin sayılarının A bulanık kümesindeki üyelik dereceleri
$\bar{\tilde{A}}$: \tilde{A} kümesinin tümleyeni
AKL	: Alt Kontrol Limiti
ARL	: Ortalama koşum uzunluğu
HTEA	: Hata Türü ve Etkiler Analizi
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
İKK	: İstatistiksel Kalite Kontrol
KFG	: Kalite Fonksiyon Göçerimi
MÇ	: Merkez Çizgi
RL	: Koşum uzunluğu
ÜBS	: Üçgen Bulanık Sayı
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti

1. GİRİŞ

Giderek gelişen dünyamızda teknoloji ile birlikte tüketicinin karşısında geniş bir ürün yelpazesi oluşmaktadır. Zaman zaman tüketicilerin kullandıkları ürünlerin sağlamlığı veya ürünlerde sunulan verimin yitirilmesi söz konusu olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda az maliyetle yüksek verim alma fikri zamanla kalite kavramının ortaya çıkmasında etkili olmuştur.

Üretici firmaların artan rekabet ortamı ile tüketicilerin talep ve ihtiyaçlarına yanıt verebilecek düzeyde üretim yapmaları gerekmektedir. Ancak tüketicilerin artan eğitim düzeyleri ve yükselen yaşam standartları, üretilen ürünlerden beklentileri en üst seviyelere çıkarmaktadır. Bu nedenle üretici firmalar ürünlerin yapımından tüketiciye ulaşana kadar, hatta sonrasında ürünlerin kullanım süreleri ve verdiği hizmet aşamaları ile ilgilenmektedir. Bu aşamalarda problemlerle karşılaşıldığı takdirde çözülmesi için yapılması gereken işlemler, kalite kontrol sürecinin incelenmesi, kalite seviyelerinin ve değişim aralıklarının belirlenebilmesi için kullanılan istatistiksel kalite kontrol (İKK) yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden özellikle kalite kontrol grafikleri sıklıkla kullanılan bir yöntem olup, sürecin genel yapısını kolaylıkla gösterir. Kontrol grafikleri ile üretim süresinde oluşabilecek hataların giderilmesi kontrol limitleri yardımı ile belirlenir. Kontrol limitleri, ürün kalitesinin ortalama etrafındaki değişimlerini göstermek için kullanılır. Grafik üzerindeki bütün noktalar kontrol limitleri arasında ise süreç istatistiksel açıdan kontrol altında olup istenilen kalite sürecine uyum sağladığını belirtmektedir. Fakat grafik üzerindeki bir veya birden fazla nokta kontrol limitleri dışında ise süreç istatistiksel olarak kontrol altında değildir. Bu durumda süreci kontrol altına almak için çeşitli önlemler alınmalıdır.

Kontrol grafikleri niceliksel ve niteliksel kontrol grafikleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çalışmamızda ölçülebilen veriler mevcut olacağı için niceliksel kontrol grafikleri dikkate alınacaktır. Nicel kalite kontrol grafiklerinde normallik, sabit varyanslılık, korelasyon ve bağımsızlık gibi varsayımlar bazı durumlarda

sağlanamamakta veya yetersiz kalmaktadır. Ayrıca kontrol grafiğinde yer alan veriler, alt kontrol limitinin bir birim üstünde veya üst kontrol limitinin bir birim altında olduğunda sürecin kontrol altında olduğu kabul edilmektedir. Ancak alt kontrol limitinin bir birim atında veya üst kontrol limitinin bir birim üstünde olduğunda ise sürecin kontrol dışı olduğuna dair hata vermektedir. Bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek amacı ile bulanık mantığa dayalı yöntemler geliştirilmiştir. İstatistiksel kalite kontrol grafiklerinin yetersiz kaldığı bu belirsizlik durumlarında, bulanık kalite kontrol grafikleri ile gerekli düzenlemeleri yaparak süreci kontrol altına almayı amaçlanmaktadır.

Tezin ilk bölümünde kalite ve kalite kontrol, ikinci bölümünde istatistiksel kalite kontrol, üçüncü bölümde bulanık mantık ve bulanık kalite, dördüncü bölümde bulanık kalite kontrol, beşinci bölümde ise uygulama mevcuttur. Uygulama kısmında simülasyon yardımı ile üretilen verilerin istatistiksel ve bulanık kalite kontrol grafiklerindeki performanslarının karşılaştırılması incelenecektir.

2. LİTERATÜR

Çizelge 2.1. Literatür Araştırması

$\bar{X} - s$	Jyh-Hone Wang and Tzvi Raz (1990)	Bu çalışmada, kontrol grafiklerinin kullanımını dilsel değişkenlere dönüştürmek için kontrol limitlerinin oluşturulması ve bu limitlerin belirlenmesine yönelik çeşitli yollar denenmiştir.
$\bar{X} - s$	A.K Anagava, F.Tamaki and H. Ohta (1993)	Bu çalışmada, dilsel değişkenler için Wang ve Raz'dan farklı bir bakış açısı olarak, yalnızca süreç ortalamasını kontrol etmekle kalmayıp, süreç değişkenliğini kontrol etmek için de kontrol grafiklerini önermişlerdir.
$\bar{X} - R$	Fiorenzo Francezchine and Daniele Romano (1999)	Bu çalışmada, dilsel değişkenler için kontrol grafikleri kullanılarak, bir ürünün veya hizmetin nitel özelliklerini kontrol etmeye yönelik yöntem önerilmiştir.
$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Mahmude Revan Özkale (2004)	Bu çalışmada kalite kontrol kavramı, tek ve çok değişkenli kalite kontrol grafikleri olarak ele alınmıştır. Çok değişkenli kalite kontrolde kullanılan tekniklerden birisi olan "Mason-Young-Tracy" ayrışımı bir uygulama üzerinde gösterilmiştir.
$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Aytaç Pekmezci (2005)	Bu çalışmada, istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden kontrol grafikleri ele alınmıştır. Muğla ilindeki zeytinyağı fabrikasından alınan verilere "Shewhart" kontrol grafikleri uygulanmış ve sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 2.1. (devam)

$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Esra Aytaç (2006)	Bu çalışmada, istatistiksel süreç kontrolü, istatistiksel kalite kontrol teknikleri, kontrol grafiklerinin kullanımı ve bulanık kalite kontrol grafikleri incelenmiştir. Uygulamada ise Denizli’de faaliyet gösteren bir işletmeden alınan verilere klasik ve bulanık kalite kontrol grafikleri uygulanmış ve sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenmiştir.
$\bar{X} - R$	İbrahim Halil Özdamar (2006)	Bu çalışmada, üretim esnasında daha kusursuz ürünlere ulaşabilmek için kalite kontrol yöntemleri ele alınmıştır. Hızlı gelişmelere uyum sağlayabilmek için klasik kalite kontrol grafikleri yerine, bulanık mantık modeli kullanılarak dilsel değişkenler ile bulanık kalite kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Bulanık kalite kontrol grafikleri ile daha hızlı ve duyarlı ölçümler yapılarak doğru bilgiler verildiğine karar verilmiştir.
$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Ahmet Öztürk (2007)	Bu çalışmada, ülkeler arasında giderek artan rekabet savaşının arkasında kalite yönetimi ile kalite güvencesinin olduğu, kalite kavramını bilen toplum ve ülkelerin savaşın galibi olacağı savunulurken kalite bilincinin her sektör tarafından uygulanmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Kalite uygulaması kontrol grafikleri ve kabul örnekleme şeklinde yapılmıştır.

Çizelge 2.1. (devam)

$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	İnci Dengizler Kayaalp (2007)	Bu çalışmada, istatistiksel kalite kontrol yöntemleri kalitenin iyileştirilmesi sürecinde üç farklı aşamada araştırılmıştır. Kalite sürecini kontrol edebilmek amacı ile malzeme kalitesinin kontrol edilmesinde, kabul örnekleme üretiminde istatistiksel süreç kontrol yöntemleri ve biten ürünlerin kontrolünde ise kontrol örnekleme yapılarak süreçleri iyileştirme yoluna gidilmiştir. Bu yöntemler ile öncelik verilmesi gereken konular belirlenip hataların giderilmesi kolaylıkla sağlanmıştır.
$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Sevil Şentürk ve Nihal Erginel (2009)	Bu çalışmada, bulanık küme teorisinin geleneksel değişken kontrol çizelgelerinde geçerli olduğu gösterilmiştir. Ayrıca klasik $\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - s$ kontrol grafiklerine, α -seviyeli bulanık orta dereceli dönüşüm teknikleri uygulanmıştır.
$\bar{X} - R$	Kudrat Demirli, Suji Kumar and Vijay Kumar(2010)	Bu çalışmada, \bar{X} grafiğinde sergilenen doğal olmayan kalıplar için geliştirilen bulanık çıkarım motoru ile analiz edilmesi araştırılmıştır.
$\bar{X} - s$	Alireza Faraz and Arnold F. Shapiro. (2010)	Bu çalışmada, üyelik fonksiyonu altındaki alan, bulanıklığın uygun bir önlemi olarak kabul edilmiştir. Bulanık süreç kontrolü için bulanık kümelerle süreçleri izleyen, yeni bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yaklaşım bulanık kontrol bölgesini oluşturmakta ve üyelik derecesi ile sürecin denetim dışı kalma durumuna ne derecede bağlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. (devam)

$\bar{X} - R$	Ming-Hung Shu and Hsien- Chung Wu (2011)	Bu çalışmada bulanık ortalamalar ve varyanslar, bulanık kalite kontrol limitleri ile karşılaştırılmıştır. Karar vericilerin verdiği kararların daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Pandurajan and R. Varadharajan (2011)	Bu çalışmada bulanık küme teorisinin, değişken kontrol çizelgesindeki sinyalleri ayırt etmeye uygun olduğu gösterilmektedir. Bunun nedeni ise bulanık küme teorisinin kontrol limitlerine bir miktar esneklik kazandırmasından kaynaklanmaktadır. Üretim sürecindeki uygulamaları açıklamak için α -seviyeli bulanık ara değişim teknikleri kullanılmıştır.
$\bar{X} - s$	Nihal Erginel, Sevil Şentürk, Cengiz Kahraman ve İhsan Kaya (2011)	Bu çalışmada, bulanık \bar{X} ve s kontrol grafiklerini elde etmek için bulanık standart sapma hesaplanmıştır. Bulanık kontrol grafikleri, parametrelerin bilinmesi durumunda gıda endüstrisinde süreçlerin kontrol altında olup olmadığını izlemek için kullanılmıştır. Bu çalışmanın iki sonucu vardır. 1. Bulanık standart sapmayı hesaplamak için yeni bir yol önerilmiştir. Ayrıca, bulanık \bar{X} ve s kontrol grafikleri bisküvi paketleme sürecini değerlendirmek üzere gıda endüstrisine uygulanmıştır. 2. Bulanık \bar{X} ve s kontrol grafikleri, popülasyon parametrelerinin (ortalama ve standart sapma) bilinmesi durumu için önerilmiştir.

Çizelge 2.1. (devam)

$\bar{X} - R$	İnci Sariç ve Ömer İmen (2011)	Bu çalışmada, süreçte ortalama veya varyans kaymalarının saptanması için bulanık çıkarım kontrol sistemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansı, klasik kontrol grafikleri ile karşılaştırılmaktadır ve klasik kontrol grafiklerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Önerilen yöntem, bir eğitim sürecine ihtiyaç duymaz ve geçmiş bilgileri yakalar. Bulanık çıkarım sisteminin süreçte ortalama veya varyans kaymalarının saptanmasında uygulanabileceği gösterilmektedir. Bunlara bağlı olarak ortaya çıkan değişkenliği saptamak, nedenlerini araştırmak, ürün kalitesini artırmaya ve maliyetleri azaltmaya yardımcı olduğu belirlenmiştir.
$\bar{X} - R$	M. Moameni A., Saghaei M. and Ghorbani Salanghooch (2012)	Bu çalışmada, ölçüm hatasının $\bar{X} - R$ bulanık kontrol grafiğine etkisi araştırılmıştır. Ortalama değerdeki değişikliklerin tespitinde kontrol tablosunun etkinliği, ortalama çalışma süresi (ARL) kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçümlerin ortalama değerleri farklı olduğunda, varyansın daha küçük olduğu $\bar{X} - R$ bulanık kontrol çizelgesinin daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
$\bar{X} - R$	Osman Taylan and İbrahim A. Darrab (2012)	Bu çalışmada, bulanık mantık ve sinir ağları gibi yapay zekâ yöntemlerinin, kalite kontrol kontrolünde ve iyileştirilmesinde kullanılması önerilmiştir.

Çizelge 2.1. (devam)

$\bar{X} - R$ $\bar{X} - s$	Beran Gülçiçek (2014)	Bu çalışmada, müşterinin kazanılabilmesi için kalite kavramının iyileştirilmesi gerektiğini savunulmuştur. Bu amaçla kaliteyi geliştirme yöntemi metotlarından Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) ve Hata Türü Etkiler Analizi (HTEA) incelenmiştir. Ayrıca KFG sürecindeki belirsizlik ve eksiklikleri çözmek için ise Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi geliştirilmiştir.
$\bar{X} - R$	Melis Çelik (2015)	Bu çalışmada, satışa sunulan yumurtaların kalitesini ölçmek için istatistiksel kalite kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Süreç kontrolünde verilere uygun olan histogram grafiği, gövde-yaprak grafiği, çetele diyagramı, serpilme diyagramı ve kontrol grafikleri çizilerek karşılaştırmalar sonucu hangi yöntemin daha iyi sonuç verdiği analiz edilmiştir.

3. KALİTE VE KALİTE KONTROL

3.1. Kalitenin Tanımı

Kalite teriminin sözlük anlamı bir malın ya da hizmetin iyi veya kötü olma özelliği ya da bir ürünün piyasada olabilecek bütün özellikleri yapısında barındırma durumudur. Kalite terimi çok eski dönemlere dayanmakla birlikte günümüze kadar önemini yitirmeden gelmiş ve geliştirilerek devam etmesi sağlanacak bir kavram olmuştur. Aynı zamanda kalite kavramı, ürün, hizmet gibi gelişmeye açık durumların mevcut halinden daha iyi duruma gelebilmesi için eksikliklerin giderilerek mükemmeliyetçi kavrama ulaşmaya kadar devam edilen iyileştirme biçimidir. Halk dilinde üstünlük veya daha fazla dayanıklılığı ifade eden durumlar kalite kapsamına girmektedir. Buradaki üstünlük bir ürüne veya hizmete yapısal ve estetik anlamda eklenen özellikleri ifade etmektedir.

Genel anlamda baktığımızda kalite kavramı yapı ve özelliklerin dışına taşarak farklı hizmetlere karşılık geldiği varsayılmaktadır. Örneğin; ürün bazında baktığımızda tüketici ihtiyaçları ve beklentileri bilinmeli, uygun tasarımlar güvenli ve sorunsuz bir şekilde yapılmalı, daha sonra tasarımların performanslarının, kullanım sürelerinin ve güvenilirliğinin belgelendirme işlemleri, satış sonrası tüketicilere verilecek olan hizmetin memnuniyet verici şekilde olması kalite kavramının gereklilikleri arasında gösterilmelidir.

Literatürde kalite kavramına yönelik pek çok tanım ve düşünce bulunmaktadır.

*Shewart'a göre malın mükemmelliğidir.

*Feigenbaum'a göre ürünün veya hizmetin bedeli ve belirli müşteri koşuluna uygunluğudur.

*Ishikawa'ya göre en ekonomik, en kullanımlı ve müşteriyi daima tatmin eden ürün üretmek, geliştirmek ve satış sonrası hizmetleri vermektir.

*Juran'a göre kullanıma uygunluktur.

*Taguchi'ye göre ürünün dağıtımından sonra toplumda meydana getirdiği en az zarardır.

*Crosb'e göre ürünün istenenlere uygunluk derecesidir.

*Deming'e göre sürekli iyileştirmenin asla sona ermeyen döngüsüdür.

*Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonuna göre mal ya da hizmetin tüketicilerin isteklerine uygunluk derecesidir.

*ISO'ya göre, ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır.

*Amerikan Kalite Kontrol Derneğine göre, ürün ya da hizmetin belirli bir gereksinimi karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür.

*Japon Sanayi Standartları Komitesine göre ürün veya hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren üretim sistemidir.

*Alman Kalite Derneğine göre verilen istekleri karşılayan ürün veya hizmetlerin bütün karakteristikleridir.

3.2. Kalitenin Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlunun yaşam tarihine baktığımızda hep daha iyiye, daha güzele, daha yararlı olan durumlara yönelme mevcuttur. Bu durum kalite kavramının çok eski dönemlere dayandığını göstermektedir. Kalite kavramı geçmiş dönemlerden günümüze kadar önemini yitirmeden gelmiş ve geliştirilerek devam etmesi sağlanacak bir olgudur. Bir çeşit kıyaslama yöntemi ile ürünün geçmişteki durumdan daha iyi konuma gelmesi kalite kavramını ortaya koymaktadır.

Kalitede ölçme işlemi, önemli bir önceliğe sahip olup, bu işlemin tam olarak başlama tarihi bilinmemektedir. Ancak ilk zamanlarda insanların karşılaştırmalı yöntemler ile ölçme işlemleri yaptıklarını ve standart olarak kabul gören bir birimle mukayese ederek, ölçüsü belirlenemeyen bir nesneyi ölçtükleri, yapılan arkeolojik çalışmalar sonrasında belirlenmiştir. Kalite ile ilgili ilk kayıtlar M.Ö. 2150 yılına kadar uzanır. Ünlü Hammurabi Kanunları'nın 229. maddesinde şu ifadeler yer alır: *“eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa o inşaat ustasının başı uçurulur”* (Yılmaz, 2010).

Yine M.Ö. belli zaman aralıklarında üretim tekniklerinin geliştirilmesi insanlık tarihinde hep iyiye yönelmeyi istediğini belirtmektedir. Bu durum Mısırlılarda olduğu kadar tarih boyunca Çinliler, Yunanlılar, Romalılar, Hintliler, Venedikliler gibi birçok millet tarafından ele alınarak sürekli geliştirilmiştir. Türk tarihine de baktığımız zaman Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde kalite kavramına önem verildiği görülmektedir. Selçuklular döneminde “Ahilik Teşkilatı”, Osmanlılar döneminde “Lonca Teşkilatı” olarak adlandırılan kuruluşlarda mesleki eğitim, üretim kotaları, fiyat denetimi, kalite kontrolü gibi konularda denetimler ve eğitimler yapıldığı belirlenmiştir. Daha sonraki dönemlerde endüstri ve sanayinin gelişmesi kalite kavramında önemli ilerlemelerde bulunulmasına ve geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Giderek gelişmekte olan dünyamız için önemli bir faktör haline gelen kalite kavramı 19. yüzyıldan itibaren ön plana çıkmıştır. Kalite ölçme metotları da farklılıklar göstererek en iyi ürün veya hizmeti ortaya koymak için yıldan yıla gelişmeler göstererek devam etmektedir.

3.3. Kalitenin Amacı

Kalitenin amacı en basit tanımıyla sürekli iyileşme ve mükemmelle ulaşma isteğidir. Bu mükemmelle ulaşma isteği, tüketicinin ihtiyacına göre değişmektedir. Tüketiciler için kalite ölçütü; ucuz, ihtiyaçları karşılayan, basit yapılı, kullanım ömrü uzun olan ve arıza çıkarmayan ürünler olarak belirtilmektedir. Aynı zamanda kalite kavramı, bilinenin aksine en mükemmel ürün veya hizmet değil, talep edilen ürün veya hizmetin amaca uygunluğu olarak tanımlanmaktadır. Örneğin tüketici toplantıya katılmak için uygun bir elbise almak istemektedir. Bu elbisede aranan özellikler modaya uygunluk, fiyat, toplantı şartlarına uygunluk ve dayanıklılık gibi belli başlı kavramlardır. Fakat tüketici amacı dışında sırf kumaş yapısı sağlam ve dayanıklı olduğu için daha önceki yıllarda moda olmuş, pahalı bir elbiseyi satın aldığı anda elbisenin modaya olan uygunluğunu göz ardı etmiş olur. Dolayısıyla gittiği ortama uygun olmaması ile birlikte maddi olarak gereğinden fazla ödeme yapmış olacaktır. Bu gibi durumlarda istenilen ürün veya hizmetten beklentinin tam olarak ne olduğu iyi bilinmelidir. Ayrıca ürün veya hizmetin üretiminde verimliliği arttırmak, üretim zamanını kısaltmak, kaynakların en verimli şekilde kullanılması ile israfı ortadan

kaldırmak ve maliyeti düşürerek kaliteyi arttırmak izlenecek yollardan bazılarıdır. Kalitenin en önemli amaçlarından birisi de şikâyetleri ortadan kaldırarak, müşteri memnuniyetini en üst seviyelere çıkarmaktır.

Kalite düzeyini belirlemek kadar kaliteyi ölçmekte önemli bir konudur. Genellikle müşteriler ürün ve hizmeti; işlevsel performans, güvenilirlik, konfor, servis alabilme, kolaylık, görüntü ve fark edilen kalitesi olmak üzere 6 boyutta incelemektedir. Şirketler açısından ürün ve hizmet kalitesi ise stratejik olarak önem arz edip, kalite için biçilen fiyat ve talebin belirlenmesi gibi faktörlerden oluşmaktadır. Kalite firmayı özellikle; şöhreti, maliyet ve pazar payı, malın güvenirliliği ve uluslararası etkisi olmak üzere 4 başlıkta etkilemektedir (Özdamar, 2006).

3.4. Kalitenin Boyutları

Kalitenin ölçülebilmesi için belirli standart özelliklere sahip olması gerekmektedir. Kişiden kişiye farklılık gösteren bu özelliklerden temel olarak belirtilen unsurlar vardır. Kalitenin boyutları olarak adlandırılan bu unsurlar; performans, uygunluk, servis görülebilirlik, dayanıklılık, estetik, itibar, güvenilirlik, iletişim ve diğer unsurlar olmak üzere dokuz başlık altında incelemek mümkündür. Şekil 3.1.'de gösterilen kalitenin boyutları hizmet kalitesinde, müşteri sadakatini öngörür. Memnun olan müşteriler bu hizmetten faydalanmaya devam eder.



Şekil 3.1. Kalitenin Boyutları

- **Performans:** Ürün veya hizmetin yerine getirmesi gereken işlevleri yapmasıdır. Kalitenin performans boyutuna, tükenmez kalemın yazıyor olması, çamaşır makinesinin çamaşırları temiz bir şekilde yıkıyor olması örnek olarak gösterilebilir.
- **Uygunluk:** Ürün veya hizmetin belli başlı özelliklere ve standartlara sahip olmasıdır. Kalitenin uygunluk boyutuna okulun kantininin olması, sınıflarında akıllı tahtanın bulunması örnek olarak gösterilebilir.
- **Servis Göretilirlik:** Ürün veya hizmetin sorunu, sıkıntısı veya şikâyeti olduğu takdirde çözüme kavuşturulmasıdır. Kalitenin servis göretilirlik boyutuna herhangi bir mağazadan aldığımız ürünlerin garanti kapsamında oluşan arızaların kolay bir şekilde çözümlenerek sorunların giderilmesi örnek olarak gösterilebilir.
- **Dayanıklılık:** Ürün veya hizmetin kullanılabilirlik ömrünün uzunluğudur. Kalitenin dayanıklılık boyutuna, pazardan alınan meyvelerin taze kalma süreleri, binaların yapımında kullanılan malzemelerin uzun ömürlü olmaları örnek olarak gösterilebilir.
- **Estetik:** Ürün veya hizmetin niteliksel olarak (renk, biçim, koku, ses vb.) tüketicinin dikkatini çekmesidir. Kalitenin estetik boyutuna aldığımız elbisenin rengi, lokantadaki yemeğin tadı örnek olarak gösterilebilir.
- **İtibar:** Ürün veya hizmetin tüketicilerin istekleri doğrultusunda dürüst bir şekilde ihtiyaçlarını karşılamaktır. Ayrıca işletme sahibi ve çalışanların güven yaratıyor olması da itibar boyutunu çok etkilemektedir. Kalitenin itibar boyutuna aldığımız ayakkabıyı markasına göre seçmek yani markaya güvendiğimiz ve memnun kaldığımız için tercih etmek örnek olarak gösterilebilir.
- **Güvenirlilik:** Ürün veya hizmetin kullanıldığı zaman zarfında performansının sürekliliğidir. Kalitenin güvenirlilik boyutuna aldığımız elektrikli süpürge'nin çekiş gücünün kullanım ömrü boyunca aynı kalması örnek olarak gösterilebilir.
- **İletişim:** İşletmenin tüketiciye karşı takındığı tavır, müşterinin gözünden bakma, müşteriye anlamak ve onları bilgilendirmek şeklinde yapılan davranışlardır. Kalitenin iletişim boyutuna aldığı üründe sorun yaşayan bir tüketicinin eğitim durumu, yaş ve diğer belirgin özelliklerine uygun bir

şekilde konuşulup sorunu çözmek adına bir takım davranışlarda bulunulması örnek olarak gösterilebilir.

- **Diğer unsurlar:** Ürün veya hizmetin kalitenin yukarıdaki boyutlarından farklı olarak ikincil unsurları barındırmasıdır. Kalitenin diğer unsurlarına vantilatörün uzaktan kumandalı olması, duş kabini içinde ses sisteminin olması örnek olarak gösterilebilir.

3.5. Kalite Çeşitleri

Ürün veya hizmetin kalite özelliklerinin belirlenmesinde yapısal ve fiziksel olarak özelliklerinin yanı sıra ürünlerin kullanım amacı, tüketici talebi, kullanılan hammadde fiyatı vb. gibi doğrudan ya da dolaylı olarak birçok etken mevcuttur. Ürün ve hizmetlerin üretim aşamasında yapısal ve fiziksel özelliklerinin kalitesini; tasarım, uygunluk ve performans kalitesi olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir. Ürün ve hizmetlerin üretim sonrası durumu ise dağıtım ve ilişki kalitesi olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

- **Tasarım (Dizayn) Kalitesi:** Üretilen ürün veya hizmetin, üretim aşamasında fiziksel ve yapısal olarak tüketicinin isteğine uygun olmasıdır. Bu kalite çeşidinde ürünün renk, biçim, ağırlık, sağlamlık, koku vb. gibi estetik özellikleri ağır basmaktadır. Tasarım kalitesini oluşturan ürünün piyasadaki rekabet durumu, tüketicinin eğitim durumu, teknoloji durumu vb. gibi etmenler mevcuttur. Tasarım kalitesine örnek olarak 'Apple' markası ürünler tüketici tarafından yoğun bir ilgiyle talep edilmektedir.
- **Uygunluk (Uyum) Kalitesi:** Üretilen ürün veya hizmetin tasarım kalitesine gösterdiği uygunluktur. Uygunluk kalitesinin belli başlı unsurları mevcuttur. Bunlar standartlara, kullanıma, maliyet ve ortaya çıkmamış ihtiyaçlara uygunluktur.
- **Performans Kalitesi:** Üretilen ürün veya hizmetin piyasadaki performans düzeylerinin analizi ile ilgilenen kalite çeşididir. Yapılan analizlerde satış sonrası hizmet başta olmak üzere birçok konuda işletmeden hizmet alınıp alınmadığı araştırılır. Ekip çalışması bu kalite çeşidi için çok önemli bir unsurdur.

- **Dağıtım Kalitesi:** Üretilen ürün veya hizmetin belirlenen zamanda tüketiciye teslim edilmesi veya verilen görevlerin zamanında yerine getirilmesini ifade etmektedir.
- **İlişki Kalitesi:** Üretilen ürün veya hizmetin belirlenen zamanda tüketiciye ulaştırılması ve daha sonrasında tüketicinin sorunları ile ilgilenilmesi ilişki kalitesinin temel unsurudur. Bu kalite çeşidinde iletişim ve müşteriye anlama çok önemli olup, tüketiciyi memnun etmek başlıca amaçtır.

3.6. Kalite Kontrol

Ürün veya hizmetin üretim sürecinde çeşitli bölümlerde bulunan eksiklikleri ve hataları azaltmak, süreci iyileştirmek ve geliştirmek, tüketicinin memnuniyetini kazanmak adına yapılan işlemlerin, denetimlerin hepsine kalite kontrol adı verilmektedir. Belirli standartlara uymayan ürünlerin üretim sürecinden ayrılması veya bu ürünlerin belirlenen metotlarda tekrar kalite kontrol aşamalarına gelebilmeleri kalite kontrol kapsamına girmektedir.

Bu anlamda kalite kontrol; kaliteyi korumak, geliştirmek ve tüketicinin memnun olacağı en ekonomik seviyede sürdürmek amacıyla uygulanan işlemler dizisi olarak da tanımlamak mümkündür. Başka bir deyişle kalite kontrol yapmak; en kullanışlı, en ekonomik ve tüketiciyi daima memnun eden kaliteli bir ürünü tasarlamak, üretmek, geliştirmek ve bakımını yapmak olarak da söylenebilir (Aytaç, 2006).

Kontrol sisteminin başarılı olabilmesi için öncesindeki planlama ve sonrasındaki geliştirme bölümü aşamaları önem teşkil etmektedir.

1. **Planlama:** Üretilen ürün veya hizmetin yapısal ve tasarımsal olarak alınan kararları kapsar. Planlama tüketicinin isteğine ve piyasadaki talep durumu ile etkileşim içindedir.
2. **Kontrol:** Üretilen ürün veya hizmetin üretim sırasında denetimini ve veri kontrolünü sağlamaktadır. Kontrol üretim durumu ile etkileşim içerisindedir.
3. **Geliştirme:** Üretilen ürün veya hizmetin planlama ve kontrol sonrasında işletme ve tüketiciye göre maliyeti düşürme, verimlilik artırma gibi bir takım kararların alınmasını kapsar. Geliştirme teknoloji ile etkileşim içerisindedir.

Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere OFF-LİNE ve ON-LİNE kalite kontrol sistemlerinin bölümleri mevcuttur. OFF-LİNE kısmında müşteri beklentisi ve tasarım üzerinde durulurken, ON-LİNE kısmında belirlenen standartlara uygun üretim ve üretilen ürünün geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır.

		Konular	Kalite Sağlama Aşamaları
OFF –LİNE Kalite Kontrol	1.Aşama Ürün	1.Müşteri gereksinim ve beklentilerinin belirlenmesi 2.Bunları karşılayacak sürekli ve ekonomik üretecek bir ürün tasarımı	1.Sistem Tasarımı 2.Parametre Tasarımı 3.Tolerans Tasarımı
	2.Aşama Proses Tasarımı	Üretim için yeterli standart, üretim araçları ve spesifikasyonların tasarımı	
ON-LİNE Kalite Kontrol	1.Aşama Üretim	Ürünün daha önce tasarım aşamasında belirlenen spesifikasyon ve standartlara göre üretilmesi	1.Proses teşhisi ayarlama ve düzeltme 2.Muayene ve ıskartaya çıkarma
	2.Aşama Müşteri İlişkisi	Müşteriye servis hizmetinin verilmesi ve çıkan problemlerle ilgili bilginin ürün ve tasarımın geliştirilmesi için kullanılması	Geri besleme yoluyla ürün ve sürecin spesifikasyon ve tasarımının değiştirilmesi

Şekil 3.2. Kalite Kontrol Sistemi

3.7. Kalite Kontrolün Amacı

Kalite kontrol sisteminin birçok amacı olmakla birlikte temel amacı üretimde kalitesizliği önlemektir. Çünkü üretici, üretilen mal veya hizmetin arızalı olarak piyasaya sürülmesi sebebi ile itibar kaybı ve satış oranlarının düşmesi sonucuyla karşılaşabilir. Tüketici ise satın aldığı ürün veya hizmetin arızalı olmamasını arzu etmektedir. Bu durumda kalite kontrolün temel amacı hem tüketiciyi hem de üreticiyi memnun etmek olduğu söylenebilir. Ayrıca kalite kontrolün aşağıdaki gibi daha farklı amaçları da mevcuttur.

- Mevcut olan işgücü ve teknolojiye en faydalı verimi sağlayabilmek,

- Sorunlu ürünlerin yarattığı zaman kaybını en aza indirmek,
- Rekabeti güçlendirmek amacıyla iç ve dış piyasada yerli ürüne güven sağlamak,
- Ürün kalitesini, yapısal veya fiziksel alanda geliştirip en üst seviyelere getirebilmek,
- Tüketicilerin isteklerine uygun kaliteli ürünler üretmek için geri dönüşleri önemsemek,
- Tüketicinin aldığı ürün veya hizmet için ödenen ücretlerin karşılığını, ürünlerden ve hizmetlerden memnun kalarak alınmasını sağlamak ve tüketici haklarını korumak,
- Ürün veya hizmetin planlama, üretim ve geliştirme anlamında işveren ve çalışanların iletişimini sağlayarak motive etmek ve çalışanın eğitim ile tecrübesini arttırmak,
- Kalite kontrol aşamasında daha uygun fiyatlı ve kolay işlenebilir malzeme araştırmak ve ürün tasarımlarını geliştirerek kalite düzeylerini arttırmak,
- Satış sonrası oluşan arızalı ürünlerin bakımı, tamiri, iade ve değişim gibi sorunların oluşumunu minimum düzeye indirmek,
- Pazarlama alanında fikirler geliştirilerek, üretilen ürün veya hizmetin kolay bir şekilde piyasada yer edinmesini sağlamaktır.

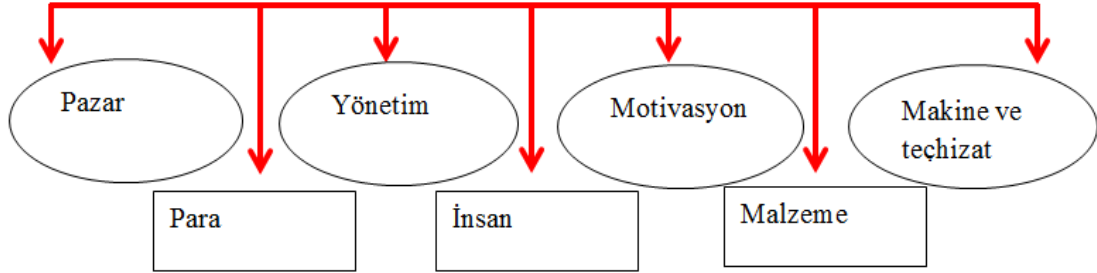
Bu amaçlar doğrultusunda müşteri memnuniyetini kazanmak için sürecin kontrol aşamaları şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ürünün Kalite Kontrol Aşamaları ve Amacı

3.8. Kalite Kontrolü Etkileyen Faktörler

Ürün veya hizmet üretilirken dikkat edilmesi gereken hususlar mevcuttur. Bu hususlara dikkat edilmediği takdirde üretim esnasında sorunlar yaşanabilir. Kalite kontrolü etkileyen faktörler Şekil 3.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kalite Kontrolü Etkileyen Faktörler

- 1- Pazar (Market): Piyasa olarak adlandırılan bu faktöre yeni ve gelişen ürünlerin girmesi etki yaratmakta ve tüketicinin dikkatini çekerek Pazar payının büyümesine yol açan çok önemli bir faktördür.
- 2- Para (Money): Piyasadaki rekabete dayalı üretimler attıkça fiyatlarda artacak ve firmalar zarara uğrayacaktır. Maliyeti düşürmek adına ucuz ürünleri tercih ettikleri takdirde kalitesizlik meydana gelecektir. Bu sebeple para etkisine dikkat edilerek, maliyetler kontrol altında tutulmalıdır.
- 3- Yönetim (Manager): Ürün veya hizmetin tasarlanmasında yönetim kadrosu önemli rol oynar. Bilgili ve eğitilmiş kişiler üretim sürecinde en sağlıklı kararların alınmasında büyük etkiye sahiptir.
- 4- İnsan (Man): Ürün veya hizmetin planlama, üretim, gelişim ve sonraki aşamalarında kendini yenileyebilecek teknik bilgi ve tecrübeli insanlara ihtiyacı bulunmaktadır. Konusunda uzmanlaşmış insanlar kalitenin bütün süreçlerinde etkin rol oynamaktadır.
- 5- Malzeme (Materials): Ürün veya hizmetin geçmişten günümüze yapı malzemeleri gelişerek ve çeşitliliği artarak kalite oranlarının yükselmesine sebep olmuştur. Üretimde yeni yöntemlerin giderek artması malzeme faktörünün önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterir.
- 6- Motivasyon (Motivation): Ürün veya hizmetin üretiminde görevli olan personelin motivasyonlarının yüksek tutulması halinde kaliteli ürün üretme olasılıkları yükselecektir. Örneğin ödüllendirme yöntemi ile çalışan işçilerin

daha istekli bir şekilde görevlerini yerine getirmeleri muhtemel sonuç olarak gösterilebilir.

- 7- Makine (Machine) ve Teçhizat: Ürün veya hizmetin yapımında kullanılan makinelerin gelişmekte olan teknolojiye uygun olarak gelişmesi gerekmektedir. Aksi takdirde günümüz teknolojisinin gerisinde kalan makine ve teçhizatlar ile yüksek kalitede ürün üretimi zorlaşır ve pazar payının yüksek olduğu kesimlerde zarara uğranır. Bu sebeple kullanılan makine ve teçhizatlar kalite kontrol sürecinde etkin rol oynamaktadır.

3.9. Kalite Kontrol Alanında Çalışan Önemli Bilim Adamları

Walter A. Shewhart: Birçok bilim dalını bir araya getirecek modern kalitenin öncüsü olmuştur. İstatistiksel kalite kontrol alanında çalışmalar yapan Shewhart, kalite kontrol grafiklerini geliştirmiştir.

W. Edwards Deming: Shewhart'dan etkilenen Deming, toplam kalite alanında çalışmalarıyla tanınmıştır. Deming araştırmaları sayesinde "14 ilke" ve "7 ölümcül" başlıkları ile kendi görüş ve düşüncelerini yansıtarak, "Karar ver", "Planla", "Uygula" ve "Doğrula" adımlarından oluşan Deming döngüsünü de oluşturmuştur.

Joseph M. Juran: Shewhart'dan etkilenen Juran, kalitenin planlanması ve iyileştirilip, geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Aynı zamanda Pareto ilkesinin mimarıdır. Bu ilkenin diğer adı önemli arz olup, hataların %80'inin genel olabilecek sorunların %20'si tarafından karşılanması olarak tanımlanır.

Kaoru Ishikawa: Deming'ten etkilenen Ishikawa kalite felsefesine ek katkılar sağlamıştır. Kalite çemberinin de öncüsü olarak bilinen Ishikawa, iyileştirme teknikleri üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Kalite çemberinin yanı sıra, neden-sonuç, dağılma, Pareto diyagramları ve histogram gibi istatistiksel araçların gelişiminde katkıda bulunmuştur.

Genichi Taguchi: Kalite mühendisliğinin öncüsü olarak tanınan Taguchi, kalite kontrolü ve süreci iyileştirmek adına istatistiksel deney tasarımı üzerine yoğunlaşmıştır.

Armand V. Feigenbaum: Kalite kontrol ve kalite maliyetlerinin öncülerinden olup, kalite geliştirmede insan ilişkilerini geliştirme, istatistiksel sũreç kontrollerinin kullanılması gibi yũntemler kullanılmıştır.

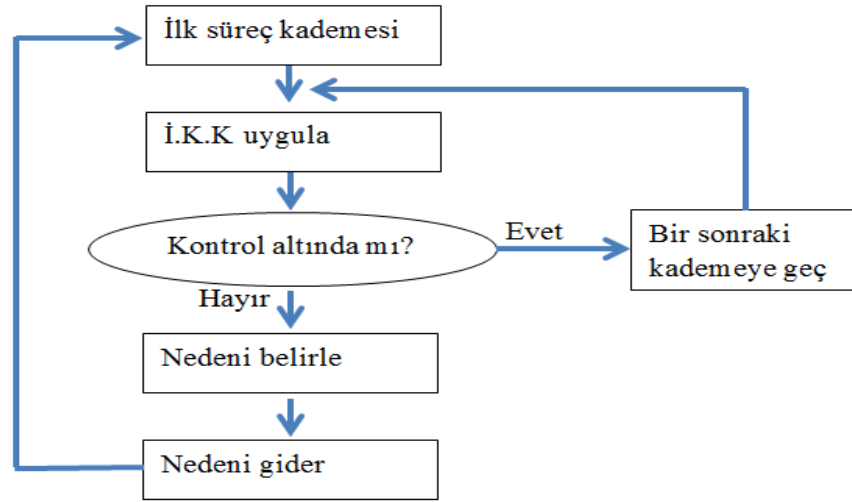
Philp B. Crosby: Kalite maliyeti ũzerine yũnelten Crosby, kaliteyi geliştirme adına 14 ilke ile çalışmalarını tanımlamıştır (ũzkale, 2004).



4. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL(İKK)

Geçmişten günümüze doğru gelişen teknoloji ve sanayi ile birlikte kalite kontrol süreçleri için yeni yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar önceleri duyu organlarımıza dayanarak yapılırken, zamanla matematik, biyoloji, fizik gibi bilim dallarının gelişmesine bağlı olarak değişmiştir. İstatistik bilimi; kalite kontrol alanında, W.A. Shewhart'ın öncülüğünde “kalite grafikleri” ile başlamış olup, birçok yöntemle gelişerek günümüze kadar gelmiştir. İstatistiksel kalite kontrol, üretilen ürün veya hizmetin belli safhalarda kontrolünün sağlanmasını, eğer ki kontrol dışı bir durum (hata) var ise süreç içerisinde bu durumun en kısa zamanda düzeltilmesine yönelik tedbirlerin alınmasını öngörmektedir. Bu durum içinde istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı Giriş, Çıkış ve Proses-süreç kontrolü olmak üzere üç kısım mevcuttur. Bu kısımlardan giriş ve çıkış kontrollerinde ‘kontrol grafikleri’ kullanılmaktadır (Pekmezci, 2005).

İKK yönteminde amaç, üretim bittikten sonra yanlış ayırıp düzeltmek değil, yanlışlar meydana gelmeden müdahale edilip sürecin sorunsuz işleyişini sağlamaktır. Şekil 4.1.’de İKK yöntemi sayesinde üretimde verimlilik artmaktadır.



Şekil 4.1. İKK Yöntemi

4.1. Temel Kavramlar

Kalite kontrolü oluşturan bazı temel kavramlar vardır. Bunlardan bazıları;

- Proses (Süreç): Bir takım girdinin, gerekli donanımlar yardımı ile çıktıya dönüşmesini sağlayan, birbiri ile ilişkili halde bulunan faaliyetler kümesidir.
- Ölçme: Ürün veya hizmetin kontrol aşamasında ölçümünün yapılmasında kullanılan aletlerin seçimi, bakımı, onarımı, vb. faaliyetlere ölçme tekniği denir.
- Kalibrasyon/Sıfır Ayarı: Kalite kontrol süreci içerisinde yapılan ölçümlerin sonuçları ile bilinen gerçek ölçümlerin sonuçlarının arasındaki işlemlerin tümüdür.
- Veri Toplama: Süreçten belli amaçlar doğrultusunda elde edilen ölçüm ve bilgilerdir.
- İstatistik: Belli bir amaç için geçmiş verilerin toplanarak, analiz ve yöntemleri ile test edilerek gelecek hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayan bilim dalıdır.

4.2. İKK Yöntemleri

Ürün veya hizmetin üretiminde süreci izleme ve kontrol etmek suretiyle meydana gelebilecek sorunların önceden tahmin edilmesi ve önleyici bir takım yöntemler alınması istatistiksel kalite kontrolün amacıdır. Bunun içinde geliştirilen yöntemler; Çetele Diyagramı, Histogram, Pareto Analizi, Neden-Sonuç Diyagramı, Hata Yoğunluk Diyagramı, Dağılım Diyagramı ve Kontrol Grafikleridir.

4.2.1. Çetele diyagramı

Verilerin düzenlenmesi ve kaydedilmesi için kullanılmaktadır. Diyagram oluşturulurken verinin türüne dikkat edilmesi gerekmektedir. Nicel ve nitel veriler için farklı tablolar oluşturulmaktadır. Nicel verilerde çetele diyagramı, ölçülebilir nitelikteki veriler ile önceden belirlenen ve tanımlanmış sınırlar birlikte kullanılarak tablo oluşturulur. Nitel verilerde ise verinin kaydedilme sıklığı tespit edilir. Belirlenen aralıkların ve sınıfların karşısına çizgi çizilerek yapılan gözlemler

görüntülenir, çizgilerin toplamı frekansı verir (Özkale, 2011). Bir çetele diyagramını tasarlarken, toplanan veriler oldukça önemli yere sahiptir. Eğer diyagram daha sonraki hesaplamalar için bir zemin oluşturacak ise çetelelerin bir amaç için yeterli ve uygun olduğundan emin olmak gerekir (Montgomery, 2008).

4.2.2. Histogram

Ölçüm değerlerinin dağılımını gösteren bir çubuk diyagram grafiğidir. Bu ölçüm değerlerinin dağılımının standart limitlerine göre durumunu belirtir. Histogramları oluşturan dikdörtgenlerin alanları frekansları ile doğru orantılı olup taban genişlikleri sınıf aralıklarına eşittir (Çelik, 2015). Histogramın gerçeği doğru bir şekilde yansıtması ve sağlıklı bilgiler elde edilmesi için toplanan verilerin fazla olması ($n \geq 30$) gerekmektedir. Ortalama, standart sapma, medyan, mod, sınıf aralığı, dağılım aralığı gibi istatistiksel araçlardan histogramın oluşturulmasında ve yorumlanmasında yararlanır. İlgili kişiler histogram sayesinde gerekli analizleri yaparak değişkenliği ortadan kaldırır (Pekmezci, 2005). Histogram şekilleri; ‘Genel Tip (Simetrik-Çan)’, ‘Tarak Şekilli’, ‘Pozitif Eğri’, ‘Sol Tarafa Dik’, ‘Çanaksı Tip’, ‘İki Doruklu’ ve ‘İzole Doruklu’ olmak üzere yedi çeşittir.

4.2.3. Pareto analizi

Ürün veya hizmet oluşumunda meydana gelen sorunların önem sırasına göre sıralanan dağılım grafiğidir. Genellikle takım çalışmasında sıklıkla kullanılır. Pareto analizi ilk kez İtalyan ekonomist Wiltredo Pareto tarafından kullanılmıştır. Pareto analizinde 80/20 olarak bilinen bir kural mevcuttur. Bu kurala göre birçok olayın sonuçlarının %80’i, %20’lik kısımdan oluşan nedenlerden kaynaklanmaktadır.

4.2.4. Neden-sonuç diyagramı

Kalite devriminin mimarlarından Kaoru Ishikawa tarafından ilk kez 1943 yılında işletmelerde kalite sorununun nedenlerini belirlemek için kullanılmıştır. Benzerliği nedeniyle Balık Kılçığı (Ishikawa) diyagramı olarak da adlandırılır (Özkale, 2004).

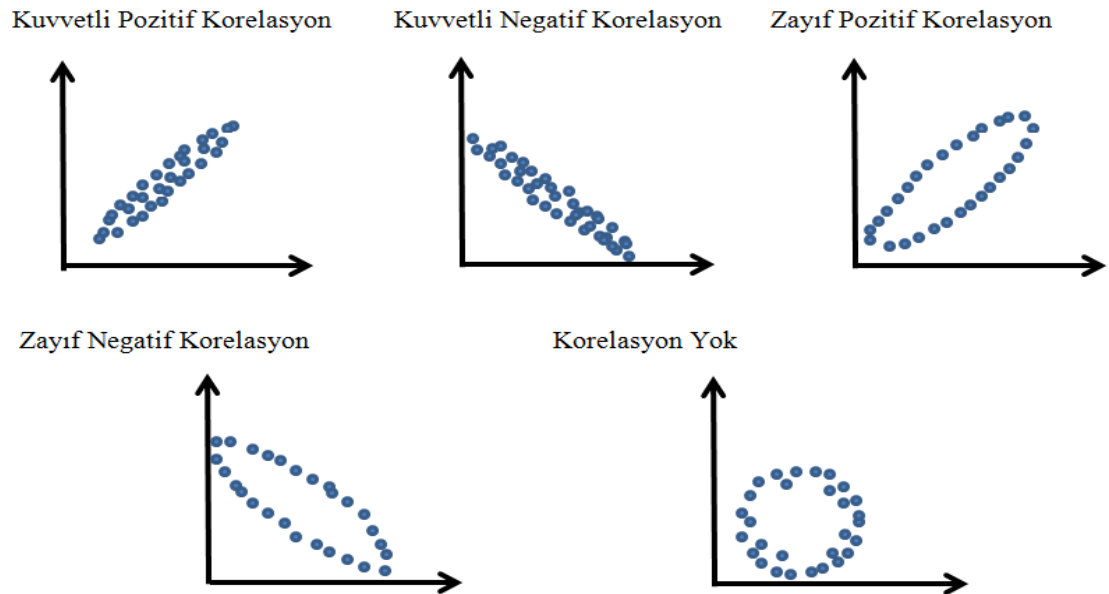
4.2.5. Hata yoğunluk diyagramı

Genellikle çetele diyagramı ile birlikte kullanılarak daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu diyagram sayesinde ürün veya hizmetin her hali göz önünde bulundurularak, tespit edilen hataların yerleri belirlenir.

4.2.6. Dağılma diyagramı

Birbiri ile ilişkisi olduğu düşünülen iki değişken için çizilmektedir. Değişkenlerden birisi yatay diğerde dikey eksende çizilerek bulunur. Dağılma diyagramındaki noktaların en dışta kalanları birleştirildiğinde, oluşan şeklin bir elips olması x ve y arasında doğrusal bir ilişkinin olmasına işaret eder. Elips daire genişledikçe ilişki zayıflar, inceldikçe ilişki kuvvetlenir. x değişkeni arttıkça y değişkeni de artarsa değişkenler arası pozitif bir ilişkiden (korelasyon) söz edilir. Eğer grafik üzerindeki noktalar birbirine çok uzak kalıyorsa ilişki zayıf, birbirine yakınsa ilişki kuvvetli olduğunu belirtir. x arttıkça y azalıyorsa negatif bir korelasyondan söz edilir. İlişkinin kuvvetli mi yoksa zayıf mı olduğuna noktaların birbirine olan yakınlık derecesine göre karar verilir.

Şekil 4.2.'de dağılma diyagram çeşitleri verilmektedir.



Şekil 4.2. Dağılma Diyagramları Çeşitleri

4.2.7. Kontrol grafikleri

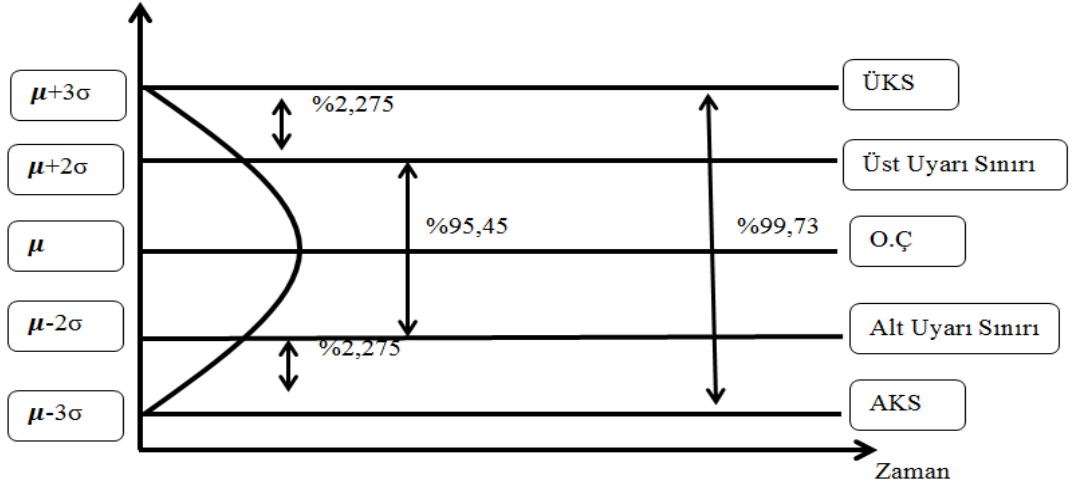
Ürün veya hizmetin üretim aşamasında iken oluşabilecek durumların, sürecin sınırları içerisinde sorun yaratıp yaratmadığını kontrol altında tutmaya, sınırların dışına çıkıldığı takdirde uyarı vererek gerekli işlemlerin yapılması ile kontrol altına alınmasını amaçlayan grafik analiz yöntemidir.

Teorik yapısı 1926'da W.E. Shewhart tarafından oluşturulmuştur. Sürecin istatistiksel yöntemlerle güvenilir biçimde ve ekonomik olarak kontrol altında tutulmasında en etkili yöntemdir. Tesadüfi nedenlerle ortaya çıkan bir takım değişiklikler süreci olumsuz yönde etkilediğinden, bu nedenlerin tanımlanmaları, araştırılmaları ve kontrol altında tutulmaları gerekir. Kontrol grafiği, süreçte oluşabilen değişikliklerin doğal ya da doğal olmayan nedenlerden kaynaklandığını fark etmeye yarayan önemli bir araçtır. Bir kontrol grafiği; Üst Kontrol Limiti(ÜKL)", "Merkez Çizgi(MÇ)", ve "Alt Kontrol Limiti(AKL)" olmak üzere üç esas çizgi içermektedir. MÇ kalite özelliğinin ortalama değerini temsil eder ve kontrol limitleri ile orta çizgi zaman eksenine paralel doğrularla gösterilir (Dengizler Kayaalp, 2007).

Kontrol limitleri istatistiki güven sınırlarını ifade eder ve bu sınırlar ana hatlarıyla şu şekilde belirlenir. İlgili kalite özelliğine ait ölçüm değerlerinin, örnek istatistiğinin ortalaması μ ve standart sapması σ ise bu durumda üst kontrol, merkez çizgi ve alt kontrol limitleri (4.1) eşitliğinde belirtildiği gibi olur.

$$\begin{cases} \text{ÜKL} = \mu + kQ \\ \text{MÇ} = \mu \\ \text{AKL} = \mu - kQ \end{cases} \quad (4.1)$$

Burada k, orta çizgiden kontrol limitlerine olan mesafeyi belirlemede kullanılan katsayıdır. k=2 ise kontrol limitleri orta çizgiden 2Q uzakta, k=3 ise kontrol limitleri orta çizgiden 3Q uzakta demektir. Uygulamada kontrol limitleri için k=2 alınır. Buna göre normal olarak noktaların %99.73'nün kontrol limitleri arasında, %95,45'inin ise uyarma limitleri arasında olması gerekmektedir. Temelleri Shewhart tarafından atılan ve geliştirilen kontrol grafiklerinin yapısı normal dağılıma dayanmaktadır. Dağılıma yüzdeleri şekil 4.3.'de gösterilmiştir (Patır, 2009).

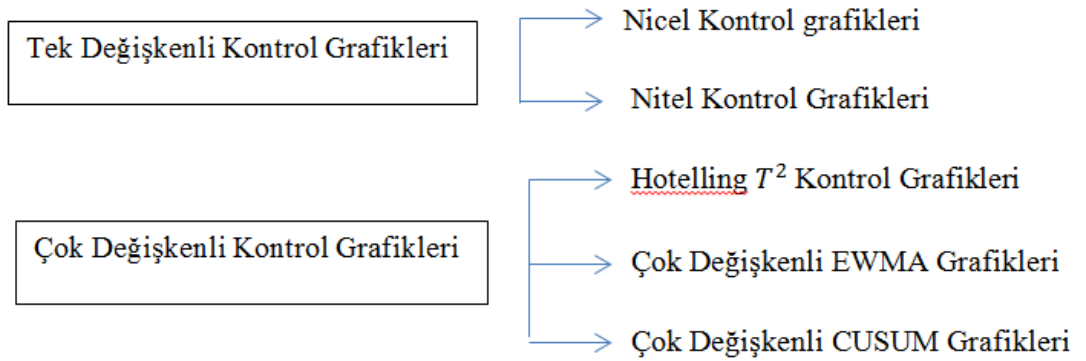


Şekil 4.3. Kontrol Grafiği ve Noktaların Dağılıma Yüzdeleri

Şekil 4.3.'deki gibi kontrol grafikleri, sürecin kontrolünde ortak bir dil kullanımı sayesinde iletişim kolaylığı ve anlaşılabilirliği sağlamaktadır. Süreç içerisindeki sorunların kolay tespit edilmesine ve çözümünün en kısa sürede gerçekleşmesine de olanak sağlamaktadır.

4.3. İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri

Prosesin üretim esnasında eşit zaman dilimlerinden elde edilen örneklem verilerinin ve gösterdikleri değişimlerin incelenip, gerekli görüldüğü takdirde yapılan işlemler ve analizler yardımıyla kontrol altında tutulmasını sağlayan grafik yöntemine kontrol grafikleri adı verilmektedir. İstatistiksel kalite kontrol grafikleri şekil 4.4.'deki gibi tek ve çok değişkenli kalite kontrol grafikleri olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 4.4. İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri

Nicel kalite kontrol grafikleri; uzunluk, ağırlık, genişlik gibi sayısal olarak ifade edilen kontrol grafiklerine denir. Nicel kalite kontrol grafikleri Shewhart, CUSUM, EWMA ve MA olmak üzere 4 çeşittir.

-SHEWHART kontrol grafiği;

- Ortalama (\bar{X}) ve genişlik (R) kontrol Grafiği
- Ortalama(\bar{X}) ve standart sapma (s) kontrol grafiği
- Gözlem değerleri(X) ve hareketli genişlik (MR) grafiği
- Medyan(\bar{X}) ve genişlik (R) kontrol grafiği

-Kümülatif toplam (CUSUM) kontrol grafiği

-Üstel ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafiği

-Hareketli ortalama (MA) kontrol grafiği

Nitel kontrol grafikleri, ölçüm değerlerinin duyu organlarımız ile belirlendiği, kusurlu-kusursuz, bozuk-sağlam, iyi-kötü, geçerli-geçersiz vb. gibi tanımlarla sınıflandırıldığı kontrol grafiklerine denir. Nitel Kontrol Grafikleri;

-Kusurlu oranı (p) kontrol grafiği

-Kusurlu sayısı (np) kontrol grafiği

-Kusur sayısı(c) kontrol grafiği

-Birim başına kusur sayısı (u) kontrol grafiği, olmak üzere 4 kısımda incelenmektedir.

Şekil 4.5.'de kullanılacak grafik türlerinin; veri türü, hata tanımı, örneklem büyüklüğüne göre değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir.

Veri Türü	Hatanın Tanımı	Örneklem Büyüklüğü	Kullanılacak Grafik
Kesikli veri	Hata sayısı	Sabit örneklem büyüklüğü	Hata sayısına ilişkin c grafiği
		Değişken örneklem büyüklüğü	Birim başına hata sayısına ilişkin u grafiği
	Hatalı birim Sayısı	Sabit örneklem büyüklüğü $n \geq 50$	Hatalı birim sayısına ilişkin np grafiği
		Değişken örneklem büyüklüğü $n \geq 50$	Hatalı birimlerin oranına ilişkin p grafiği
Sürekli veri		Örneklem büyüklüğü $n=1$	Hareketli ortalama grafiği
		Örneklem büyüklüğü $n < 10$	$\bar{X} - R$ grafiği
		Örneklem büyüklüğü $n \geq 10$	$\bar{X} - s$ grafiği

Şekil 4.5. Kontrol Grafiklerinin Kullanım Şekli

4.3.1. Değişkenler için (Nicel) Kalite Kontrol Grafikleri

Nicel kalite kontrol grafikleri Shewhart, CUSUM, EWMA ve MA kontrol grafiklerinden oluşmaktadır. Ancak tez konusu kapsamında Shewhart kontrol grafik çeşitlerinden $\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - s$ kontrol grafikleri üzerinde durulmaktadır.

\bar{X} grafiği, ortalamayı kontrol etmek için yaygın olarak kullanılırken, prosesin değişkenliğini kontrol etmek için R veya s grafikleri ile ölçümlerin kontrol altında olup olmadığı araştırılır. Bu iki ölçüden hareketle ortalaması aynı olan iki örnekten standart sapması veya değişim aralığı küçük olan ölçünün daha kaliteli olduğu söylenir. Hesaplanmasındaki kolaylıktan dolayı R grafikleri, s grafiklerine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortalamalar aynı olmakla beraber standart sapmalar büyük olup süreç kontrol dışı olmaması için \bar{X} grafiği, s veya R grafiği ile birlikte kullanılır. Eğer sadece \bar{X} grafiği kullanılırsa, değişim aralığında veya standart sapmadaki değişkenlik anlaşılabilir ve hatalı malların varlığı fark edilemez. Sadece s veya R grafiği düzenlenirse bu defa da ortalamadaki değişim anlaşılabilir ve hatalı üretimin varlığı fark edilemez (Pekmezci, 2005).

$\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - s$ kontrol grafikleri oluşturulurken standartların (μ ve σ) bilindiği ve bilinmediği durumlar göz önünde bulundurulmalıdır. Buna göre kontrol limitleri ayrı ayrı oluşturulmalıdır.

4.3.1.1. Ortalama ve genişlik ($\bar{X} - R$) kontrol grafiği

$\bar{X} - R$ kontrol grafiğinde üretim sürecinden alınan örneklem büyüklükleri 10'dan küçük ($n < 10$) olması öngörülmektedir. Bunun nedeni ise R değerlerinin belirlenme kolaylığıdır. Standartların (μ ve σ) bilindiği ve bilinmediği durumda \bar{X} ve R kontrol limitleri çizelge 4.1.'deki gibi belirlenir. Standartların bilinmediği durumda μ yerine \bar{X} ve σ yerine de $\frac{\bar{R}}{d_2}$ birer tahmin edici olarak kullanılır. Ek 1'de verilen $A, A_2, D_1, D_2, D_3, D_4, d_2$ değerleri örneklem büyüklüğüne (n) göre değişmektedir.

Çizelge 4.1. $\bar{X} - R$ Kontrol Kartı Hesaplama Denklemleri

Kontrol Kartı Grafiği	Standartların Bilindiği Durumda	Standartların Bilinmediği Durumda
\bar{X} Kontrol Kartı Grafiği	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu + A\sigma \\ MÇ &= \mu \\ \text{AKL} &= \mu - A\sigma \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{X} + A_2 \bar{R} \\ MÇ &= \bar{X} \\ \text{AKL} &= \bar{X} - A_2 \bar{R} \end{aligned}$
R Kontrol Kartı Grafiği	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= D_2\sigma \\ MÇ &= d_2\sigma \\ \text{AKL} &= D_1\sigma \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= D_4 \bar{R} \\ MÇ &= \bar{R} \\ \text{AKL} &= D_3 \bar{R} \end{aligned}$

4.3.1.2. Ortalama ve standart sapma ($\bar{X} - s$) kontrol grafiği

$\bar{X} - s$ grafiği üretimden alınan örneklem büyüklüklerinin 10 veya daha fazla ($n \geq 10$) olduğunda kullanılır. Bu durumda R'nin etkinliği yani güvenilirliği azaldığından dağılım ölçüsü olarak standart sapma tercih edilir. s grafiği $n < 10$ durumunda da kullanılır. Ancak hesaplama kolaylığı bakımından R grafiği tavsiye edilmektedir. Eğer yeni üretimden alınan örnekler farklı büyüklüklerde ise yine R grafiği değil de s grafiği kullanılır (Dengizler Kayaalp, 2007).

Standartların (μ ve σ) bilindiği ve bilinmediği durumda \bar{X} ve s kontrol limitleri çizelge 4.2.'deki gibi belirlenir. Ek 1'de verilen $A_3, B_3, B_4, B_5, B_6, C_4$ değerleri örneklem büyüklüğüne (n) göre değişmektedir.

Çizelge 4.2. $\bar{X} - s$ Kontrol Kartı Hesaplama Denklemleri

Kontrol Kartı Grafiği	Standartların Bilindiği Durumda	Standartların Bilinmediği Durumda
\bar{X} Kontrol Kartı Grafiği	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu + A\sigma \\ M\check{C} &= \mu \\ \text{AKL} &= \mu - A\sigma \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} \\ M\check{C} &= \bar{\bar{X}} \\ \text{AKL} &= \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} \end{aligned}$
s Kontrol Kartı Grafiği	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= B_6\sigma \\ M\check{C} &= C_4\sigma \\ \text{AKL} &= B_5\sigma \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= B_4 \bar{S} \\ M\check{C} &= \bar{S} \\ \text{AKL} &= B_3 \bar{S} \end{aligned}$

5. BULANIK MANTIK VE BULANIK KALİTE KONTROL

5.1. Bulanık Mantığın Kavramı ve Tanımı

Giderek artan teknoloji ile birlikte gelişen dünyamızda mühendislik dalları, endüstriyel ve modern üretim, bilgisayar teknolojileri, yönetim, pazarlama ve kontrol sistemleri vb. birçok alanda zamanla artan ekonomik baskılar, ürün kalite standartlarının yükselmesi ve rekabet koşulları gibi çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkan bir takım sorunlar oluşmaktadır. Oluşan bu sorunlar kendi alanında çok büyük etkiye sahip olabilmektedir. Günümüzde sorunların çözüme kavuşturulmasında objektif ve sübjektif olmak üzere iki çeşit bilgi türü mevcuttur. Objektif bilgi mühendislik problemlerinde ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılırken; sübjektif bilgi ise uzman bilgisi, kurallar ya da tasarım ihtiyaçları gibi klasik matematiğin eksik kaldığı veya tanımlayamadığı durumlarda kullanılmaktadır (Mendel, 2001).

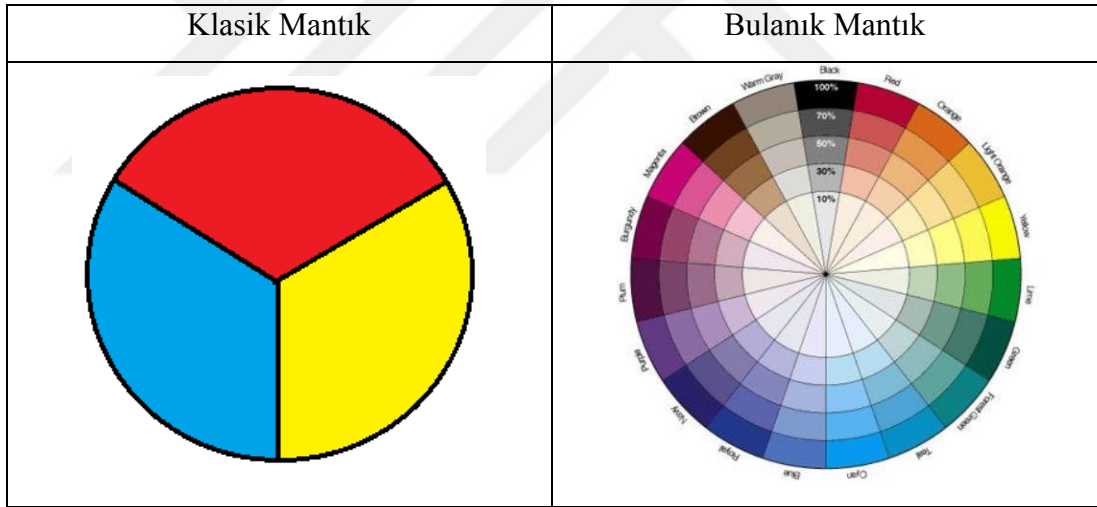
Aristo'nun klasik ikili mantığı sorunların çözümünü keskin bir çizgi şeklinde birbirinden ayırdığı için ortaya belirsiz durumların çıkması söz konusu olmaktadır. Örneğin uzun-kısa, yaşlı-genç gibi kavramlarda belirsizlik durumları söz konusu olup, dilsel değişkenleri matematiksel olarak ifade etmemiz ikili mantıkla mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda ikili mantığın dışında bulanık mantık kavramı daha iyi seçenekler sunmaktadır. Bilgisayarlar ve insan beynini kıyasladığımızda, bilgisayarlar "0" ve "1" kodlarına indirgenmiş, kesin yargılar doğru- yanlış, iyi-kötü vb. gibi önermeler kullanarak akıl yürütürken, insan beyni ise sağduyu sayesinde serin hava ya da alçak hız, yaşlı kadın gibi belirsizlik içeren önermeler ve bulanık anlatımların mevcut durumu açıklayıcı şekilde akıl yürüterek tanımlayabilir (Alcı ve Karatepe, 2002).

Bulanıklık kavramı uygulamalı olarak ilk defa Azeri asıllı Prof. Dr. Lotfi Zadeh tarafından 1962 yılında kullanılmıştır. Gerçek yaşam sistemlerindeki belirsizliklerin sayısal ifadelerle dönüştürülmek suretiyle çözüme kavuşturma süreci bulanık mantık kavramı olarak ortaya atılmıştır (Kılınç, 2008). Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) genelde, günümüz dünyasında sık sık meydana gelen belirsiz ve kesin olmayan

verileri modellemeye yardımcı olmakta, insan düşüncesine en yakın işlemlerin gerçekleşmesini sağlamaktadır (Nabiyev, 2005).

Birçok bilim dalında kesin matematiksel modeller kullanılarak olaylar ve sistemler tanımlanmaktadır. Bu olaylar ve sistemlerin gelecekteki durumlarının belirlenmesinde ve devamındaki davranışlarının tahmin edilmesinde yapılan modellerin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Fakat günlük hayatta karşı karşıya kalınan sorunların çoğu ya çeşitli sebeplerden dolayı tam olarak modellenemeye bilmekte ya da kesin bir sonuca varamamaktadır. Bulanık Mantık yaklaşımı bu gibi problemlerin incelenmesinde ve çözüme kavuşturulmasında kullanılmaktadır (Türkbey, 2003).

Örneğin Şekil 5.1.'deki gibi renkleri ele aldığımızda; klasik mantık ana renkleri net bir şekilde ifade ederken bulanık mantık ise ara renklerin varlığını sınıflandırmamızı sağlamaktadır.



Şekil 5.1. Klasik ve Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık sistemlerin temelinde bulanık mantık mevcuttur. Bulanık sistemler “eğer - o halde” şeklindeki bulanık kurallardan oluşan bilgi ve kural tabanlı sistem olarak adlandırılmakta olup, bulanık mantık yaklaşımını kullanan süreçlerin oluşturulması, performanslarının gözlemlenmesi ve değerlendirmesi için geliştirilen sistemlerdir (Pillay and Wang, 2003).

Bulanık mantık yaklaşımında olaylar keskin çizgiler olmaksızın sınıflandırılabilir. Bu nedenle belirlenemeyen ve karşılığı bulunmayan

değerler bulanık mantık yöntemi sayısal olarak modellenenilmekte ve yeni bir değer kazanmaktadır. Ayrıca bu yaklaşım doğal bir dile sahip olduğu için sorunların adlandırılması ve çözümünde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin klasik mantığa göre “sıcak-soğuk” kavramı, bulanık mantığa göre çok soğuk, soğuk, ılık, az sıcak, sıcak şeklindeki dilsel ifadeler sayısal olarak değer alabilmektedir.

Bulanık mantık; bir kümenin üyesi olma ve olmama durumları arasında kademe-kademe geçişe olanak sağlayarak kısmi üyeliğe izin veren bir teoridir. Küme içerisinde verilen bir elemanın kısmi üyeliğinin başlaması, aynı zamanda bu elemanın belirtilen kümenin üyesi olmama durumunun da kısmi olarak başlaması anlamına gelmektedir. Çünkü bulanık küme teorisi, tam üyeliğe izin verirken, aynı zamanda da hiç üye olmamayı da ifade eder. Bundan dolayı bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin genelleştirilmiş şeklidir (Sattarov, 2008).

5.2. Bulanık Mantığın Tarihsel Gelişimi

Bulanık mantık başta Japonya olmak üzere Kore, Malezya ve Singapur gibi dünyanın birçok yerinde gelişimini hızla sürdürmüş olup, çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeyi daha sonraki yıllarda batı ülkeleri de takip etmiştir.

20. yüzyılın son çeyreğinde zihin felsefesi ön plana çıkarak, kurgudan arınmak için kendine bilim kaynaklı dayanaklar bulmaya başladı. İnsanı diğer canlılardan ayıran düşünme özelliği sayesinde iş görme becerisi, sibernetik makineler tarafından gerçekleştirilmeye başlandı.

Bulanık mantık kuramı, sibernetik ve onunla doğrudan alakalı bilimlerde aklın alamayacağı bir hızla gelişmeleri harekete geçirmiş, sibernetik ve yapay zekâ çalışmalarını çok büyük ölçüde hızlandırmıştır. Sibernetik ve mantık alanında bu dönemde önemli bilimsel çalışmaların bir kısmı gerçekleştirilmiştir. Bu alandaki her bir eseri, büyük bir devrim ve buluş niteliğinde olan bir bilim insanı Lotfy A. Zadeh'dir. Aristoteles'ten bu yana süregelen ve halen sembolik mantık şeklinde varlığını devam ettiren mantık, dilbilimsel problemlere yeni yanıtlar getirmiştir. Ayrıca teknoloji ile desteklenen iki değerli mantığa kuvvetli bir alternatif yöntem sunmuştur (Işıklı, 2009).

Bulanıklık kavramı Amerikalı filozof Black (1937) tarafından düşünce olarak ilk defa ortaya atılmıştır. Daha sonra 1962 yılında Zadeh tarafından ele alınıp birçok çalışma yapılmıştır. Zadeh (1965)'in yayınladığı makalede, sistemdeki karışıklığın oluşturduğu belirsizliğin farklı görünümelerini ve kişilerin algılamaya farklılıklarını ele alarak bulanık küme kuramının temellerini oluşturmuştur. 1970'lerde bulanık mantık, endüstriyel uygulamalarda uygulanması amacıyla uzman sistemlerle birleşerek bir bulanık mantık sistemi oluşturulmuştur. 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ile modellenerek yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile bulanık sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat çekmesini sağlamıştır (Aytaç, 2006).

Kopenhag'de bir çimento firması 1980 yılında ocağın işleyişini kontrol etmek amacıyla bir bulanık mantık sistemi kullanmıştır (Alcı ve Karatepe, 2002). 1987 yılında Hitachi firması Sendai Metrosuna bulanık mantık sistemini kullanarak trenin istenen konumda durmasını üç kat daha iyileştirip, kullanılan enerjiyi %10 oranında azaltmıştır. 1988 yılının Ekim ayında Tokyo Borsasında yaşanan krizin sinyallerini, Yamaichi Securities'in geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem ile on sekiz gün önceden belirlenmiştir. Bu kadar başarılı uygulamalardan sonra bulanık mantığa olan ilgi önemli derecede artmıştır. 1989 yılında aralarında Thomson, Hitachi, IBM, Toshiba ve Matsuhita gibi dünya devlerinin bulunduğu 51 firma tarafından LIFE (Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) laboratuvarları kurulmuştur (Gülçiçek, 2014).

1980 yılına kadar bulanık mantık gelişmeye devam ederken bu tarihten sonra özellikle Japonya'da bulanık kontrol sistemlerinin kurulumunun basit olduğunu fark ederek 1990 yılında tüketici ürünlerinden ilk olarak çamaşır makinesi, televizyon, elektrik süpürgesi vb. birçok teknolojik ürününün yapımında kullanılmıştır. 1993 yılında Sony, bulanık mantık karar ağacı algoritmasını kullanan akıllı bilgisayarları piyasaya sürmüştür (Fuller, 1995).

5.3. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları

Bulanık mantık günümüzde hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. 1980 yılına kadar genellikle teorik araştırmalarda faydalanılan bulanık mantık, özellikle

Japonya’da geliştirilme imkânı bularak çok çeşitli alanlarda kullanımın başlangıç noktası olarak gösterilebilir.

Bulanık mantık sistemleri özellikle son dönemlerde kontrol-denetleme sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni olarak insan düşünce ve zihin yapısına uygun bir şekilde çalışma olanağı sunmasıdır. Akıllı denetim sistemleri, bulanık mantığın genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları ile birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır (Gülçiçek, 2014).

Daha sonra farklı uygulama alanlarında da hızla gelişme göstermiştir. Bu uygulama alanlarından başarılı bir çalışma olan metro sistemleri büyük ses getirmiştir. Metro sistemlerinde, klasik mantıkla anlık hareketler gerçekleştirerek sarsıntılı bir yolculuk gerçekleştirilirken, bulanık mantık sistemi ile bu ani hareketler yumuşatılarak sarsıntı giderilmiştir. Üstelik %10’luk oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yine bulanık mantık sistemleri kullanılarak fotoğraf makinelerinde otomatik odaklama yapılmakta, görüntülerin titremesi dengelenerek berraklık sağlanmaktadır. Bir diğer kullanım alanı ise helikopterler de kullanılan bulanık mantık sistemidir. Bu sistem sayesinde helikopterin çeşitli komutlar ile havalanma, havada kalma ve inişlerde dengede tutulmasına olanak sağlanmaktadır.

Bulanık mantığın farklı birçok kullanım alanı bulunmaktadır:

- Mühendislik ve Bilgisayar Bilimlerinde: Çimento sanayinde, buhar türbini, bulanık veri tabanı sistemlerinde, asansör, vinç denetimi, deprem tahminlerinde, gelişmiş iş makineleri, nükleer işletmelerin otomasyonunun kontrolünde, otomotiv sanayi, bilgisayar ağları tasarımında, endüstriyel teknolojide, mimari tasarımların değerlendirilmesinde, trafik kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca klima, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, elektrik süpürgesi, su ısıtıcıları, video cihazı, vb. gibi ev eşya ve beyaz eşyalarda da bulanık mantık kullanılmaktadır.
- Ekonomi ve Finans: Karmaşık satış sistemlerinin bulanık modellemesinde, borsa, ticaret sistemlerinde, tahvil ve hisse senedi, maliyet–fayda analizlerinde, pazarlama, yatırım değerlendirmesinde kullanılmaktadır.
- Çevre Bilimi: Meteoroloji, su arıtma sistemleri ve kalite kontrolünde kullanılmaktadır.

- Araştırma Çalışmalarında: Yöneylem araştırması, güvenlik ve güvenilirlik, planlama ve modelleme, yapay zekâ, kaynak ayrışımında kullanılmaktadır.
- Biyoloji ve Tıp Biliminde: Hastaların sağlık durumlarının öğrenilmesi, tıbbi tahliller, kanser araştırmaları, tıp veri tabanları, protez cihazlarının işlenmesi, psikoloji, hareket düzensizliklerinin analizinde kullanılmaktadır.
- Yönetim ve Karar Desteklerinde: Çeşitli karar algoritmalarının kurulmasında, fabrika yeri seçimi, market satış stratejilerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.
- Kalıp Tanıma ve Sınıflandırılması: Yüz karakteri, konuşma ve el yazısı tanımlarında, bulanık resim araştırmasında, askeri komut analizlerinde kullanılmaktadır.

5.4. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

- Görsel olan ve kişiden kişiye göre değişen dilsel değişkenleri (uzun-kısa, yaşlı-genç, hızlı-yavaş vb.) basit matematiksel modellerle açıklayabilmektedir.
- Belirsiz, zamanla değişkenlik gösteren, eksik, karışık veya iyi tarif edilemeyen sistemlerin denetimine basit çözümler getirerek matematiksel olarak modellenmesine olanak sağlamaktadır.
- İncelenen olaylarda gerekli görülen yerlerde kişilerin görüşlerine ve değer yargılarına yer verilmektedir.
- İnsan düşünce yapısı ile öğrenme olayını basit matematiksel modelleyerek kolay ve anlaşılır hale gelmesine olanak sağlamaktadır.
- Klasik veya modern denetim teorileri ile basit sistemler modellenebilmektedir. Fakat karmaşık ve çözümleri zor durumlarda klasik veya modern denetim teorilerinin kullanılması hem maliyeti yüksek hem de yeterli gelmemektedir. Bu gibi durumlarda bulanık denetleme klasik veya modern denetim teorilerine göre hem daha başarılı sonuçlar vermekte hem de ekonomik olarak daha ucuzdur.
- Bulanık mantık kesin yargı içeren ikili sistemden oluşmamakta, kesin yargıların arasında ara değerler bulundurmaktadır. Derecelendirme sistemi ile

belirsiz durumlar bilimsel olarak ifade edilmekte ve denetim kalitesi arttırılmaktadır.

- Bulanık mantığın uygulama alanı çok geniş olup, tasarlanan ürünlerin denenmesi ve kullanılması standart yöntemlere göre daha kolaydır.
- Bulanık kontrol genel olarak küçük bir yazılımla çok daha hızlı bir şekilde sonuçlanmaktadır. Örneğin: Sanyo-Fisher firma mühendisleri, video kayıt cihazında kullanmayı düşündükleri mikro bilgisayarın yeterli gelememesinden dolayı, bulanık denetim kullanmaya karar vermişlerdir. Yazılım boyutlarının daha küçük olmasını sağlayan bulanık denetim, dış bellek kullanımına gerek kalmamasını sağlamıştır (<https://prezi.com/q85t9-7c0go-/bulanik-mantigin-avantaj-ve-dejavantajlari-kullanim-alanlar/>).

Dezavantajlar

- Bulanık mantık deneme-yanılma yöntemidir. Bulanık denetimlerde yüksek performans elde etmek temel amaçtır. Üyelik fonksiyonları değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren bir yöntem olmadığı için birçok kez deneme yapılmaktadır. Bu işlemlerde uzun zaman alabilmektedir.
- Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonu değişkenleri tek bir sisteme özel olup, farklı sistemler için kullanılamaz.
- Bulanık kontrol sistemlerinde denetlenecek sisteme ait matematiksel model her zaman oluşturulamamaktadır.
- Bulanık mantıkta uygulanan bir takım kurallar mevcut olup, bu kuralların yetkili uzmanların deneyimlerine bağlı olarak konulması gerekmektedir.

5.5. Klasik ve Bulanık Küme Kavramı

Günlük yaşantımızda karşılaştığımız problemlerin çözümünde zaman zaman belirsiz veya tanımlanması güç ifadeler olmaktadır. Bu ifadeleri tanımlayabilmek için klasik mantığın esas aldığı ikili yanıtın daha fazlasına ihtiyaç vardır. Klasik küme kavramında netlik esastır yani bir nesne sadece bir kümeye aittir. Bulanık kümede bu olgu farklı olup, bir nesne aynı anda daha fazla kümeye de ait olabilir. Örneğin klasik kümeler tek-çift, kadın-erkek, var-yok vb. yanıtı esnemeye müsait olmayan

önermelerde çözüm getirebilirken; aydınlık-karanlık, yaşlı-genç, uzun-kısa vb. önermelerde kişiden kişiye değişen esnek cevaplar neticesinde belirsiz ifadeler ortaya çıkmaktadır. Klasik küme teorisi bu belirsiz durumları adlandırabilmek ve anlaşılır hale getirmek adına insanın düşünme biçimi şeklinde modellenmesi gereken problemlerin çözümünde yeterli olamamaktadır. Ara değerlere ihtiyaç duyan dilsel değişkenleri, matematiksel olarak modelleyebilmek için bulanık küme teorisi alternatif bir yöntem olarak başarılı bir şekilde geliştirilmiş ve birçok alanda uygulanmıştır.

Bulanık küme teorisi; olaylardaki belirsizliklerin modellenmesinde doğala yakın ve daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini; az, sık, orta, düşük, çok, birçok gibi sözel (dilsel) terimleri kullanarak verileri dereceli olarak modelleyen bir teoridir (Nabiyev, 2005). Bu anlamda bulanık küme teorisi, bulanık mantığın görünüşünden daha geniştir ve bulanık mantığı da içinde bulunduğu çeşitli dallara sahiptir. Bu dallar arasında bulanık aritmetik, bulanık topoloji, bulanık veri analizi, bulanık grafik teorisi ve bulanık matematiksel programlama gibi dallar bulunmaktadır (Zadeh, 1994).

Klasik küme teorisinde bir nesne ya kümenin elemanıdır ya da kümeye dâhil değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde nesne küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", olmadığı zaman "0" değerini alır. Bulanık küme teorisi klasik küme gösteriminin genişletilmesidir. Bulanık küme eşitlik (5.1)'deki gibi gösterilmektedir. Bulanık nesne kümesinde her bir nesnenin üyelik derecesi bulunmaktadır. Nesnelerin üyelik derecesi (0,1) aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ şeklinde gösterilir.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)), \text{ öyle ki } x \in E\} \quad (5.1)$$

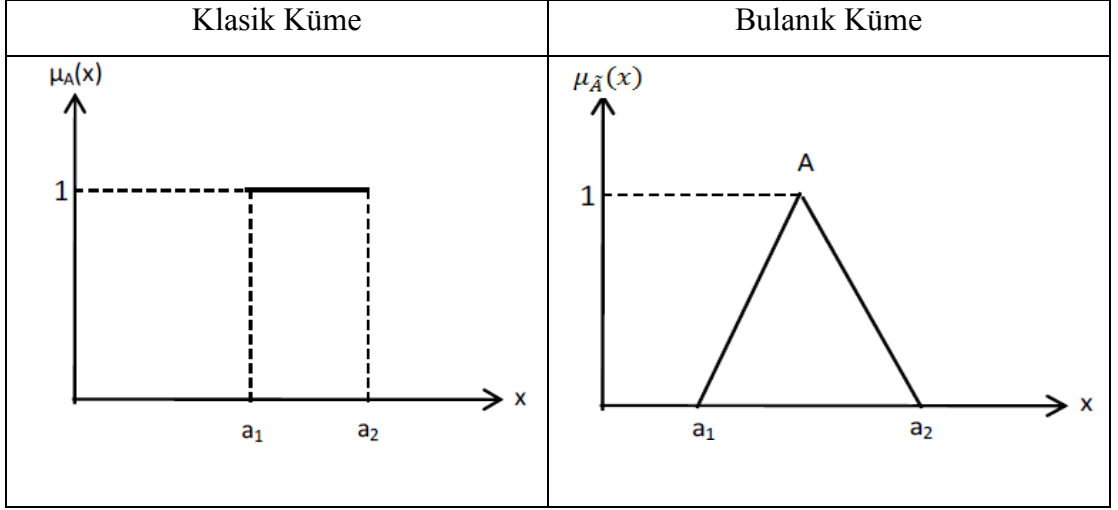
\tilde{A} : bulanık küme

E: uzay kümesi (kesin küme)

x: uzay kümesinin kesin küme elemanları

$\mu_{\tilde{A}}(x)$: x kesin sayılarının A bulanık kümesindeki üyelik dereceleridir

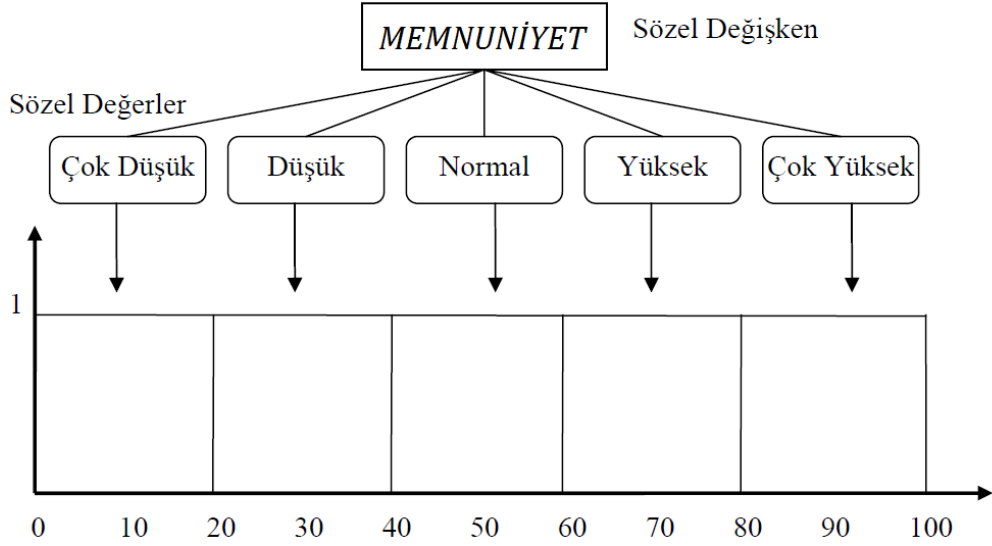
Üyelik fonksiyon ve dereceleri oluşturulurken olayla ilgili değişkenin, limit değerleri, bunların alt aralıkları ve sayısal kümeleri nesnel(kişisel) olarak belirlenmelidir (Gülçiçek, 2014).



Şekil 5.2. Klasik Küme ve Bulanık Küme Gösterimi

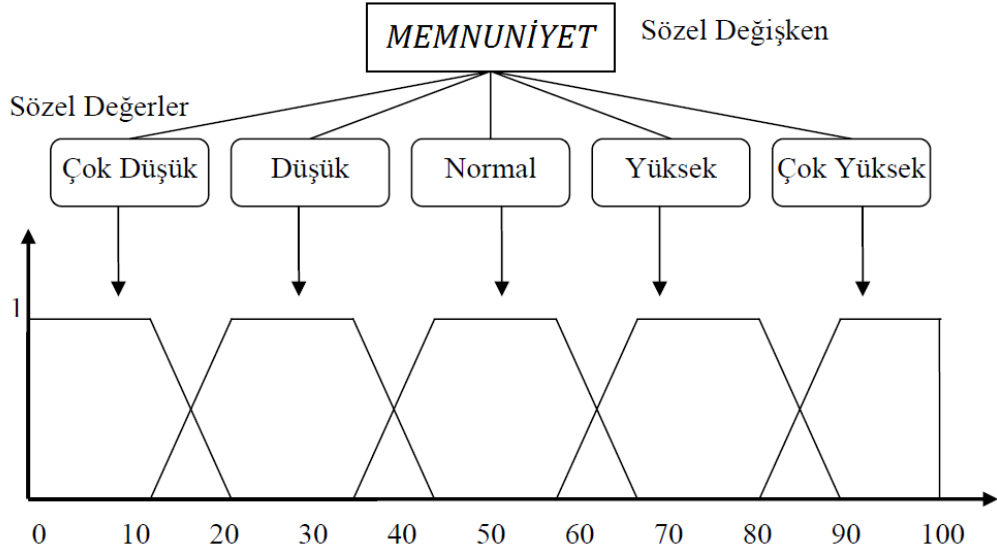
Şekil 5.2.'deki gibi klasik ve bulanık küme gösterimini bir örnekle açıklayacak olursak; kullanılan bir temizlik malzemesinin performansının memnuniyet sonuçlarının değerlendirilmesi istenmektedir. Fakat bu sonuçlar insanlar tarafından memnunuz veya değiliz şeklinde değil de; çok düşük, düşük, normal, yüksek ve çok yüksek gibi farklı ölçüm değerlerinden oluşabilmektedir.

Memnuniyet değişim aralığı 0 ile 100 puan arasında bir puanlama sistemi ile belirlenerek tüm memnuniyet kümesi oluşturulur. Günlük yaşamda memnuniyet değeri kullanılırken farklı alt aralıklardan oluştuğu düşünülür ve klasik küme teorisine göre bütün alt aralıklar kesin sınırlar ile belirlenmeli, birbiri ile kesişmemelidir. Bu yaklaşıma göre her aralığa denk gelen memnuniyet puanının üyelik derecesi sadece düştüğü aralıkta 1'e, diğer aralıklarda ise 0'a eşittir. Bu sebepten her memnuniyet aralığı üyelik fonksiyonu yüksekliği 1'e eşit olan bir dikdörtgen şeklini almaktadır. Dolayısıyla birbirine çok yakın olmasına rağmen 59'un normal; 61'in ise yüksek aralığında olmasına karar verilir. Bu durum Şekil 5.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Klasik Memnuniyet Kümesinin Gösterimi

Bulanık küme yaklaşımında ise aralıkların birbirleri arasında geçişlerini esnek bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak sağlayan bir yapı mevcuttur. Bu yapı ile bir memnuniyet puanı aynı anda iki farklı kümeye ait olabilmektedir. Şekil 5.4.'de gösterildiği gibi örneğin 40 puan derecesi hem düşük kümeye hem de normal kümeyi temsil etmektedir. Bu sayede birbirine yakın değerler keskin bir şekilde ayrılmadan önce bir geçişme durumdan geçmektedir.



Şekil 5.4. Bulanık Memnuniyet Kümesinin Gösterimi

Bulanık küme kavramı dilsel ifadelerden sayısal ölçütlere köprü vazifesi gören bir unsur olarak düşünülebilir. Bulanık küme teorisi ile memnuniyet örneğinde olduğu

gibi dilsel değişkenlerin değerleri bulanık kümeler ile daha mantığa yatkın ve açıklayıcı bir şekilde ifade edilerek dilsel belirsizlikler modellenir (Kılınç, 2008).

5.6. Bulanık Küme Özellikleri

Bulanık kümenin yaygın olarak kullanılan özellikleri destek kümesi, kernel kümesi, sınır kümesi, α - kesim kümesi, dış bükey (konvekslik), yükseklik ve normalliktir.

5.6.1. Destek kümesi

E evrensel kümesindeki bir \tilde{A} bulanık kümesinin üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların oluşturduğu kümeye denir ve matematiksel gösterimi eşitlik (5.2)'deki gibidir.

$$Destek(\tilde{A}) = \{\forall x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (5.2)$$

5.6.2. Kernel kümesi

E evrensel kümesindeki bir \tilde{A} bulanık kümesinin üyelik derecesi 1 olan elemanların oluşturduğu kümeye denir. Bu durum aynı zamanda \tilde{A} bulanık kümesine tamamen üye olan elemanlarının oluşturduğu kümeyi ifade etmektedir ve matematiksel gösterimi eşitlik (5.3)'deki gibidir.

$$Kernel(\tilde{A}) = \{\forall x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (5.3)$$

5.6.3. Sınır kümesi

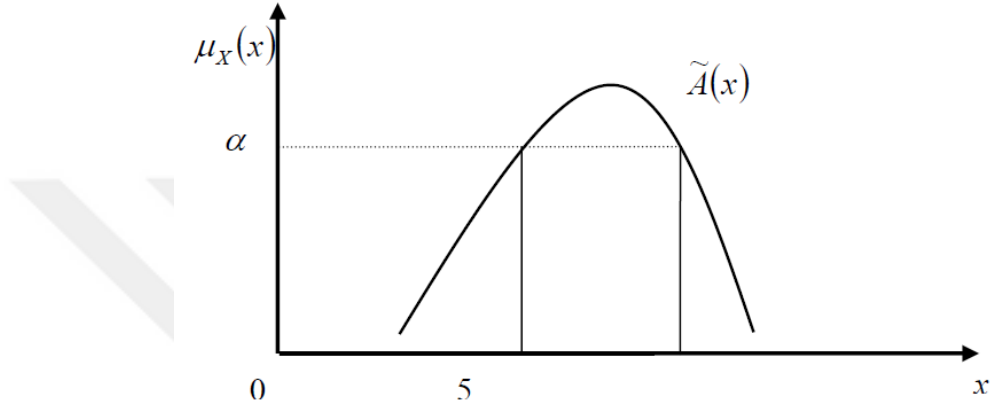
E evrensel kümesindeki bir \tilde{A} bulanık kümesine kısmen üye olan elemanların oluşturduğu kümeye denir ve matematiksel gösterimi eşitlik (5.4)'deki gibidir.

$$Sınır(\tilde{A}) = \{\forall x \in E | 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\} \quad (5.4)$$

5.6.4. α -Kesim kümesi

$\alpha \in (0,1]$ olmak üzere \tilde{A} bulanık kümesinde üyelik değeri α 'ya eşit veya α 'dan büyük olan elemanlardan oluşan kümeye denir ve şekil 5.5.'da gösterilmektedir. Matematiksel gösterimi ise eşitlik (5.5)'deki gibidir.

$$(\tilde{A}) = \{x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (5.5)$$



Şekil 5.5. Bulanık \tilde{A} Kümesine Ait α -Kesim Düzeyi

α -Kesim kavramı zayıf ve güçlü olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu kavramlar, eşitlik işaretinin varlığına ve yokluğuna bağlı olarak oluşmaktadır. Her farklı α seviyesi için yeni bir küme oluşturulacaktır. α değeri $(0,1]$ aralığında değerler alır ve aldığı değerler arttıkça α -kesim kümesinin eleman sayısı azalacaktır. Zayıf α -kesim kümesinde $>$ yerine \geq kullanılması durumunda güçlü α -kesim kümesi elde edilecektir (Kılınç, 2008).

Zayıf α -kesim kümesinin matematiksel gösterimi eşitlik (5.6) ve güçlü α -kesim kümesinin matematiksel gösterimi eşitlik (5.7)'deki gibidir.

$$\tilde{A}_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) > \alpha\}; \alpha \in [0,1) \quad (5.6)$$

$$\tilde{A}_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}; \alpha \in (0,1] \quad (5.7)$$

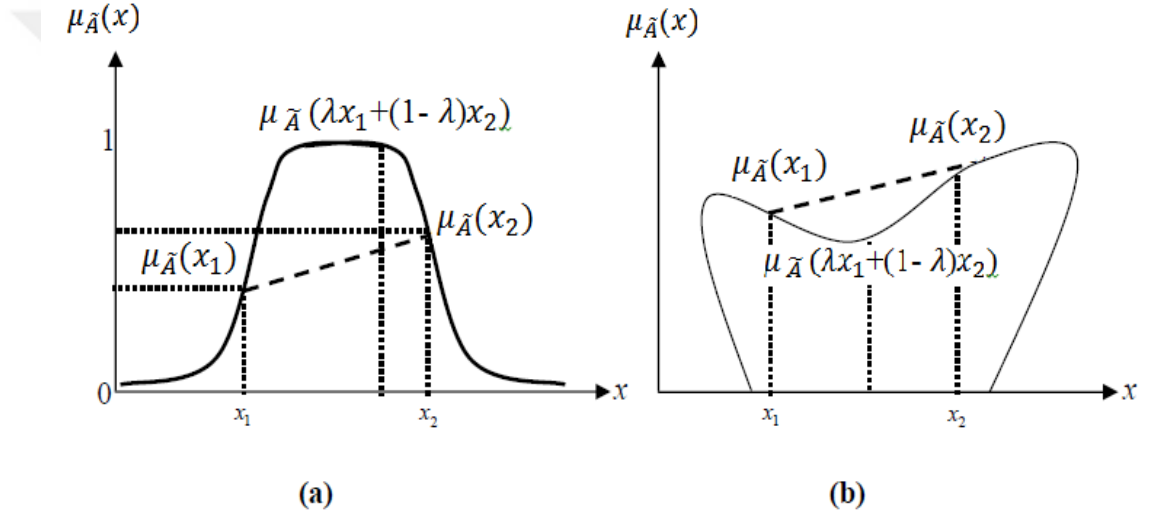
5.6.5. Dış bükeylik (konvekslik)

Bulanık bir \tilde{A} kümesi için eşitlik (5.8) sağlanıyorsa \tilde{A} kümesi dışbükey (konveks) bulanık küme olarak adlandırılmaktadır.

$\forall x_1, x_2 \in E$ ve $\lambda \in [0,1]$ olmak üzere;

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)) \quad (5.8)$$

Şekil 5.6.' da dışbükey (konveks) olan ve dışbükey (konveks) olmayan bulanık küme örnekleri gösterilmektedir (Özkan, 2003).



Şekil 5.6. (a):Dış bükey (konveks) olan bulanık küme, (b): Dışbükey (konveks) olmayan bulanık küme

5.6.6. Yükseklik

Bir bulanık kümeyi oluşturan öğelerin en büyük üyelik fonksiyon derecesi, bu kümenin yüksekliğini ifade etmektedir. Yükseklik kavramı eşitlik (5.9)'daki gibidir.

$$\text{Yükseklik}(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)], \quad \forall x \in E \quad (5.9)$$

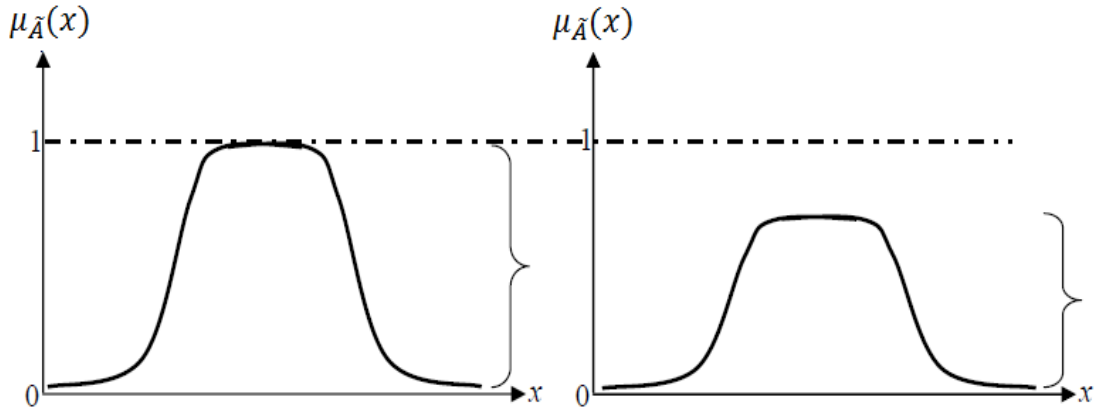
5.6.7. Normallik

Bir bulanık kümeyi oluşturan öğelerden en az bir tanesinin üyelik fonksiyon derecesi 1'e eşit olduğu takdirde bu bulanık kümeye normal bulanık küme denir ve eşitlik (5.10)'daki gibi ifade edilmektedir.

$$Normallik(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)] = 1, \forall x \in E \quad (5.10)$$

Eğer bir bulanık kümenin öğelerinin üyelik fonksiyon dereceleri 1'den küçük ise normalaltı (subnormal) bulanık küme elde edilmektedir. Normalaltı kümeleri, normalleştirebilmek için eşitlik (5.11)'deki gibi üyelik fonksiyon derecelerinin her birini en büyük üyelik derecesine bölmek gerekmektedir. Şekil 5.7.' de normal bulanık küme ve normalaltı bulanık küme örnekleri gösterilmektedir (Başkır, 2011).

$$Normal(\tilde{A}) = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{Yükseklik(\tilde{A})}, \forall x \in E \quad (5.11)$$



Şekil 5.7. (a):Normal bulanık küme, (b):Normalaltı (subnormal) bulanık küme

5.7. Bulanık Küme İşlemleri

5.7.1. Boş Küme

Bir bulanık kümedeki bütün öğelerin üyelik fonksiyon dereceleri sıfıra eşit ise bu kümeye bulanık boş küme adı verilmektedir.

5.7.2. Eşitlik

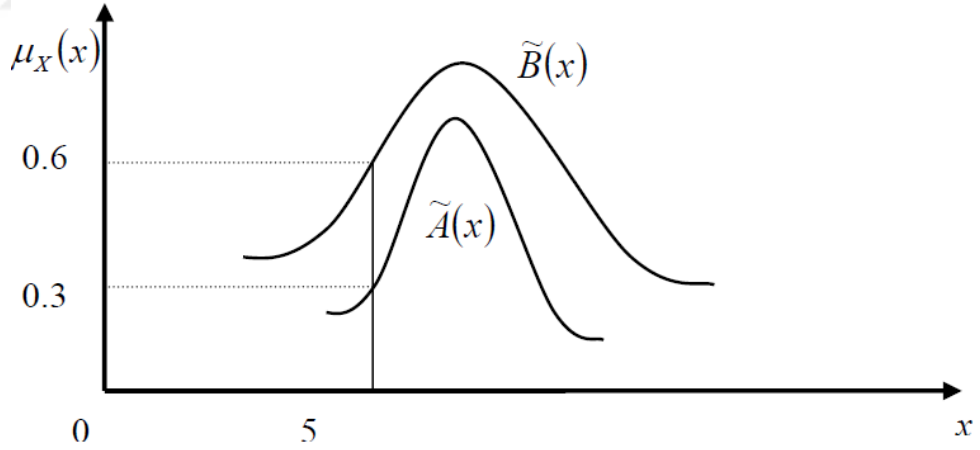
\tilde{A} ve \tilde{B} gibi iki bulanık kümeye ait üyelik fonksiyon dereceleri, evrensel kümede bulunan her bir eleman için aynı üyelik derecesine sahip ise \tilde{A} ve \tilde{B} bulanık kümeleri eşittir denilebilir. Ancak iki bulanık kümenin eşit olması için bu kümelerin aynı evrensel küme içerisinde tanımlanması gerekmekte ve eşitlik (5.12)'deki gibi matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$\tilde{A} = \tilde{B} \leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x), \quad \forall x \in E \quad (5.12)$$

5.7.3. Kapsama

\tilde{A} ve \tilde{B} gibi iki bulanık kümeye ait üyelik fonksiyon dereceleri arasında eşitlik (5.13)'deki gibi bir ilişki mevcut ise \tilde{A} kümesi \tilde{B} kümesinin alt kümesidir şeklinde ifade edilir ve kapsama özelliği şekil 5.8.' de gösterilmektedir (Türe, 2006).

$$\tilde{A} \subset \tilde{B} \leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x), \quad \forall x \in E \quad (5.13)$$



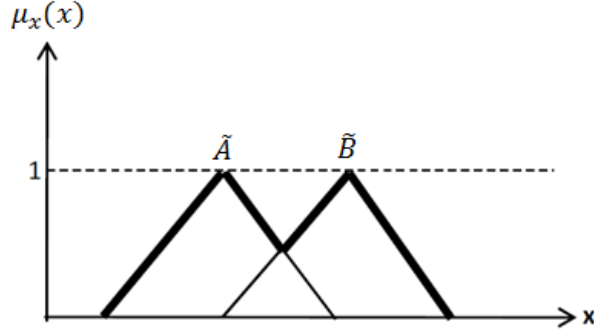
Şekil 5.8. Bulanık Kümelerde Kapsama

5.7.4. Birleşme

\tilde{A} ve \tilde{B} gibi iki bulanık kümenin birleşim işlemi maksimum işlemci ile belirtilmekte ve eşitlik (5.14)'deki gibi matematiksel olarak ifade edilmektedir. Birleşim kümesi, iki kümenin üyelik fonksiyon derecesi en büyük olan elemanlar tarafından

oluşturmaktadır. Bulanık kümelerde birleşim işlemi ‘V’ ile gösterilmektedir. Bulanık kümelerde birleşme özelliği şekil 5.9.’ da gösterilmektedir (Bayhan, 2011; Zadeh, 1965).

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \max[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)], \quad \forall x \in E \quad (5.14)$$

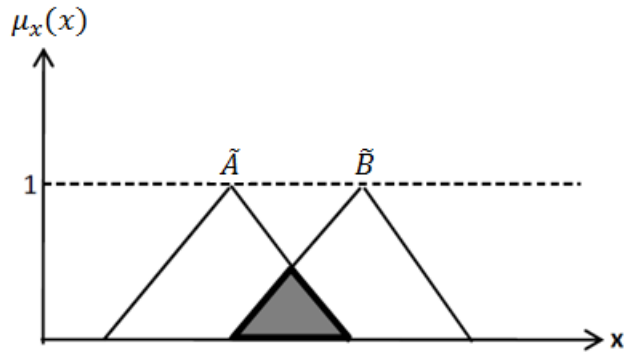


Şekil 5.9. \tilde{A} ve \tilde{B} Bulanık Kümelerine Ait Birleşim Kümesi

5.7.5. Kesişim

\tilde{A} ve \tilde{B} gibi iki bulanık kümenin kesişim kümesi iki kümenin üyelik fonksiyon derecesi en küçük olan elemanlar tarafından oluşturmakta ve eşitlik (5.15)'deki gibi matematiksel olarak ifade edilmektedir. Bulanık kümelerde kesişim işlemi ‘^’ ile gösterilmekte ve kesişme özelliği şekil 5.10.’da gösterilmektedir (Bayhan, 2011).

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)], \quad \forall x \in E \quad (5.15)$$



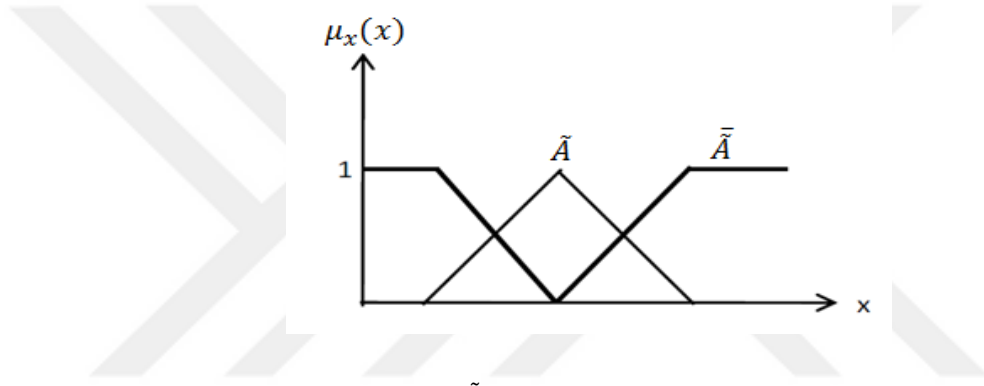
Şekil 5.10. \tilde{A} ve \tilde{B} Bulanık Kümelerine Ait Kesişim Kümesi

5.7.6. Tümlleme

Bir bulanık kümenin tümleyenini bulmak için bu kümenin üyelik fonksiyon dereceleri 1'den çıkarılmalıdır. Buradaki tümleyen kavramı “değil” bağlacına karşılık gelmektedir (Zadeh, 1965).

Bir \tilde{A} kümesinin tümleyeni $\bar{\tilde{A}}$ şeklinde ifade edilmekte ve eşitlik (5.16)'daki gibi matematiksel olarak ifade edilmektedir. \tilde{A} kümesinin tümleyeni şekil 5.11.'de gösterilmektedir (Bayhan, 2011).

$$\mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \text{ ya da } \mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) + \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \quad (5.16)$$



Şekil 5.11. \tilde{A} Bulanık Kümesinin Tümleyeni

5.7.7. Cebirsel toplam

$\tilde{A}, \tilde{B} \subset E$ olmak üzere \tilde{A} ve \tilde{B} bulanık kümelerinin cebirsel toplamı eşitlik (5.17)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A} \oplus \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x) - \mu_{\tilde{A}} \mu_{\tilde{B}}, \quad \forall x \in E \quad (5.17)$$

5.7.8. Cebirsel fark

\tilde{A} ve \tilde{B} bulanık kümelerinin cebirsel farkı kesişim ve tümlleme kavramlarını da içerisinde bulundurmakta ve eşitlik (5.18)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\tilde{A} / \tilde{B} = \tilde{A} \cap \bar{\tilde{B}}, \quad \mu_{\tilde{A} / \tilde{B}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{B}}(x)$$

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min[\mu_{\tilde{A}}(x), 1 - \mu_{\tilde{B}}(x)] \quad (5.18)$$

5.7.9. Cebirsel çarpım

$\tilde{A}, \tilde{B} \subset E$ olmak üzere \tilde{A} ve \tilde{B} bulanık kümelerinin cebirsel çarpımı eşitlik (5.19)'daki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A} \otimes \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \cdot \mu_{\tilde{B}}(x), \quad \forall x \in E \quad (5.19)$$

5.7.10. Cebirsel kuvvet

\tilde{A} bulanık kümesinin $k \geq 0$ olmak üzere \tilde{A}^k cebirsel kuvveti eşitlik (5.20)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}^k}(x) = [\mu_{\tilde{A}}(x)]^k \quad \forall x \in E \quad (5.20)$$

5.8. Üyelik Fonksiyonu Kavramı ve Çeşitleri

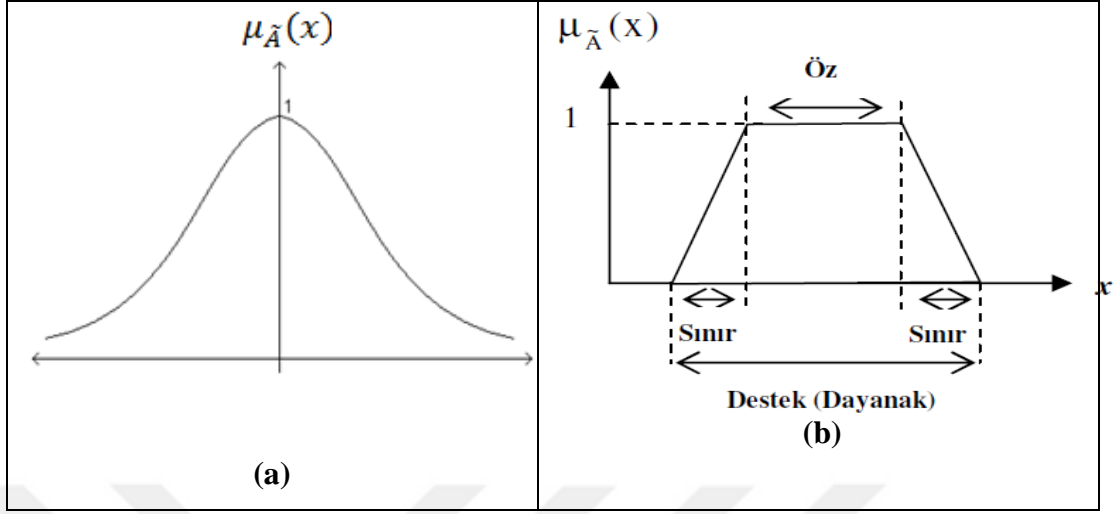
Bulanık mantıkta bir kümeye ait olma durumu üyelik fonksiyonu değeri ile ifade edilmektedir. Genel olarak küme üyeleri ile değişkenlik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu denilmektedir. Bulanık küme tarafından tanımlanan ve “0 ile 1” arasında değer alabilen ilgili karakteristik fonksiyona üyelik fonksiyonu adı verilmektedir (Zadeh and Kacprzyk, 1992).

Üyelik fonksiyonu grafiği oluşturulurken x eksenini üyeleri, y eksenini de üyelik derecelerini göstermektedir. Ayrıca E evrensel kümesinde tanımlanan bir \tilde{A} bulanık kümesi için $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonu eşitlik (5.21)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}: E \leftrightarrow [0,1] \text{ ve } \mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1+10x^2} \quad (5.21)$$

Bir alt kümenin 1'e eşit olan birden fazla elemandan oluşan kümeye o alt kümenin 'özü', tüm elemanlarını içeren aralığa o alt kümenin 'dayanağı', dayanakta bulunan 1 veya 0'a eşit olmayan elemanların oluşturduğu bölümlere ise üyelik fonksiyonunun

‘sınırları veya geçiş bölgeleri’ adı verilmektedir. Şekil 5.12.’de üyelik fonksiyon grafiği ve üyelik fonksiyon grafiğinin kısımları gösterilmektedir.



Şekil 5.12. (a): Üyelik Fonksiyon Grafiği (b): Üyelik Fonksiyon Grafiğinin Kısımları

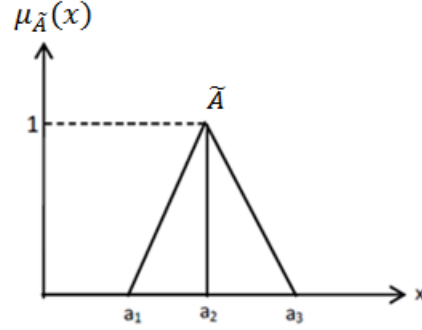
Üyelik fonksiyonlarının birçok çeşidi bulunmasına rağmen uygulamalarda anlaşılabilirliği kolay olması sebebiyle basit fonksiyonlar tercih edilmektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan fonksiyonlar üçgen, yamuk, gaussian ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları olmasına rağmen önemli diğer üyelik fonksiyon çeşitleri sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarıdır.

5.8.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

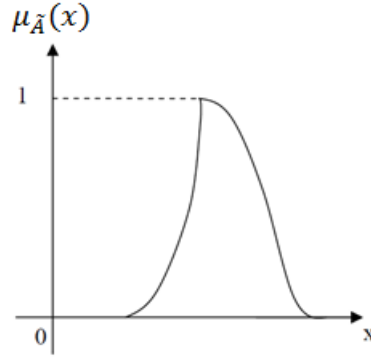
Bir üçgen üyelik fonksiyonu (a_1, a_2, a_3) olmak üzere üç çeşit parametre ile tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden a_1 destek kümesinin alt sınırını, a_2 bulanık kümenin yüksekliğini, a_3 ise destek kümesinin üst sınırını ifade etmektedir. \tilde{A} bulanık kümesi için üçgen üyelik fonksiyonu eşitlik (5.22)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (5.22)$$

Şekil 5.13.'de doğrusal olan üçgen üyelik fonksiyonu verilmektedir. Fakat üçgen üyelik fonksiyonları simetrik ya da doğrusal olmak zorunda değildir. Şekil 5.14.'de doğrusal olmayan üçgen üyelik fonksiyonu gösterilmektedir (Pekin Alakoç, 2012).



Şekil 5.13. Üçgen Üyelik Fonksiyonu



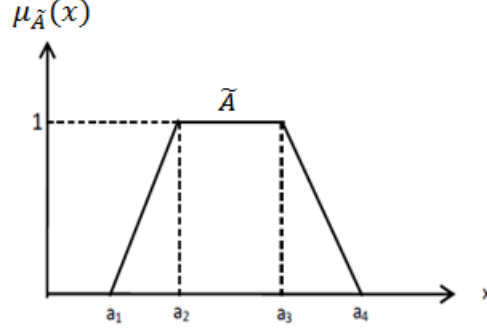
Şekil 5.14. Doğrusal Olmayan Üçgen Üyelik Fonksiyonu

5.8.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu (a_1, a_2, a_3, a_4) olmak üzere dört çeşit parametre ile tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden a_2 ile a_3 arasındaki doğru birden fazla elemana sahiptir ve bu doğru kümenin özünü ifade eder. \tilde{A} bulanık kümesi için yamuk üyelik fonksiyonu eşitlik (5.23)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (5.23)$$

Üçgen üyelik fonksiyonları yamuk üyelik fonksiyonlarının özel bir hali olup, doğrusal olma zorunluluğu da yoktur. Şekil 5.15.'de bir grafik örneği gösterilmektedir.



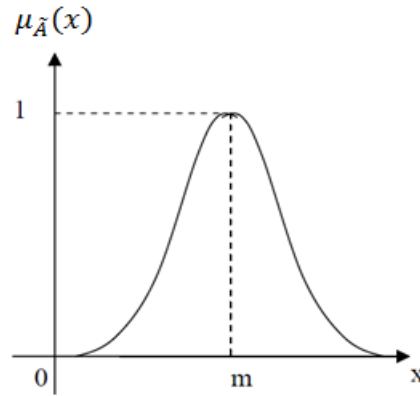
Şekil 5.15. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

5.8.3. Gaussian üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonunda m (ortalama) ve σ (standart sapma) parametreleri ile tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden m fonksiyon merkezini, σ ise genişliği ifade etmektedir. σ küçük olduğu takdirde üyelik fonksiyonu daha ince olurken, bu değer büyüdükçe üyelik fonksiyonu gittikçe yayvanlaşacaktır (Baykal ve Beyan, 2004).

\tilde{A} bulanık kümesi için gaussian üyelik fonksiyonu eşitlik (5.24)'deki gibi ifade edilmekte ve şekil 5.16.'da bir grafik örneği gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x - m}{\sigma}\right)^2\right\} \quad (5.24)$$



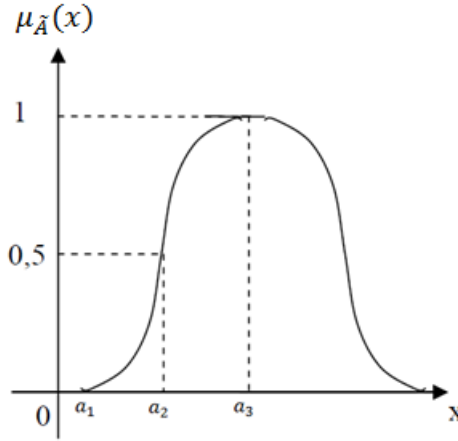
Şekil 5.16. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

5.8.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonundaki gibi (a_1, a_2, a_3) olmak üzere üç çeşit parametre tanımlanmıştır. Bu parametrelerden a_1 grafiğin destek kümesinin alt sınırını, a_2 eğrinin orta noktasını yani üyelik derecesinin 0.5 olduğu noktayı, a_3 ise yükseklik kümesinin orta noktasını ifade etmektedir (Pekin Alakoç, 2012).

\tilde{A} bulanık kümesi için çan eğrisi üyelik fonksiyonu eşitlik (5.25)'deki gibi tanımlanmakta ve şekil 5.17.'de bir grafik örneği gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \exp\left\{\frac{1}{1 + \left|\frac{x-a_3}{a_1}\right|^{a_2}}\right\} \quad (5.25)$$

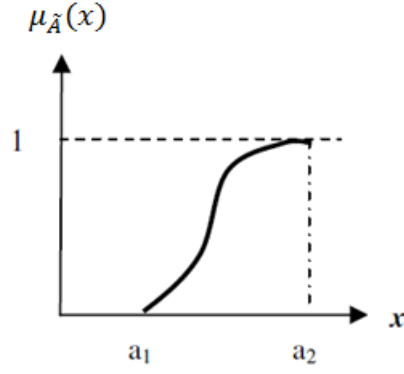


Şekil 5.17. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu

5.8.5. S üyelik fonksiyonu

Bu fonksiyonu, a_1 ve a_2 olmak üzere iki çeşit parametre ile tanımlanmaktadır. \tilde{A} bulanık kümesi için S üyelik fonksiyonu eşitlik (5.26)'daki gibi tanımlanmakta ve Şekil 5.18'de bir grafik örneği gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ 2[(x - a_1)/(a_2 - a_1)]^2, & a_1 \leq x \leq [(a_1 + a_2)/2] \\ 1 - 2[(x - a_2)/(a_2 - a_1)]^2, & [(a_1 + a_2)/2] \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \end{cases} \quad (5.26)$$

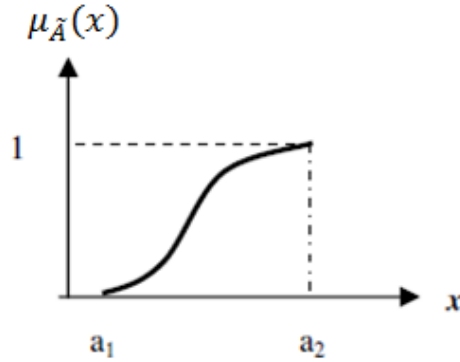


Şekil 5.18. S Üyelik Fonksiyonu

5.8.6. Sigmodial üyelik fonksiyonu

‘S’ üyelik fonksiyonu gibi a_1 ve a_2 olmak üzere iki çeşit parametre ile tanımlanmaktadır. \tilde{A} bulanık kümesi için sigmodial üyelik fonksiyonu eşitlik (5.27)’deki gibi tanımlanmakta ve şekil 5.19.’da bir grafik örneği gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \left\{ \frac{1}{1+e^{-a_1(x-a_2)}} \right\} \quad (5.27)$$



Şekil 5.19. Sigmodial üyelik fonksiyonu

5.9. Bulanık Sayılar

Gerçel sayılarda tanımlanmış ve dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı-sürekli üyelik fonksiyonu olan bir bulanık küme olarak ifade edilmektedir (Bojadziev and Bojadziev, 2007). Bulanık sayıların bir diğer önemli özelliği ise bulanık kümelerde işlem kolaylığı sağlamasıdır. Çeşitli bulanık sayı tipleri mevcut olmasına rağmen, isimlerini üyelik fonksiyon biçimlerinden alan üçgensel ve yamuksal bulanık sayıları, en fazla tercih edilen bulanık sayı tipleridir.

5.9.1. Üçgensel bulanık sayılar

Üçgensel \tilde{A} bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3) olmak üzere üç gerçek sayı ile tanımlanmaktadır. Bu sayılardan a_1 bulanık sayının alt sınırını, a_2 bulanık sayıların en mümkün değerini, a_3 ise bulanık sayının üst sınırını ifade etmektedir. Üçgensel bir \tilde{A} bulanık sayısı için üyelik fonksiyonu eşitlik (5.28)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (5.28)$$

5.9.2. Yamuksal bulanık sayılar

Yamuksal \tilde{A} bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3, a_4) olmak üzere dört gerçek sayı ile tanımlanmaktadır. Yamuksal bir \tilde{A} bulanık sayısı için üyelik fonksiyonu eşitlik (5.29)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (5.29)$$

5.10. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

5.10.1. Toplama işlemi

İki üçgensel veya yamuksal bulanık sayının toplanması sonucunda yine üçgensel veya yamuksal bulanık sayı elde edilir. Bulanık sayılarda toplama işareti “ \oplus ” şeklinde gösterilmektedir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere toplama işlemi eşitlik (5.30) gibi tanımlanmaktadır.

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (5.30)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ şeklinde iki yamuksal bulanık sayı olmak üzere toplama işlemi eşitlik (5.31) gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \end{aligned} \quad (5.31)$$

5.10.2. Çıkarma işlemi

İki üçgensel veya yamuksal bulanık sayının çıkarılması sonucunda yine üçgensel veya yamuksal bulanık sayı elde edilir. Bulanık sayılarda çıkarma işareti “ \ominus ” şeklinde gösterilmektedir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere çıkarma işlemi eşitlik (5.32)’deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (5.32)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ şeklinde iki yamuksal bulanık sayı olmak üzere çıkarma işlemi eşitlik (5.33)’deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned}\tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1)\end{aligned}\quad (5.33)$$

5.10.3. Çarpma işlemi

Üçgensel veya yamuksal bulanık sayıların çarpılması sonucunda her zaman üçgensel veya yamuksal bulanık sayı elde edilemeyebilir. Ancak \tilde{A} üçgensel bulanık veya yamuksal bulanık sayısının gerçek bir sayı ile çarpımı yine bir üçgensel veya yamuksal bulanık sayıdır. Eşitlik (5.34) ve (5.35)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$r * \tilde{A} = \tilde{A} * r = r(a_1, a_2, a_3) = (ra_1, ra_2, ra_3) \quad (5.34)$$

$$r * \tilde{A} = \tilde{A} * r = r(a_1, a_2, a_3, a_4) = (ra_1, ra_2, ra_3, ra_4) \quad (5.35)$$

Bulanık sayılarda çarpma işareti “ \otimes ” şeklinde gösterilmektedir. Bu işlemler yaklaşık sonuçlar vermektedir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere çarpma işlemi eşitlik (5.36)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3), (a_i, b_i \geq 0) \quad (5.36)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ şeklinde iki yamuksal bulanık sayı olmak üzere çarpma işlemi eşitlik (5.37)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned}\tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3, a_4 \cdot b_4), (a_i, b_i \geq 0)\end{aligned}\quad (5.37)$$

5.10.4. Bölme işlemi

Üçgensel veya yamuksal bulanık sayıların bölünmesi sonucunda her zaman üçgensel veya yamuksal bulanık bir sayı elde edilmeyebilir. Bulanık sayılarda bölme işareti “ \oplus ” şeklinde gösterilmektedir. Bu işlemler yaklaşık sonuçlar vermektedir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere bölme işlemi eşitlik (5.38)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \quad (5.38)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ şeklinde iki yamuksal bulanık sayı olmak üzere bölme işlemi eşitlik (5.39)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1/b_4, a_2/b_3, a_3/b_2, a_4/b_1) \end{aligned} \quad (5.39)$$

Ancak \tilde{A} üçgensel veya yamuksal bulanık sayısının r gibi gerçek bir sayı ile bölümü $r \neq 0$ şartıyla $1/r$ ile çarpımı şeklindedir ve eşitlik (5.40) ile (5.41)'daki gibi tanımlanmaktadır .

$$\tilde{A}/r = (1/r)\tilde{A} = 1/r(a_1, a_2, a_3) = (a_1/r, a_2/r, a_3/r), \quad r \in \mathbb{R} \text{ ve } r \neq 0 \quad (5.40)$$

$$\frac{\tilde{A}}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)\tilde{A} = \frac{1}{r(a_1, a_2, a_3, a_4)} = (a_1/r, a_2/r, a_3/r, a_4/r), \quad r \in \mathbb{R} \text{ ve } r \neq 0 \quad (5.41)$$

6. BULANIK KALİTE KONTROL

Hızlı bir şekilde gelişen teknoloji ve yaşam şartları rekabet koşullarını arttırmakta ve farklılaşma tutkusunu da giderek ön plana çıkarmaktadır. Bu durum günümüz modern toplumunun karar verme süreçlerini belirsiz ve karmaşık bir duruma getirmektedir. Karar verme süreçlerini inceleyen kalite kontrol yöntemleri gelişerek günümüze kadar gelmektedir. Kontrol grafikleri, bu anlamda önemli bir yere sahip olup kalite karakteristiğinin ortalama ve varyansındaki kaymalar için süreci izlemek üzere tasarlanmıştır.

Klasik istatistiksel kalite kontrolünde temel yöntem olan kontrol grafikleri gözlemlenen işin gün gün gösterdiği değişiklikleri dikkate almadığından sıklıkla hata vererek kontrol dışında noktalar olduğunu belirtecektir. Örneğin bir işte bir gün boyunca fazla miktarda mal üretilip diğer gün düşük miktarda üretebilir ya da makineler boyut olarak bir gün büyük kesimli ürünler üretilirken diğer gün küçük kesimli ürünler üretebilir. Bu gibi faktörler standart olan bir günü tanımlamakta yetersiz kalmaktadır. Klasik kalite kontrol ile yönetimin ilgilenmesi gereken, sürecin kontrol altında olup olmaması, özel kontrollerin başlatılıp başlatılmaması ya da yeni uygulamaların farklılık yaratıp yaratmayacağı gibi soruların cevaplanması yeterli olmamaktadır. Bu gibi durumlarda bulanık mantık bu sorunları ortadan kaldırıp hem insan yargısına yer verebilmekte hem de belirsizliği modelleyebilmektedir (Aytaç, 2006).

Kalite kontrol, zaman içerisinde gelişen yöntemlerle birleşerek kendi içerisindeki sorunlara yanıtlar getirmiştir. Yeni yöntemlerle kalite kontrol standartları üst seviyelere taşınmaktadır. Bu yöntemler arasında bulanık mantık yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantığın, kalite kontrol grafikleriyle birleşmesi ile bulanık kalite kontrol grafikleri oluşmakta, sürecin gözlemlenmesinde ve analizinde birçok yarar sağlamaktadır.

6.1. Bulanık Kalite Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri, bir süreç içerisindeki ürün veya hizmetlerin istatistiksel yöntemlerle kontrol altında tutulmasına olanak sağlayan en etkin yöntemdir. Günümüzde kontrol grafikleri olasılık ve bulanık mantık ile birleşerek çalışmalarda gelişmeler elde etmektedir. Bunun için kontrol grafiklerinin oluşumunda tüm parametrelerin tanımlanması gerekmektedir. Fakat klasik kalite kontrol grafikleri için dilsel ifadeleri tanımlamak pek mümkün olamamaktadır. Bu sebeple klasik kalite kontrol grafikleri ile bulanık yöntemler birleşip, veri yapısı sözel/dilsel veriler olan bulanık kalite kontrol grafiklerini oluşturarak bu sorunun üstesinden rahatlıkla gelinebilmektedir.

Tüm kontrol grafiklerinin genel yapısında, süreç kontrol altında olduğunda sürecin ortalamasına karşılık gelen merkez çizgi, sürecin kontrol altında veya kontrol dışı olduğuna karar vermede önemli rol oynayan ÜKL ve AKL yer almaktadır. Bulanık mantığın bir uygulama alanı da kontrol sistemindeki alt ve üst kontrol limitlerinin belirlenmesidir. Kesin sistem limitlerini belirlemenin uygun prosedürü olan üç standart sapmalı alt ve üst kontrol limitleri sistemin esnekliğini sınırlayabilmektedir. Değişen sistem parametreleri sayesinde bulanık mantık kontrollerde uygulanabilmektedir. (Ting-Du and Wolfe, 1997).

Sürecin kontrol altında olup olmamasını incelemek adına ve süreç esnasında oluşan birçok problemin çözümünü en ekonomik ve güvenilir bir biçimde sağlayan bulanık kalite kontrol grafiklerinin avantajları şu şekilde özetlenmektedir:

- Süreç kontrolünde eksik bilgilerin olması, üretim sürecinin çok karışık olması, yetersiz bilgi ve belirsiz durumlarda uzman kişilerin görüşlerine yer verilmesi gibi bir takım durumlar klasik kalite kontrol grafiklerinde sonuçsuz kalırken bulanık kalite kontrol grafikleri sayesinde çözüme ulaşmaktadır.
- Klasik kalite kontrol grafiklerinde alt ve üst kontrol limitlerinin değerleri örneklemdaki alt grupların eleman sayısına bağlıdır. Bulanık kontrol grafiklerinde ise bu durum olmak zorunda değildir (Gülbay ve Kahraman, 2007).
- Klasik kalite kontrol grafikleri, sonuçları “süreç kontrol altında” veya “süreç kontrol dışında” şeklinde belirtirken; bulanık kalite kontrol grafiklerinde

çizilen grafikler ara kararları da içerdiği için kalite kontrol sürecini daha güvenilir duruma getirmektedir.

- Bulanık kalite kontrol grafikleri karmaşık durumları sözel olarak ifade eder ve ayrıca sürecin kontrol altında veya kontrol dışında olmasını derecelendirerek belirtmektedir. Bu durum sonuçların gerçeğe daha yakın olmasını aynı zamanda daha esnek sonuçlara da olanak sağlamaktadır (Pekin Alakoç, 2012).
- Bulanık kalite kontrol grafiğinde birden çok kalite karakteristiği incelenebilir ve verilerin klasik kalite kontrol grafiklerindeki gibi gerçek ve kesin olmasına gerek yoktur. Bulanık kalite kontrol grafikleri belirsiz verilerle de sonuca ulaşabilmektedir.

6.2. Bulanık Temsilci Değerleri

6.2.1. Bulanık mod(tepe değeri) yaklaşımı

Bir f bulanık kümesinin bulanık modu X üyelik derecesinin 1'e eşit olduğu durumdur. Bu durum eşitlik (6.1)'deki gibi gösterilmektedir.

$$f_{mod} = \{x \in X / \mu_f(x) = 1\} \quad (6.1)$$

Üyelik fonksiyonu tek tepeli ise bulanık mod tektir. Üçgen üyelik fonksiyonu tek tepelidir. Yamuk üyelik fonksiyonu çok tepelidir. Bu nedenle bulanık mod $[b, c]$ noktaları arasındaki kümedir. $\widetilde{ÜKL}$, \widetilde{KL} ve \widetilde{AKL} grafiklerin kontrol limitlerini belirlemek için bulanık mod kullanılarak temsilci değerlerine dönüştürülür. $\widetilde{ÜKL}$, \widetilde{KL} ve \widetilde{AKL} çok tepeli olduğu için bulanık modları da üyelik derecesi 1 olan kapalı aralıklara karşılık gelecektir.

Örnek j için S_{modj} eşitlik (6.2), bulanık mod $\widetilde{ÜKL}$, \widetilde{KL} ve \widetilde{AKL} 'nin karşılık gelen kapalı aralıkları eşitlik (6.3)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{modj} = [b_j, c_j] \quad (6.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} KL_{mod} = f_{mod}(\widetilde{KL}) = [KL_2, KL_3] \\ AKL_{mod} = KL_{mod} - 3\sqrt{KL_{mod}} = [(KL_2 - 3\sqrt{KL_2}), (KL_3 - 3\sqrt{KL_3})] \\ \quad = [AKL_2, AKL_3] \\ \ddot{U}KL_{mod} = KL_{mod} + 3\sqrt{KL_{mod}} = [(KL_2 + 3\sqrt{KL_2}), (KL_3 + 3\sqrt{KL_3})] \\ \quad = [\ddot{U}KL_2, \ddot{U}KL_3] \end{array} \right. \quad (6.3)$$

Burada $f_{mod}(\widetilde{KL})$ bulanık merkez çizgisinin bulanık modudur. Kontrol limitlerinin hesaplanmasından sonra her bir örneğin bulanık modu, örneklerin kontrol altında olup olmadığını belirlemek için bu aralıklarla karşılaştırılır. Örnek j için S_{modj} 'lerin kümesi kontrol limitleri tarafından tamamen kapsanıyorsa örnek kesinlikle kontrol altında, aksi takdirde bir örneğin bulanık modu tamamen kontrol limitlerinin dışındaysa örnek tamamen kontrol dışıdır. Alternatif olarak bir örneğin bulanık modu kontrol limitlerinin kümesine kısmi olarak dahil oluyorsa bulanık kontrol limitlerine düştüğü kümenin (β_j) yüzdesi, önceden tanımlanan yüzde ile karşılaştırılır ve örnek için kısmi olarak kontrol altında veya kısmi olarak kontrol dışında şeklinde karar verilir. Daha sonra $\beta_j \geq \beta$ “kısmen kontrol altında”, ya da $\beta_j < \beta$ ise “kısmen kontrol dışında” olarak kararlaştırılmalıdır. Buradaki β_j , eşitlik (6.4)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\beta_j = \begin{cases} 0, & \text{eğer } b_j \geq \ddot{U}KL_3 \\ \frac{\ddot{U}KL_3 - b_j}{c_j - b_j}, & \text{eğer } (AKL_2 \leq b_j \leq \ddot{U}KL_3) \wedge (c_j \geq \ddot{U}KL_3) \\ 1, & \text{eğer } (b_j \geq AKL_2) \wedge (c_j \leq \ddot{U}KL_3) \\ \frac{AKL_2 - b_j}{c_j - b_j}, & \text{eğer } (b_j \leq AKL_2) \wedge (AKL_2 \leq c_j \leq \ddot{U}KL_3) \\ 0, & \text{eğer } c_j \leq AKL_2 \end{cases} \quad (6.4)$$

β 'nın değeri subjektif olarak uzman kişinin deneyimlerinden yararlanılarak tanımlanır. Bu değer 1'e yaklaştıkça şüpheli alanın genişliği artar. $\beta = 1$ olduğunda süreç kontrol kararı “kontrol altında “ veya “kontrol dışında” olarak sonuçlanır. Sürecin kontrol koşulları eşitlik (6.5)'deki gibi ifade edilir (Gülbay ve Kahraman, 2007).

Proses kontrol =

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{kontrol altında,} \quad \text{eğer } \beta = 1 (b_j \geq AKL_2 \wedge c_j \leq \ddot{U}KL_3) \\ \text{kontrol dışında,} \quad \text{eğer } \beta = 0 (b_j \geq \ddot{U}KL_3 \vee c_j \leq AKL_2) \\ \text{kısmen kontrol altında,} \quad \text{eğer } \beta_j \geq \beta \\ \text{kısmen kontrol dışında,} \quad \text{eğer } \beta_j < \beta \end{array} \right\} \text{aksi takdirde} \quad (6.5)$$

6.2.2. α - Seviyesinde bulanık orta aralık yaklaşımı

α - seviyeli bulanık orta aralık f_{mr}^α , α - kesiminin uçlarının orta noktası olarak tanımlanır. Eğer a^α ve d^α , α - kesiminin uç noktaları ise bulanık orta aralık eşitlik (6.6)'daki gibi hesaplanır.

$$f_{mr}^\alpha = \frac{1}{2}(a^\alpha + d^\alpha) \quad (6.6)$$

Aslında $\alpha=1$ olduğunda α seviyeli bulanık orta aralık, bulanık modun özel bir halidir ve $S_{mr,j}^\alpha$ eşitlik (6.7)'deki ve kontrol limitleri eşitlik (6.8)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{mr,j}^\alpha = \frac{a_j^\alpha + d_j^\alpha}{2} = \frac{(a_j + d_j) + \alpha[(b_j - a_j) - (d_j - c_j)]}{2} \quad (6.7)$$

Bu yaklaşımda, kontrol limitleri hesaplanırken eşitlik (6.8) kullanılır.

$$\left\{ \begin{array}{l} KL_{mr}^\alpha = f_{mr}^\alpha(\widetilde{KL}) = \frac{KL_1^\alpha + KL_4^\alpha}{2} = \frac{(KL_1 + KL_4) + \alpha[(KL_2 - KL_1) - (KL_3 - KL_4)]}{2} \\ AKL_{mr}^\alpha = KL_{mr}^\alpha - 3\sqrt{KL_{mr}^\alpha} \\ \ddot{U}KL_{mr}^\alpha = KL_{mr}^\alpha + 3\sqrt{KL_{mr}^\alpha} \end{array} \right. \quad (6.8)$$

Bu yaklaşımda her bir örnek için süreç kontrol koşulları eşitlik (6.9)'daki gibi gösterilmektedir (Gülbay ve Kahraman, 2007).

$$\text{proses kontrol} = \left\{ \begin{array}{l} \text{kontrol altında,} \quad \text{eğer } AKL_{mr}^\alpha \leq S_{mr,j}^\alpha \leq \ddot{U}KL_{mr}^\alpha \\ \text{kontrol dışında,} \quad \text{diğer durumlarda} \end{array} \right. \quad (6.9)$$

6.2.3. α - Seviyesinde Bulanık Medyan Yaklaşımı

α - seviyeli bulanık medyan f_{med}^α , bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunu α - seviyesinde iki eşit bölgeye bölen noktadır. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun yamuk şekline sahip olduğu varsayılırsa, $(a^\alpha, b, c, d^\alpha)$ alanını iki eşit bölgeye bölen nokta eşitlik (6.10)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{med,j}^\alpha = \frac{1}{4}(a_j^\alpha + b + c + d_j^\alpha) \quad (6.10)$$

Burada a^α ve d^α bulanık kümenin α - seviyeli uç noktalarıdır. Temsilci değer olarak α - seviyesindeki bulanık medyan kullanıldığında, kontrol limitleri eşitlik (6.11)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{cases} KL_{med}^\alpha = f_{med}^\alpha(\widetilde{KL}) = \frac{1}{4}(KL_1^\alpha + KL_2 + KL_3 + KL_4^\alpha) \\ AKL_{med}^\alpha = KL_{med}^\alpha - 3\sqrt{KL_{med}^\alpha} \\ ÜKL_{med}^\alpha = KL_{med}^\alpha + 3\sqrt{KL_{med}^\alpha} \end{cases} \quad (6.11)$$

Her bir örnek için süreç kontrol koşulları eşitlik (6.12)'deki gibi gösterilmektedir (Gülbay ve Kahraman, 2007).

$$proses\ kontrol = \begin{cases} kontrol\ altında, \\ eğer\ AKL_{med}^\alpha \leq S_{med,j}^\alpha \leq ÜKL_{med}^\alpha \\ kontrol\ dışında, \quad diğer\ durumlarda \end{cases} \quad (6.12)$$

6.3. Bulanık $\widetilde{\bar{X}} - \widetilde{\bar{R}}$ ve $\widetilde{\bar{X}} - \widetilde{\bar{s}}$ Kontrol Grafikleri

Sürecin ortalamasının veya kalite seviyesinin kontrolü genellikle \bar{X} grafikleri ile yapılır. Fakat süreçteki değişkenliğin ve yayılmanın kontrolü R grafiği olarak adlandırılan aralık grafiği ve s grafiği olarak adlandırılan standart sapmanın kontrol edilmesi yoluyla yapılabilir. Tezin bu bölümünde bulanık sayılara dayanan bulanık $\widetilde{\bar{X}} - \widetilde{\bar{R}}$ ve $\widetilde{\bar{X}} - \widetilde{\bar{s}}$ grafikleri üzerinde durulacaktır.

6.3.1. Üçgen bulanık sayılar için bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ kontrol grafiği

Bir kalite özelliği “yaklaşık X” olarak tanımlansın. Bu değer üçgen bulanık sayıya dönüştürüldüğünde (ÜBS) $\tilde{X} = (X_1, X_2, X_3)$ olmaktadır. Üçgen $(X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}) j = 1, \dots, n$, şeklinde üçgen bulanık sayılardan n boyutlu bir örneğin ölçümünden sonra genişleme prensibi kullanılarak bu örneklerin ortalaması eşitlik (6.13) ve değişim aralığı eşitlik (6.14)’deki gibi hesaplanmaktadır:

$$\tilde{X} = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3) = \left(\frac{\sum_{j=1}^n X_{1j}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^n X_{2j}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^n X_{3j}}{n} \right) \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} \tilde{R} &= (R_1, R_2, R_3) \\ &= (\max X_{1j}, \max X_{2j}, \max X_{3j}) \ominus (\min X_{1j}, \min X_{2j}, \min X_{3j}) \\ &= (\max X_{1j} - \min X_{3j}, \max X_{2j} - \min X_{2j}, \max X_{3j}, \min X_{1j}) \end{aligned} \quad (6.14)$$

Burada $(\max X_{1j}, \max X_{2j}, \max X_{3j})$ ve $(\min X_{1j}, \min X_{2j}, \min X_{3j})$ bulanık ölçümlerin maksimum ve minimum değerleridir. Bu yöntem bulanık ölçümlerin maksimum ve minimum değerlerini belirlemek için sıralama yöntemidir. En popüler bulanık yöntemlerden biri “Ağırlıklı Ortalama Yöntem”’dir. Boyutu n olan örnekler için m tane örneğin ortalaması eşitlik (6.15) ve değişim aralığı eşitlik (6.16)’daki gibi hesaplanmaktadır (Khademi and Amirzadeh, 2014).

$$\tilde{\bar{X}} = (\bar{\bar{X}}_1, \bar{\bar{X}}_2, \bar{\bar{X}}_3) = \left(\frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{3i}}{m} \right) \quad (6.15)$$

$$\tilde{\bar{R}} = (\bar{\bar{R}}_1, \bar{\bar{R}}_2, \bar{\bar{R}}_3) = \left(\frac{\sum_{i=1}^m R_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m R_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m R_{3i}}{m} \right) \quad (6.16)$$

$\tilde{\bar{X}} - \tilde{\bar{R}}$ kontrol grafiği için kontrol limitleri eşitlik (6.17)’deki gibi hesaplanmaktadır:

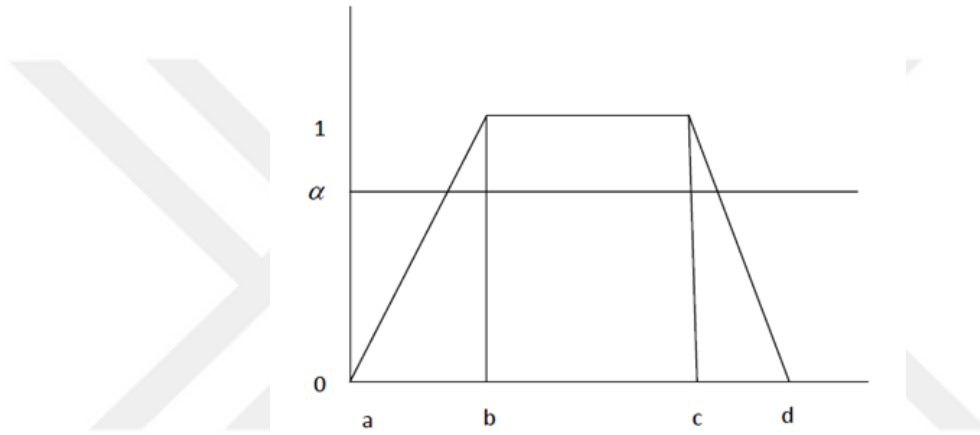
$$\left\{ \begin{aligned} \widetilde{ÜKL}_{\bar{X}} &= \tilde{\bar{X}} + A_2 \tilde{\bar{R}} = (\bar{\bar{X}}_1 + A_2 \bar{\bar{R}}_1, \bar{\bar{X}}_2 + A_2 \bar{\bar{R}}_2, \bar{\bar{X}}_3 + A_2 \bar{\bar{R}}_3) \\ &= (\widetilde{ÜKL}(\bar{X})_1, \widetilde{ÜKL}(\bar{X})_2, \widetilde{ÜKL}(\bar{X})_3) \\ \widetilde{KL}_{\bar{X}} &= \tilde{\bar{X}} = (\bar{\bar{X}}_1, \bar{\bar{X}}_2, \bar{\bar{X}}_3) = (KL(\bar{X})_1, KL(\bar{X})_2, KL(\bar{X})_3) \\ \widetilde{AKL}_{\bar{X}} &= \tilde{\bar{X}} - A_2 \tilde{\bar{R}} = (\bar{\bar{X}}_1 - A_2 \bar{\bar{R}}_1, \bar{\bar{X}}_2 - A_2 \bar{\bar{R}}_2, \bar{\bar{X}}_3 - A_2 \bar{\bar{R}}_3) \\ &= (AKL(\bar{X})_1, AKL(\bar{X})_2, AKL(\bar{X})_3) \end{aligned} \right. \quad (6.17)$$

ve \tilde{R} kontrol grafiği için kontrol limitleri eşitlik (6.18)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$\begin{cases} \widetilde{ÜKL}_R = \tilde{R}D_4 = (\bar{R}_1D_4, \bar{R}_2D_4, \bar{R}_3D_4) = (ÜKL(R)_1, ÜKL(R)_2, ÜKL(R)_3) \\ \widetilde{KL}_R = \tilde{R} = (\bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3) = (KL(R)_1, KL(R)_2, KL(R)_3) \\ \widetilde{AKL}_R = \tilde{R}D_3 = (\bar{R}_1D_3, \bar{R}_2D_3, \bar{R}_3D_3) = (AKL(R)_1, AKL(R)_2, AKL(R)_3) \end{cases} \quad (6.18)$$

6.3.2. Yamuk bulanık sayılar için bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ kontrol grafiği

Süreçten elde edilen her bir örneğin şekil 6.1.'de gösterildiği gibi bir bulanık sayıya karşılık geldiği varsayalım.



Şekil 6.1. Bir Örneğin Yamuk Bulanık Sayılarla Temsil Edilmesi

Yamuk bulanık sayıları her gözlem için (X_a, X_b, X_c, X_d) olarak ifade edilmiştir. Buradaki b ve c sayıları eşit olduğunda ($b=c$) yamuk bir bulanık üçgene dönüşür. Bu durumda üçgen bir bulanık sayı, (a, b, b, d) veya (a, c, c, d) yamuk şeklinde bir bulanık sayı olarak ifade edilir. Merkez çizgi \widetilde{KL} , $(\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d)$ şeklinde temsil edilen bulanık örnek ortalamalarının aritmetik ortalamasıdır. Burada $\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c$ ve \bar{X}_d toplam ortalama olarak adlandırılır ve eşitlik (6.19)'daki gibi hesaplanmaktadır (Pandurajan and Varadharajan, 2011).

$$\begin{cases} \bar{X}_{rj} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_{rij}}{n}; r = a, b, c, d; i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m \\ \bar{X}_r = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{rj}}{m}; r = a, b, c, d; j = 1, 2, 3, \dots, m \\ \widetilde{KL} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{aj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{bj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{cj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{dj}}{m} \right\} \end{cases} \quad (6.19)$$

Burada n bulanık örneklem boyutu, m bulanık örneklerin sayısı, \widetilde{KL} ise bulanık \widetilde{X} kontrol grafiğinin merkez çizgisini gösterir.

Bulanık \widetilde{X} Kontrol Grafiğinin Kontrol Limitleri:

Geleneksel \bar{X} kontrol grafiği prosedürünü kullanarak, bulanık sayıya dayalı aralıklarla bulanık \widetilde{X} kontrol grafiklerinin kontrol limitleri eşitlik (6.20)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{ÜKL}_{\bar{X}} = \widetilde{KL} + A_2\bar{R} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) + A_2(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c, \bar{R}_d) \\ \quad = (\bar{X}_a + A_2\bar{R}_a, \bar{X}_b + A_2\bar{R}_b, \bar{X}_c + A_2\bar{R}_c, \bar{X}_d + A_2\bar{R}_d) \\ \quad = (\widetilde{ÜKL}_1, \widetilde{ÜKL}_2, \widetilde{ÜKL}_3, \widetilde{ÜKL}_4) \\ \widetilde{KL} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) = (\widetilde{KL}_1, \widetilde{KL}_2, \widetilde{KL}_3, \widetilde{KL}_4) \\ \widetilde{AKL}_{\bar{X}} = \widetilde{KL} - A_2\bar{R} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) - A_2(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c, \bar{R}_d) \\ \quad = (\bar{X}_a - A_2\bar{R}_a, \bar{X}_b - A_2\bar{R}_b, \bar{X}_c - A_2\bar{R}_c, \bar{X}_d - A_2\bar{R}_d) \\ \quad = (\widetilde{AKL}_1, \widetilde{AKL}_2, \widetilde{AKL}_3, \widetilde{AKL}_4) \end{array} \right. \quad (6.20)$$

Burada $\bar{R}_r = \frac{\sum R_{ij}}{m}; r = a, b, c, d; j = 1, 2, 3, \dots, m$ olduğunda R_{rj} 'yi hesaplama prosedürü eşitlik (6.21)'deki gibidir:

$$\begin{aligned} R_{rj} &= X_{max.aj} - X_{min.cj}; R_{rj} = X_{max.bj} - X_{min.bj}; R_{rj} = X_{max.cj} - X_{min.cj}; \\ R_{rj} &= X_{max.dj} - X_{min.aj}; j = 1, 2, 3, \dots, m. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Burada $(X_{max.aj}, X_{max.bj}, X_{max.cj}, X_{max.dj})$ örneklemdeki maksimum bulanık sayıları ve $(X_{min.aj}, X_{min.bj}, X_{min.cj}, X_{min.dj})$ örneklemdeki minimum bulanık sayıları ifade etmektedir.

Klasik R kontrol grafiği kullanılarak, yamuk bulanık sayıya sahip kontrol grafiği için bulanık \widetilde{R} kontrol limitleri eşitlik (6.22)'deki gibi hesaplanmaktadır (Rashid and Haydar, 2015).

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{ÜKL}_R = D_4(R_a, R_b, R_c, R_d) \\ \widetilde{KL}_R = (R_a, R_b, R_c, R_d) \\ \widetilde{AKL}_R = D_3(R_a, R_b, R_c, R_d) \end{array} \right. \quad (6.22)$$

6.3.3. Üçgen bulanık sayılar için bulanık $\tilde{\bar{X}} - \tilde{s}$ kontrol grafiği

R grafiği, bir kalite karakteristiği ile ilişkili dağılımı izlemek için kullanılan çok popüler bir kontrol grafiğidir. Yapımı kolay ve küçük boyutlu örneklerdeki değişimi ölçmek için iyi bir ölçü olması R grafiğinin yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Ancak örnek büyüklüğü ($n > 10$) arttıkça ölçme kalitesi düşer. Bu nedenle bu tür durumlarda standart sapma tercih edilir (Şentürk ve Erginel, 2009).

Standart sapmaya dayalı bulanık $\tilde{\bar{X}}$ kontrol grafiği:

Eşitlik (6.23)'deki gibi hesaplanan bulanık \tilde{s}_j , j örneğinin standart sapmasıdır.

$$\tilde{s}_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{a,i}, X_{b,i}, X_{c,i}) - (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c)]^2}{n-1}} \quad (6.23)$$

Bulanık ortalama \tilde{s} , eşitlik (6.24)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$\tilde{s} = \left(\frac{\sum_{j=1}^m s_{aj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m s_{bj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m s_{cj}}{m} \right) = (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c) \quad (6.24)$$

Bulanık $\tilde{\bar{X}}$ kontrol grafiğinin standart sapmaya dayanan kontrol limitleri eşitlik (6.25)'deki gibi elde edilmektedir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{ÜKL}_{\bar{X}} = \widetilde{KL} + A_3 \bar{s} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) + A_3 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c) \\ = (\bar{X}_a + A_3 \bar{s}_a, \bar{X}_b + A_3 \bar{s}_b, \bar{X}_c + A_3 \bar{s}_c) = (\widetilde{ÜKL}_1, \widetilde{ÜKL}_2, \widetilde{ÜKL}_3) \\ \widetilde{KL}_{\bar{X}} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) = (\widetilde{KL}_1, \widetilde{KL}_2, \widetilde{KL}_3) \\ \widetilde{AKL}_{\bar{X}} = \widetilde{KL} - A_3 \bar{s} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) - A_3 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c) \\ = (\bar{X}_a - A_3 \bar{s}_a, \bar{X}_b - A_3 \bar{s}_b, \bar{X}_c - A_3 \bar{s}_c) = (\widetilde{AKL}_1, \widetilde{AKL}_2, \widetilde{AKL}_3) \end{array} \right. \quad (6.25)$$

Klasik s kontrol grafiği kullanılarak, üçgen bulanık sayıya sahip kontrol grafiği için bulanık \tilde{s} kontrol limitleri eşitlik (6.26)'daki gibi elde edilmektedir (Basri vd., 2016).

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{ÜKL} = B_4 \bar{s} = B_4 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c) = (B_4 \bar{s}_a, B_4 \bar{s}_b, B_4 \bar{s}_c) \\ \widetilde{KL} = \bar{s} = (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c) \\ \widetilde{AKL} = B_3 \bar{s} = B_3 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c) = (B_3 \bar{s}_a, B_3 \bar{s}_b, B_3 \bar{s}_c) \end{array} \right. \quad (6.26)$$

6.3.4. Yamuk bulanık sayılar için bulanık $\tilde{\bar{X}} - \tilde{s}$ kontrol grafiği

Yamuk bulanık sayılar için bulanık \tilde{S}_j eşitlik (6.27)'deki gibi, bulanık ortalama \tilde{s} , ise eşitlik (6.28)'deki gibi hesaplanmaktadır (Pandurajan and Varadharajan, 2011).

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_a, X_b, X_c, X_d)_{ij} - (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d)_j]^2}{n-1}} \quad (6.27)$$

$$\tilde{s} = \left(\frac{\sum_{j=1}^m s_{aj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m s_{bj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m s_{cj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m s_{dj}}{m} \right) = (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c, \bar{s}_d) \quad (6.28)$$

Bulanık $\tilde{\bar{X}}$ kontrol grafiğinin standart sapmaya dayanan kontrol limitleri eşitlik (6.29)'daki gibi elde edilmektedir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{ÜKL}_{\bar{X}} = \widetilde{K\bar{L}} + A_3 \bar{s} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) + A_3 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c, \bar{s}_d) \\ \quad = (\bar{X}_a + A_3 \bar{s}_a, \bar{X}_b + A_3 \bar{s}_b, \bar{X}_c + A_3 \bar{s}_c, \bar{X}_d + A_3 \bar{s}_d) \\ \quad = (\widetilde{ÜKL}_1^a, \widetilde{ÜKL}_2, \widetilde{ÜKL}_3, \widetilde{ÜKL}_4^a) \\ \widetilde{K\bar{L}}_{\bar{X}} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) = (\widetilde{K\bar{L}}_1, \widetilde{K\bar{L}}_2, \widetilde{K\bar{L}}_3, \widetilde{K\bar{L}}_4) \\ \widetilde{AK\bar{L}}_{\bar{X}} = \widetilde{K\bar{L}} - A_3 \bar{s} = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d) - A_3 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c, \bar{s}_d) \\ \quad = (\bar{X}_a - A_3 \bar{s}_a, \bar{X}_b - A_3 \bar{s}_b, \bar{X}_c - A_3 \bar{s}_c, \bar{X}_d - A_3 \bar{s}_d) \\ \quad = (\widetilde{AK\bar{L}}_1, \widetilde{AK\bar{L}}_2, \widetilde{AK\bar{L}}_3, \widetilde{AK\bar{L}}_4 \end{array} \right. \quad (6.29)$$

Klasik s kontrol grafiği kullanılarak, yamuk bulanık sayıya sahip kontrol grafiği için bulanık \tilde{s} kontrol limitleri eşitlik (6.30)'daki gibi elde edilmektedir (Basri vd., 2016).

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{ÜKL} = B_4 \bar{s} = B_4 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c, \bar{s}_d) = (B_4 \bar{s}_a, B_4 \bar{s}_b, B_4 \bar{s}_c, B_4 \bar{s}_d) \\ \quad \widetilde{K\bar{L}} = \bar{s} = (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c, \bar{s}_d) \\ \widetilde{AK\bar{L}} = B_3 \bar{s} = B_3 (\bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{s}_c, \bar{s}_d) = (B_3 \bar{s}_a, B_3 \bar{s}_b, B_3 \bar{s}_c, B_3 \bar{s}_d) \end{array} \right. \quad (6.30)$$

7. UYGULAMA

Kalite kontrol grafiklerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla çoğunlukla aşağıdaki gibi tanımlanan ortalama koşum uzunluğu (ARL) ölçüsü kullanılmaktadır:

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (7.1)$$

Burada p bir noktanın kontrol dışında olma olasılığını göstermektedir. ARL sözel olarak, süreçte ilk kontrol dışı durumla karşılaşana kadar geçen örnek sayısı şeklinde tanımlanmaktadır. ARL değerleri iki farklı durum dikkate alınarak hesaplanmaktadır. İlk durum, sürecin kontrol altında olmasına, ikinci durum ise süreçte kontrol dışı gözlemlerin yer almasına karşılık gelmektedir. ARL_0 ve ARL_1 ile adlandırılan bu durumlar aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (7.2)$$

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} \quad (7.3)$$

Burada α ve β sırasıyla Tip I ve Tip II hata olasılıklarına karşılık gelmektedir ve sırasıyla süreç kontrol altındayken kontrol dışı bir gözlemle karşılaşma ve süreç kontrol dışında iken kontrol altında bir gözlemle karşılaşma olasılıklarıdır. Burada istenen durum ARL_0 'nın mümkün olduğunca büyük ARL_1 'in mümkün olduğunca küçük olmasıdır.

Bu çalışmada, istatistiksel ve bulanık nicel (R , \bar{X} -R, s ve $\bar{X} - s$) kontrol grafiklerinin simülasyon çalışması ile performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak ARL kullanılmıştır. Simülasyon çalışmaları için ilk olarak değişik örneklem büyüklüklerinde değişik sayıda örnekler seçilerek kontrol sınırları belirlenmiştir. Bir başka deyişle simülasyon çalışmalarında ana kütle parametrelerinin bilinmediği varsayılmıştır. Kontrol sınırları belirlendikten sonra değişik örneklem büyüklüklerinde örnekler üretilerek bu örneklerin kontrol sınırları içinde olup olmadıkları kontrol edilmiş ve koşum uzunluğu (RL) değerleri kayıt

edilmiştir. Bu işlem 10.000 kere tekrar edilmiş ve elde edilen RL değerinin ortalaması alınarak ARL değerleri hesaplanmıştır.

Simülasyon çalışması için 4 farklı durum dikkate alınmıştır:

İstatistiksel ve bulanık nicel kalite kontrol grafiklerinin performanslarının karşılaştırılabilir olduğunu göstermek amacıyla ilk olarak sürecin kontrol altında olduğu durumlar dikkate alınmış bir başka deyişle grafiklerin ARL_0 değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem değişik örnek sayıları (M) ve örnek büyüklükleri (n) için tekrar edilmiştir. Kontrol altında bir süreç üretmek amacıyla örnekler 0 ortalama 1 varyansla normal dağılımdan üretilmiştir.

İkinci simülasyon çalışmasında süreç ortalamasındaki kontrol dışı durumlar dikkate alınmıştır. Bu amaca yönelik olarak değişik örnek sayıları ve örneklem büyüklüklerinde 0 ortalama 1 varyanslı normal dağılımdan gözlemler üretilerek kontrol sınırları belirlenmiştir. Kontrol sınırları belirlendikten sonra, normal dağılımdan örnekler üretilerek her bir örneğe 0.5 değeri eklenerek ve RL değerleri kayıt edilmiştir ve 10.000 tekrar sonucunda ARL değerleri hesaplanmıştır.

Üçüncü simülasyon çalışmasında amaç, varyansta kontrol dışı durumlarda istatistiksel ve bulanık kontrol grafiklerinin performanslarının nasıl değiştiğini ve hangisinin daha iyi bir performansa sahip olduğunu ortaya koymaktır. Burada yine kontrol altında bir süreç üretilip kontrol sınırları belirlenmiş ve normal dağılımdan üretilen örnekler 1.1 değeri ile çarpılarak kontrol dışı örnekler üretilmiştir.

Son durumda hem ortalama hem varyansta kontrol dışı durumlar incelenmiştir. Burada kontrol dışı örnekler üretmek amacıyla 0 ortalama 1 varyanslı normal dağılımdan üretilen örnekler hem 1.1 ile çarpılmış hem de 0.5 ile toplanmıştır.

Bulanık kontrol grafiklerini oluşturmak amacıyla ilk olarak 0 ortalama 1 varyansla normal dağılımdan üretilen örnekler Basri vd., (2016) çalışmasına benzer olarak Çizelge 7.1.'deki yöntemle göre bulanıklaştırılmıştır.

Çizelge 7.1. Örneklerin Bulanıklaştırılması

	A	B	C	D
Üçgen	X-(0'dan 1.2)*X	X	X+(0'dan 1.2)*X	-
Yamuk	X-(0'dan 1.2)*X	X-(0'dan 0.6)*X	X+(0'dan 0.6)*X	X+(0'dan 1.2)*X

Burada her bir simülasyon çalışması farklı bir başlık altında incelenmiştir.

7.1. Sürecin Kontrol Altı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Nicel Kalite Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Sürecin kontrol altı durumlarda benzer performansa sahip olduğunu göstermek amacıyla gerçekleştirilen simülasyon çalışması sonuçları ARL değerleri çizelge 7.2.-7.5.'de verilmektedir.

Çizelge 7.2. İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	235.3676	235.763	137.921	138.18
	n=3	320.7395	321.246	202.3559	202.7
	n=4	320.7378	321.281	229.0407	229.41
	n=5	330.9104	331.464	236.0038	236.41
	n=6	318.9189	319.498	236.4656	236.88
	n=7	298.9955	299.584	237.6938	238.12
	n=8	294.6337	295.24	234.7529	235.2
	n=9	284.0327	284.614	233.3303	233.76
	n=10	254.1614	254.75	230.1363	230.59
M=50	n=2	138.87	139.3	136.98	137.25
	n=3	208.56	140.35	205.76	206.09
	n=4	233.36	233.92	229.73	230.11
	n=5	241.66	242.72	243.32	243.72
	n=6	248.35	248.95	247.02	247.44
	n=7	248.15	248.75	243.92	244.36
	n=8	249.09	249.7	243.47	243.9
	n=9	234.26	234.86	235.31	235.76
	n=10	225.68	226.28	228.34	228.78
M=100	n=2	222.182	222.587	113.0883	113.37
	n=3	290.1167	290.619	168.6035	168.94
	n=4	337.7516	338.29	196.8268	197.2
	n=5	318.8545	319.434	214.7423	215.15
	n=6	314.1445	314.729	218.1608	218.58
	n=7	300.127	300.719	221.9279	222.36
	n=8	284.3049	284.891	218.9573	219.4
	n=9	264.7958	265.387	210.4738	210.92
	n=10	254.9961	255.587	211.7348	212.19
M=200	n=2	104.5931	105.022	102.5764	102.84
	n=3	167.3632	167.885	159.6608	160.01
	n=4	191.2759	191.829	185.3525	185.74
	n=5	203.5577	204.137	196.0673	196.47
	n=6	211.101	211.692	210.6154	211.04
	n=7	215.6088	216.218	210.478	210.92
	n=8	217.1761	217.795	208.8344	209.27
	n=9	211.976	212.587	208.8984	209.33
	n=10	209.3927	210.022	206.2381	206.69

Çizelge 7.3. İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	1490.965	1491.45	2007.192	2007.52
	n=3	510.349	510.848	519.6603	520.001
	n=4	426.0119	426.522	412.1612	412.502
	n=5	377.8015	378.328	357.2445	357.578
	n=6	349.0324	349.55	353.0334	353.365
	n=7	340.219	340.723	332.2818	332.609
	n=8	341.4696	341.992	329.4504	329.783
	n=9	329.0543	329.581	328.1941	328.531
	n=10	321.0114	321.532	309.274	309.612
	M=50	n=2	608.3561	608.867	579.9112
n=3		400.3848	400.903	381.1592	381.507
n=4		363.9622	364.478	351.94	352.29
n=5		344.2451	344.782	347.1762	347.519
n=6		339.044	339.572	337.282	337.632
n=7		324.7391	325.272	319.2852	319.631
n=8		329.8491	330.379	325.562	325.913
n=9		327.7043	328.233	322.1907	322.546
n=10		330.2411	330.769	304.3144	304.663
M=100		n=2	422.2307	422.759	427.1272
	n=3	365.1221	365.656	346.8528	347.192
	n=4	352.74	353.271	336.8501	337.194
	n=5	333.1477	333.684	332.7217	333.073
	n=6	336.4823	337.027	325.3064	325.652
	n=7	332.2478	332.784	316.7294	317.091
	n=8	330.3012	330.849	325.0295	325.38
	n=9	328.3791	328.906	317.4683	317.821
	n=10	321.1398	321.672	318.2882	318.645
	M=200	n=2	375.6689	376.214	368.0794
n=3		345.9121	346.444	336.6867	337.05
n=4		340.3336	340.879	329.7482	330.106
n=5		336.403	336.939	326.5246	326.883
n=6		336.2593	336.791	322.8304	323.194
n=7		329.3545	329.889	316.5738	316.94
n=8		329.6808	330.227	326.5161	326.866
n=9		325.0523	325.587	317.6848	318.039
n=10		322.8464	323.388	317.8741	318.229

Çizelge 7.4. İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	254.28	254.77	260.51	261.21
	n=12	349.49	350.03	243.13	243.86
	n=13	216.91	217.57	248.18	248.87
	n=14	188.51	188.76	200.78	201.44
	n=15	316.95	317.4	264.07	264.72
	n=16	214.1	214.52	205.47	206.13
	n=17	235.28	235.81	182.03	182.55
	n=18	224.38	225.02	234.59	235.18
	n=19	210.19	210.69	219.46	220.06
	n=20	198.34	198.71	182.95	183.47
	n=21	214.32	214.76	174.59	175.02
	n=22	176.7	177	147.32	147.84
	n=23	211.45	211.71	198.79	199.01
	n=24	193.17	193.55	214.31	214.57
	n=25	178.3	178.72	189.96	190.35
M=50	n=11	319.41	319.89	241.92	242.49
	n=12	234.85	235.38	226.89	227.57
	n=13	290.01	290.5	235.6	236.2
	n=14	224.66	225.18	255.55	256.16
	n=15	198.45	199.03	224.92	225.53
	n=16	194.68	194.96	240.69	241.34
	n=17	216.76	217.03	206.89	207.42
	n=18	201.06	201.28	210.22	210.64
	n=19	210.48	210.74	248.28	248.75
	n=20	253.78	254.12	238.21	238.73
	n=21	214.12	214.51	224.25	224.77
	n=22	209.46	209.8	189.6	190
	n=23	175.36	175.84	254.52	254.93
	n=24	224.4	224.82	173.19	173.52
	n=25	158.21	158.56	162.5	163.09

Çizelge 7.4. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	284.16	284.88	288.35	288.99
	n=12	209.44	210	286.04	286.64
	n=13	323.62	324.16	259.59	260.19
	n=14	224.02	224.62	224.25	224.74
	n=15	210.13	210.65	220.54	221.14
	n=16	237.1	237.52	221.99	222.47
	n=17	209.59	210	271.3	271.94
	n=18	197.2	197.73	185.52	186.01
	n=19	222.32	222.68	156.63	157.14
	n=20	278.88	279.31	241.24	241.72
	n=21	239.03	239.34	216.37	216.88
	n=22	260.65	260.99	156.2	156.63
	n=23	201.04	201.33	186.52	186.9
	n=24	216.47	216.89	226.02	226.33
	n=25	170.04	170.32	186.33	186.78
M=200	n=11	281.65	282.29	239.82	240.35
	n=12	244.52	245.04	207.14	207.84
	n=13	250.91	251.44	202.01	202.63
	n=14	244.02	244.64	256.21	256.81
	n=15	244.17	244.7	263.98	264.55
	n=16	241.02	241.54	240.72	241.24
	n=17	276.33	276.85	234.5	235.01
	n=18	211.99	212.6	239.92	240.41
	n=19	225.48	225.84	279.99	280.44
	n=20	231.32	231.85	239.08	239.59
	n=21	191.52	191.8	203.14	203.56
	n=22	186.11	186.56	215.34	215.83
	n=23	238.74	239.23	180.18	180.42
	n=24	234.03	234.44	216.93	217.34
	n=25	179.13	179.55	176.42	176.84

Çizelge 7.5. İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -s Kontrol Grafikleri için ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	435.94	436.78	326.98	327.34
	n=12	299.8	300.64	296.81	297.07
	n=13	469.16	469.96	298.09	298.43
	n=14	353.73	354.54	323.34	323.76
	n=15	334.36	335.23	283.75	284.05
	n=16	408.92	409.82	243.08	243.36
	n=17	340.48	341.24	262.42	262.68
	n=18	372.5	373.29	229.59	229.83
	n=19	300.35	301.16	239.65	239.99
	n=20	304.37	305.17	280.52	280.97
	n=21	311.75	312.59	348.95	349.31
	n=22	324.85	325.68	317.86	318.14
	n=23	271.58	272.42	320.04	320.34
	n=24	289.71	290.58	306.56	306.9
	n=25	352.56	353.36	346.97	347.38
M=50	n=11	424.84	425.64	270.73	271.08
	n=12	446.92	447.78	330.59	330.97
	n=13	327.46	328.27	303.71	304.06
	n=14	362.93	363.82	384.1	384.42
	n=15	322.08	322.94	350	350.31
	n=16	352.69	353.54	236.68	237.02
	n=17	394.1	394.98	358.02	358.34
	n=18	336.38	337.22	401.86	402.23
	n=19	305.13	305.98	291.96	292.33
	n=20	331.59	332.41	279.01	279.32
	n=21	345.22	346.07	330.38	330.75
	n=22	322.23	323.11	294.9	295.29
	n=23	372.52	373.4	318.55	318.99
	n=24	315.36	316.21	303.17	303.47
	n=25	330.58	331.43	343.4	343.72

Çizelge 7.5. (devam)

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	415.87	416.73	310.7	311.05
	n=12	362.25	363.1	328.89	329.24
	n=13	358.57	359.46	302.53	302.97
	n=14	337.83	338.68	251.32	251.65
	n=15	386.93	387.77	318.12	318.49
	n=16	350.86	351.72	356.88	357.1
	n=17	452.81	453.65	252.74	253.02
	n=18	329.02	329.83	309.59	309.98
	n=19	370.49	371.3	294.54	294.8
	n=20	361.45	362.31	286.37	286.72
	n=21	303.88	304.67	267.2	267.54
	n=22	398.02	398.82	309.24	309.61
	n=23	386.77	387.57	288.25	288.61
	n=24	375.14	375.99	362.04	362.43
	n=25	346.45	347.27	326.65	327.03
M=200	n=11	411.59	412.38	257.02	257.33
	n=12	309.42	310.24	330.25	330.59
	n=13	361.15	362	270.55	270.98
	n=14	338.75	339.61	288.42	288.79
	n=15	359.46	360.27	325.13	325.48
	n=16	365.68	366.53	332.12	332.46
	n=17	424.89	425.75	298.67	299.01
	n=18	352.19	353.06	270.53	270.9
	n=19	335.88	336.7	281.22	281.6
	n=20	376.92	377.75	374.14	374.39
	n=21	352.85	353.67	328.93	329.26
	n=22	399.17	400.01	361.2	361.48
	n=23	327.56	328.42	377.15	377.48
	n=24	346.1	346.92	300.23	300.61
	n=25	372.17	373.03	295.59	296.01

Çizelge 7.2.-7.5. ayrı ayrı incelendiğinde, üçgen ve bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin sürecin kontrol altı olduğu durumda farklı örnek büyüklüğü ve farklı örnek sayıları için performanslarının birbirine çok yakın olduğu görülebilmektedir. Buradan yola çıkarak istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R,

s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin kontrol dışı durumlar için karşılaştırılabilir olduğu söylenebilir.

7.2. Varyans Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Çizelge 7.6.-7.9.'da üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin sürecin varyansının kontrol dışı olduğu duruma ilişkin ARL değerleri verilmektedir.

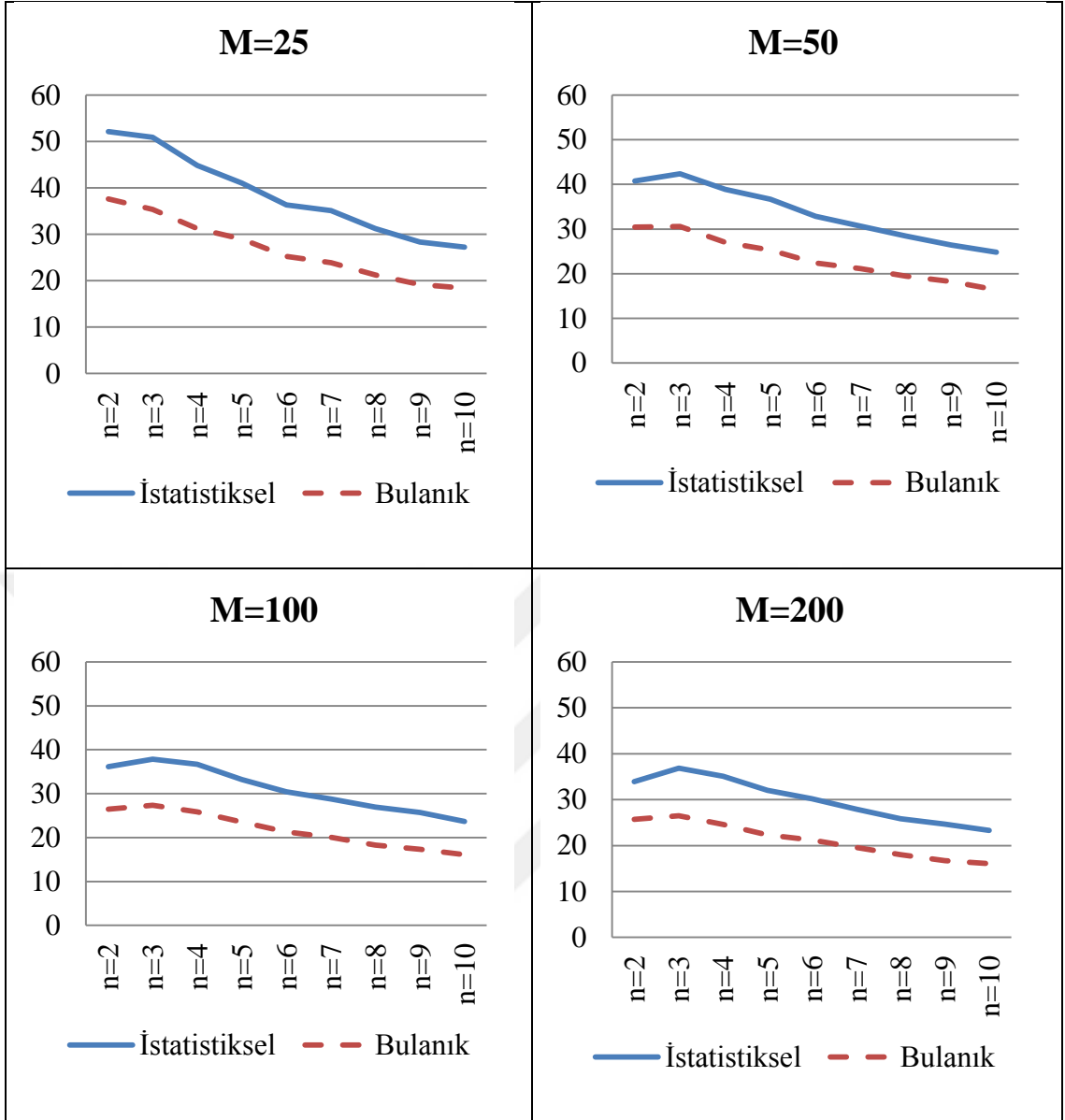
Çizelge 7.6. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	52,1445	37,6089	53,9412	43,3253
	n=3	50,8848	35,3599	49,1553	37,4678
	n=4	44,8389	31,2418	46,9405	34,6847
	n=5	41,0302	29,0028	41,147	30,7918
	n=6	36,3171	25,2687	37,0077	27,6198
	n=7	35,0743	23,8616	32,9364	24,2129
	n=8	31,2113	21,2246	30,3194	22,2718
	n=9	28,3271	19,2046	28,6541	20,9139
	n=10	27,2303	18,3859	27,0534	19,8722
M=50	n=2	40,7494	30,4524	40,3586	32,3272
	n=3	42,3443	30,5661	41,5677	32,0074
	n=4	38,9185	27,027	39,8304	30,471
	n=5	36,6481	25,2954	35,7198	26,63
	n=6	32,8871	22,439	32,2199	23,8661
	n=7	30,6733	21,162	30,2396	22,8798
	n=8	28,4223	19,4405	27,9858	20,5966
	n=9	26,4193	18,2437	26,3698	19,441
	n=10	24,8224	16,3481	24,5191	18,0499

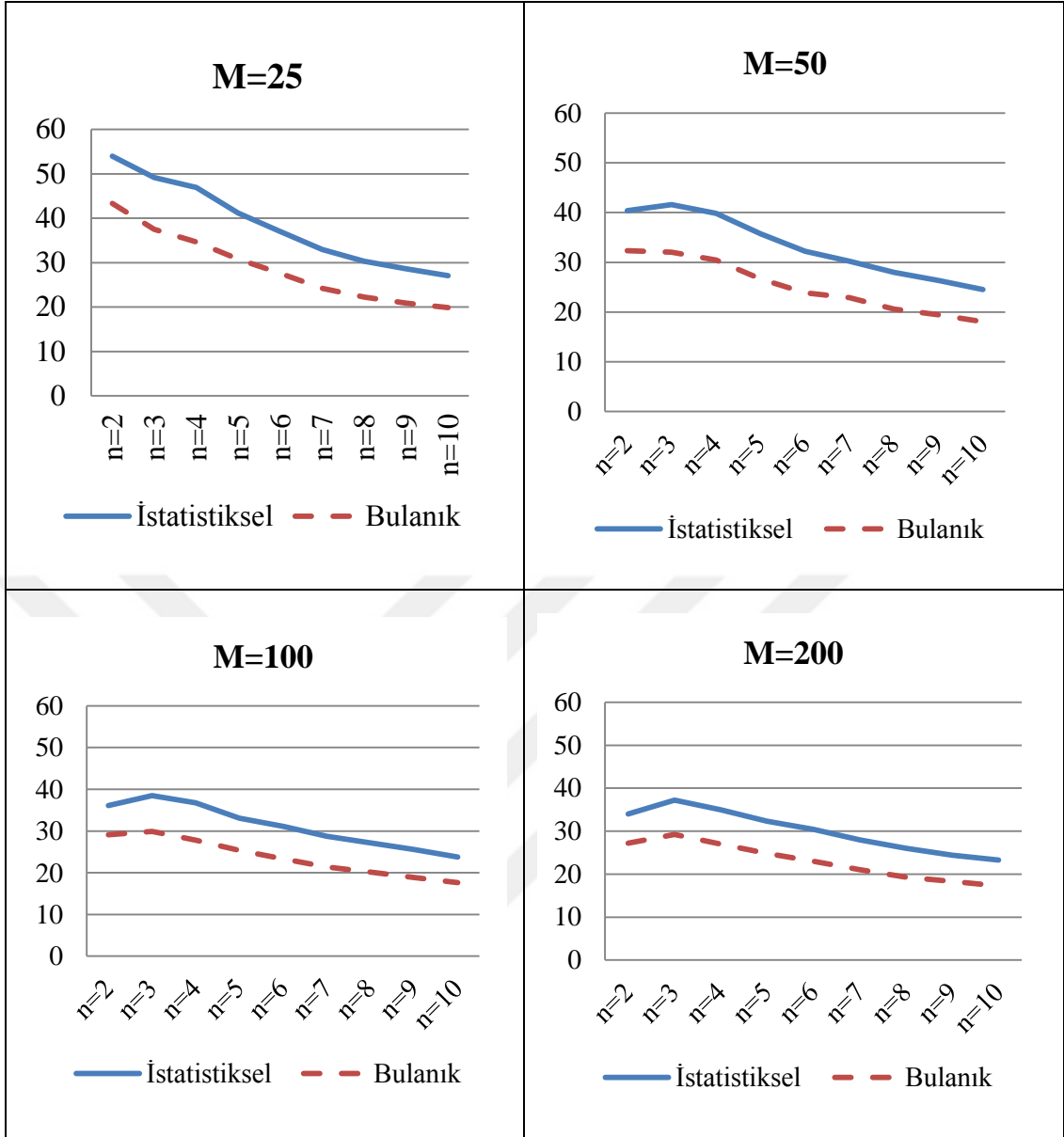
Çizelge 7.6. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=2	36,114	26,496	36,0814	29,1228
	n=3	37,8826	27,321	38,4741	29,8761
	n=4	36,7088	25,874	36,7671	27,8278
	n=5	33,1993	23,5518	33,0573	25,3189
	n=6	30,3932	21,2655	31,15	23,3625
	n=7	28,7999	20,0904	28,7122	21,3568
	n=8	26,9363	18,2829	27,1931	20,1456
	n=9	25,7048	17,3131	25,5677	18,8535
	n=10	23,6921	16,0776	23,7777	17,6685
	M=200	n=2	33,9548	25,6943	33,9927
n=3		36,85	26,5009	37,193	29,2481
n=4		35,1024	24,6244	34,9515	27,015
n=5		32,0425	22,318	32,3328	24,8144
n=6		30,2196	21,2278	30,3957	22,9687
n=7		27,9404	19,5565	27,9962	21,066
n=8		25,8152	18,02	26,0122	19,2926
n=9		24,6488	16,7375	24,406	18,3106
n=10		23,2701	16,0809	23,2766	17,2741

Şekil 7.1. ve Şekil 7.2.'de sürecin varyansının kontrol dışı olduğu duruma ilişkin üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin Ortalama ARL Değerleri

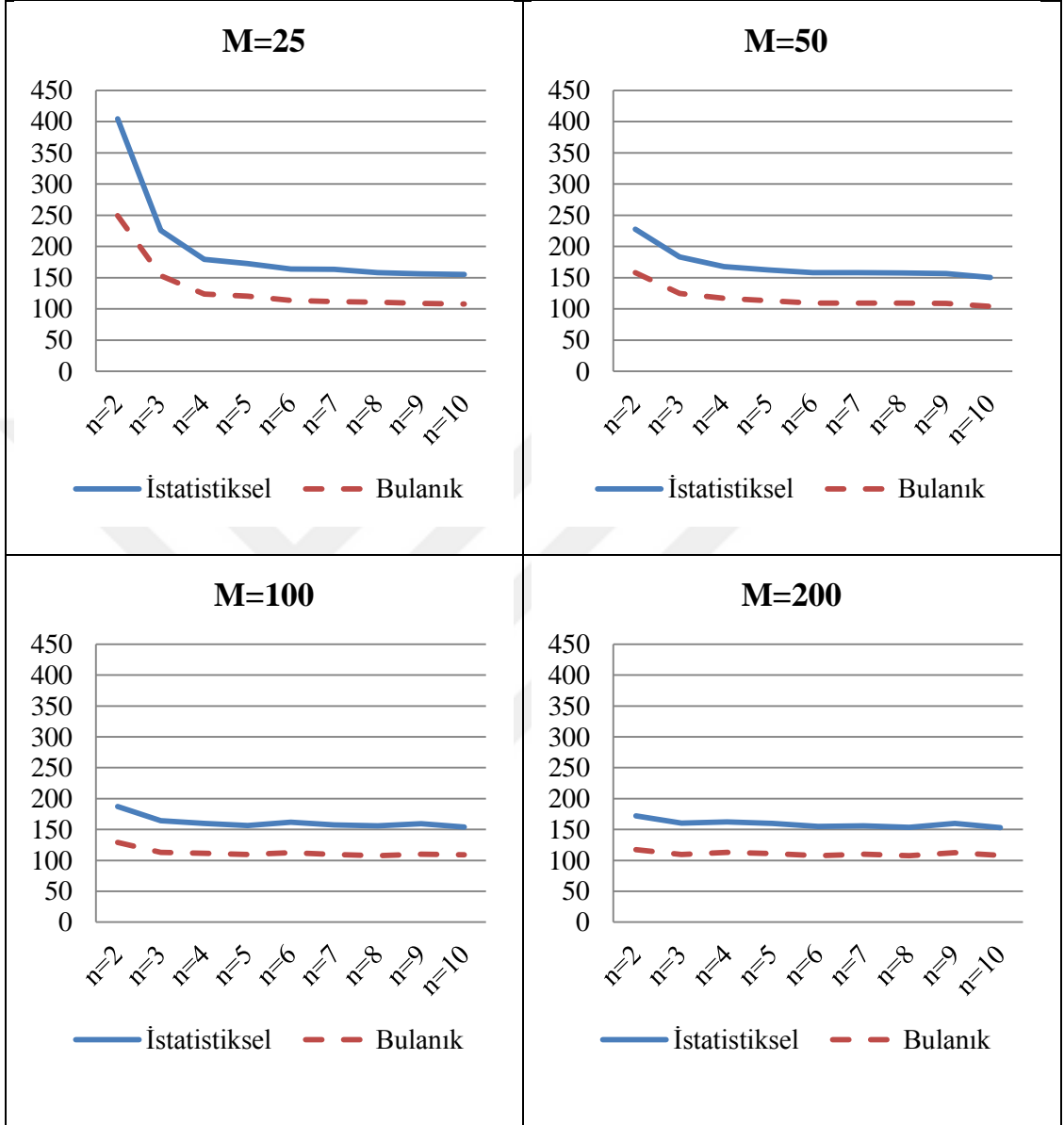


Şekil 7.2. Sürecin Varyansının Kontrol Dışında Yamuk Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin Ortalama ARL Değerleri

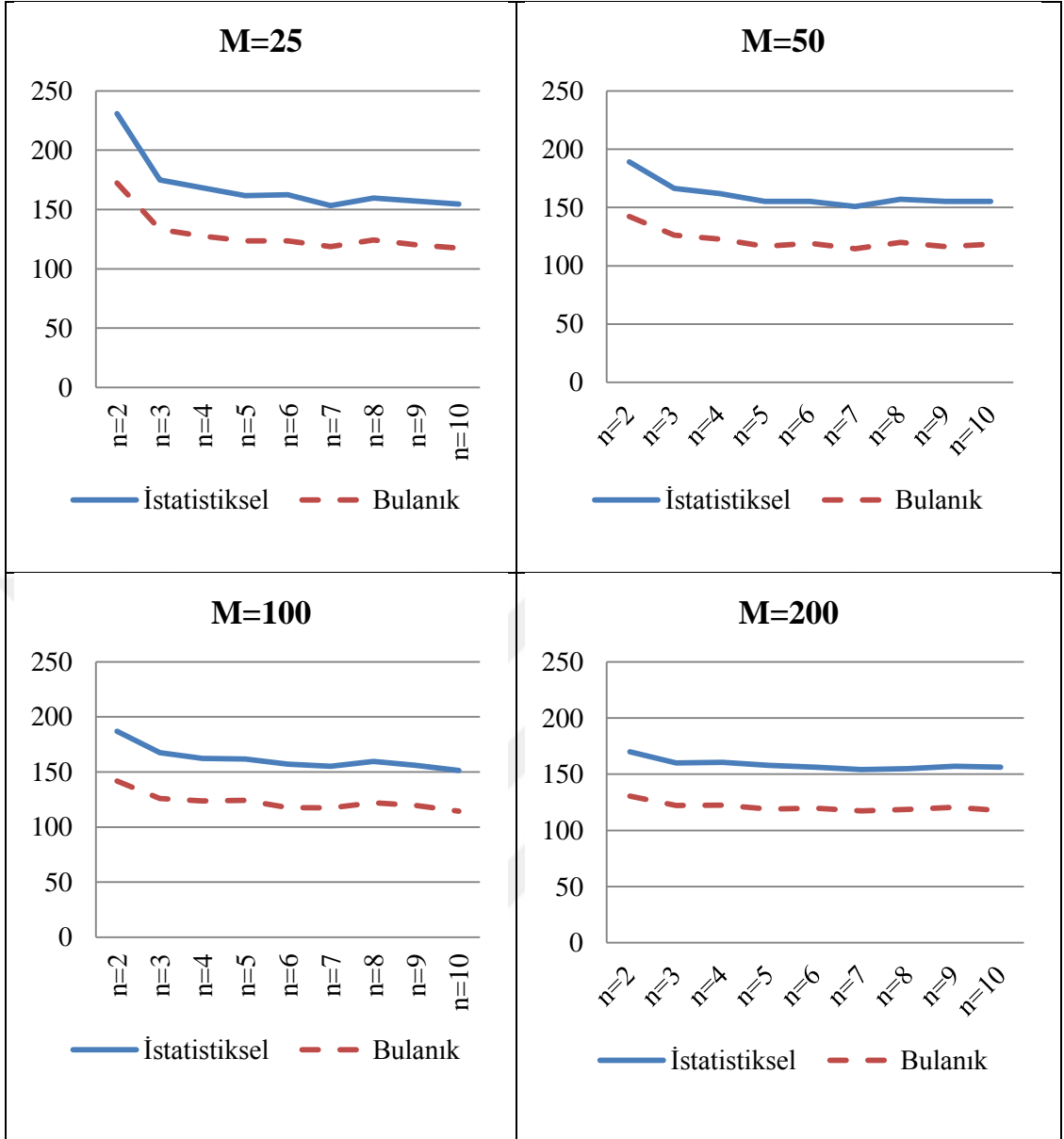
Çizelge 7.7. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	404,4759	249,5522	230,9166	172,3842
	n=3	225,9684	153,2497	175,0627	133,3016
	n=4	179,2685	124,0865	168,2885	127,5874
	n=5	172,682	120,4742	161,6655	123,6604
	n=6	164,0129	113,8609	162,3566	123,5664
	n=7	163,2548	111,9871	153,3084	118,6831
	n=8	158,0975	110,8905	159,621	124,2265
	n=9	156,3214	108,9565	157,0132	120,2591
	n=10	155,0279	108,1009	154,5277	117,4481
M=50	n=2	227,8453	158,3911	189,2227	142,4324
	n=3	183,0389	124,9595	166,3531	126,4089
	n=4	167,8352	116,8734	161,9113	122,8719
	n=5	162,6846	113,2873	155,2866	116,8181
	n=6	157,9435	109,3813	155,2026	119,2299
	n=7	158,1933	109,1365	151,015	114,6943
	n=8	157,8763	109,2311	157,0762	120,1026
	n=9	156,5732	108,8144	155,392	116,4832
	n=10	150,6189	104,0377	155,2845	118,497
M=100	n=2	187,3291	128,9069	186,9239	141,6638
	n=3	164,0819	113,0178	167,6606	125,9332
	n=4	160,0996	111,4496	162,3083	123,6929
	n=5	156,5497	109,4328	161,6835	124,2081
	n=6	161,7717	112,5628	157,1223	117,6033
	n=7	157,4776	109,3475	155,2707	117,4151
	n=8	155,8602	107,7625	159,692	121,9729
	n=9	159,5421	110,1423	156,0977	119,5692
	n=10	153,7834	109,2296	151,4812	114,4107
M=200	n=2	171,8614	117,2693	169,9989	130,4634
	n=3	160,4406	109,6644	160,1346	122,2207
	n=4	162,4546	113,153	160,5526	122,5685
	n=5	159,7444	111,1217	157,9186	118,9485
	n=6	154,8753	107,6508	156,3035	119,7923
	n=7	156,1011	109,8576	154,2718	117,4331
	n=8	153,6868	107,6353	154,9607	118,7656
	n=9	159,7487	112,2903	156,9759	120,6449
	n=10	152,854	108,2125	156,2542	117,7713

Şekil 7.3. ve Şekil 7.4.'de varyans kontrol dışı durum için üçgen ve yamuk bulanık sayılara ilişkin istatistiksel ve bulanık \bar{X} -R kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.4. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

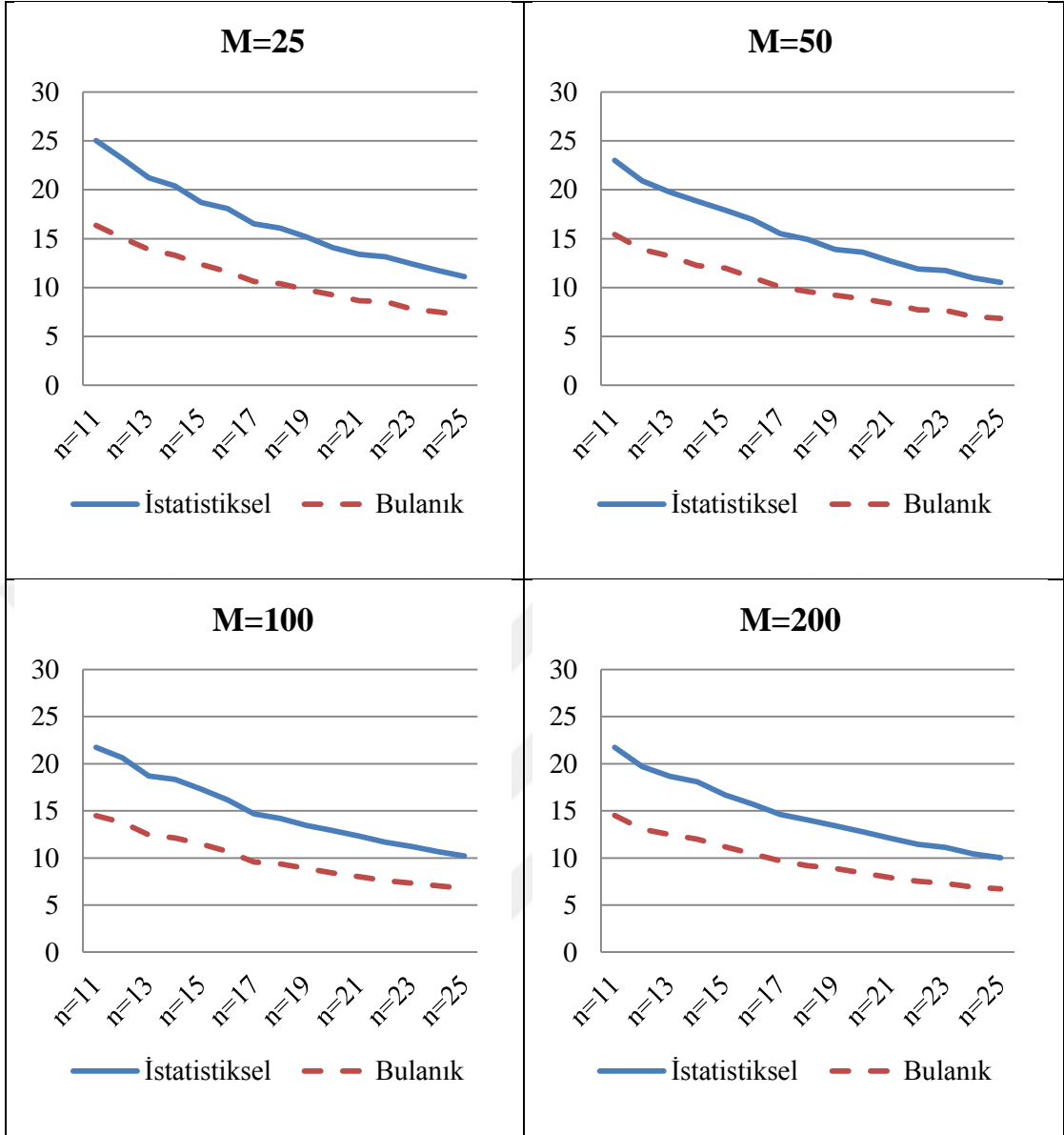
Çizelge 7.8. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	25,0472	16,3715	25,4	21,54
	n=12	23,208	15,0698	21,14	19,13
	n=13	21,2212	13,9019	28,39	22,7
	n=14	20,3992	13,2884	24,75	16,56
	n=15	18,716	12,3705	18,82	17,4
	n=16	18,0819	11,6111	18,48	13,22
	n=17	16,5323	10,6226	18,12	15,88
	n=18	16,0808	10,4143	16,62	14,79
	n=19	15,1844	9,7715	20,65	17,69
	n=20	14,094	9,2556	14,11	11,69
	n=21	13,4078	8,6442	12,92	10,56
	n=22	13,1396	8,5464	13,15	12,51
	n=23	12,42	7,8239	12,49	10,12
	n=24	11,7418	7,4841	10,37	9,3
	n=25	11,1184	7,1655	9,49	8,33
M=50	n=11	22,9943	15,4131	22,9348	19,9648
	n=12	20,9097	13,9112	21,1896	18,431
	n=13	19,7563	13,2098	20,1728	17,4189
	n=14	18,8354	12,2472	18,8362	16,4071
	n=15	17,9306	12,0077	17,698	15,2966
	n=16	16,9457	11,0136	16,262	14,288
	n=17	15,5051	10,0665	15,6174	13,577
	n=18	14,9343	9,5985	14,6654	12,6856
	n=19	13,8852	9,2157	14,0523	12,2009
	n=20	13,6055	8,8284	13,3231	11,4864
	n=21	12,7193	8,3599	12,8743	11,1335
	n=22	11,9004	7,7282	12,0365	10,4772
	n=23	11,7415	7,6444	11,3688	9,8683
	n=24	11,0038	7,041	11,2937	9,7405
	n=25	10,5183	6,8329	10,5591	9,0789

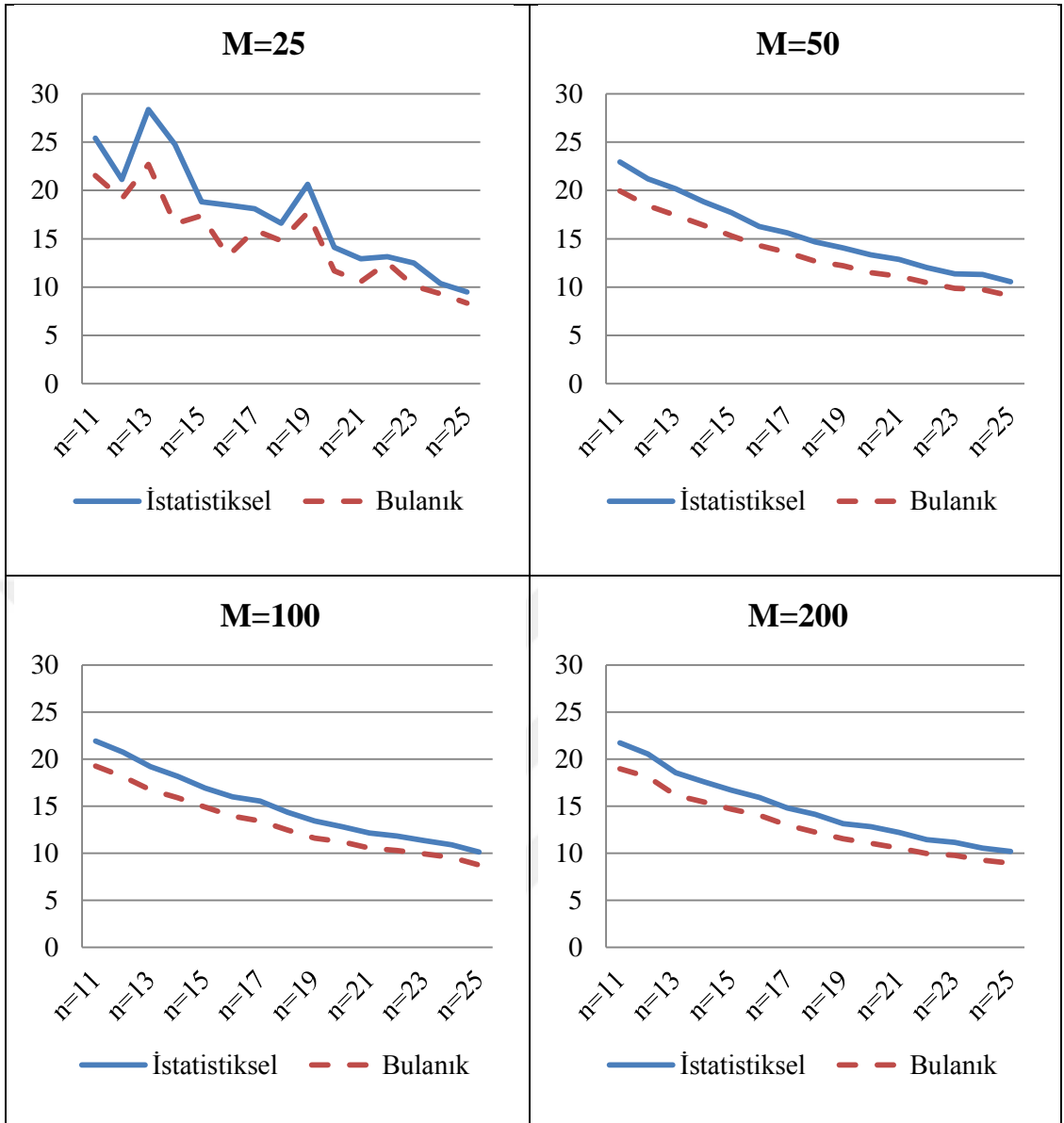
Çizelge 7.8. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	21,7346	14,4916	21,9312	19,2503
	n=12	20,6511	13,7885	20,7244	18,1523
	n=13	18,7061	12,4501	19,2016	16,7462
	n=14	18,3476	12,1307	18,1752	15,9143
	n=15	17,3018	11,4893	16,9235	14,9058
	n=16	16,1763	10,7021	16,0022	13,9405
	n=17	14,666	9,5533	15,5602	13,4308
	n=18	14,1861	9,379	14,3603	12,4685
	n=19	13,4517	8,888	13,4387	11,6043
	n=20	12,8859	8,3836	12,8388	11,2132
	n=21	12,3072	8,0125	12,1423	10,5602
	n=22	11,6681	7,604	11,8337	10,2917
	n=23	11,2166	7,3373	11,3464	9,9505
	n=24	10,6498	7,0452	10,9004	9,5635
	n=25	10,2064	6,7805	10,1295	8,7589
M=200	n=11	21,729	14,5155	21,7249	18,9787
	n=12	19,7096	13,0756	20,5501	18,0977
	n=13	18,6653	12,4852	18,5443	16,1558
	n=14	18,0738	11,9919	17,5952	15,4518
	n=15	16,6982	11,1733	16,6972	14,6716
	n=16	15,7274	10,4539	15,9402	14,0515
	n=17	14,6294	9,6881	14,8058	12,9844
	n=18	14,0168	9,1873	14,1345	12,2572
	n=19	13,4252	8,8679	13,1459	11,5495
	n=20	12,7835	8,393	12,8403	11,0715
	n=21	12,0796	7,9069	12,2278	10,5475
	n=22	11,4352	7,5145	11,4478	9,9789
	n=23	11,1023	7,2908	11,1686	9,7672
	n=24	10,4541	6,923	10,5569	9,2854
	n=25	10,0163	6,729	10,1915	8,9415

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6’da üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık s kontrol grafiklerinin varyans kontrol dışı durumda ARL değerlerinin çizgi grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.6. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

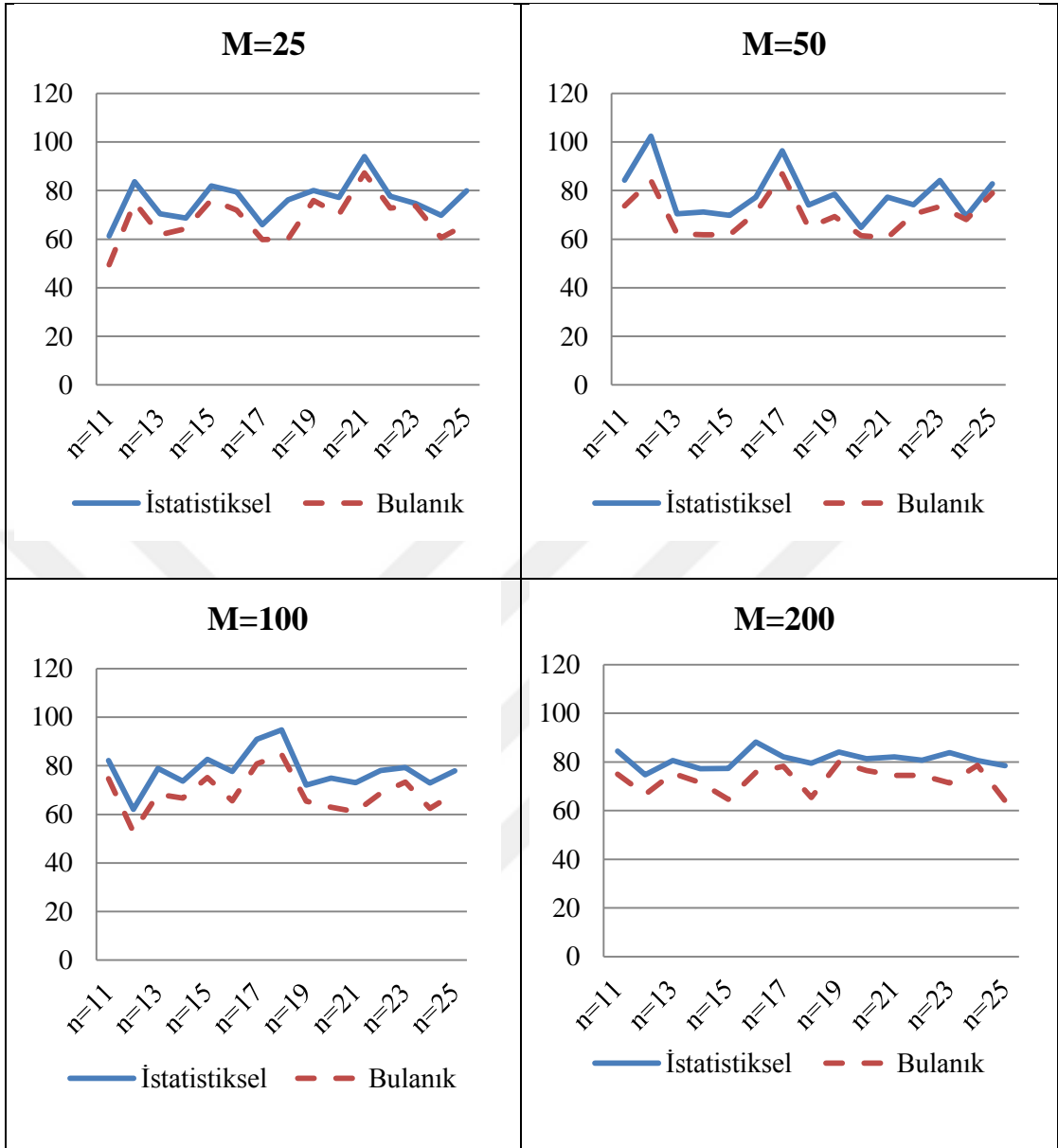
Çizelge 7.9. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -S Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	61,37	49,48	141,14	109,73
	n=12	83,65	75,2	139,41	105,68
	n=13	70,43	61,87	130,19	103,71
	n=14	68,74	64,3	156,98	116,28
	n=15	81,95	76,18	174,02	114,28
	n=16	79,4	71,95	158,82	127,97
	n=17	65,99	59,78	136,13	99,18
	n=18	76,13	60,06	133,97	97,56
	n=19	80,03	75,94	149,66	118,49
	n=20	77,16	70,17	132,58	97,43
	n=21	94,09	87,28	138,64	101,73
	n=22	77,66	72,85	152,32	109,8
	n=23	74,64	73,72	141,91	94,74
	n=24	69,87	60,53	151,28	123,5
	n=25	79,93	66,24	140,06	113,65
M=50	n=11	84,26	73,7	139,91	102,14
	n=12	102,33	84,23	172,29	150,79
	n=13	70,4	62,26	158,47	128,13
	n=14	71,2	61,85	107,05	84,26
	n=15	69,87	61,77	142,95	117,33
	n=16	77,25	70,97	161,47	114,41
	n=17	96,34	86,93	149,34	125,3
	n=18	74,09	64,84	133,79	117,2
	n=19	78,53	69,3	156,69	108,83
	n=20	64,85	61,51	202,23	168,17
	n=21	77,31	60,64	152,91	116,65
	n=22	74,19	70,37	168,61	139,41
	n=23	84,15	73,48	154,32	123,26
	n=24	69,42	68,07	141,19	105,04
	n=25	82,82	78,9	134,12	112,75

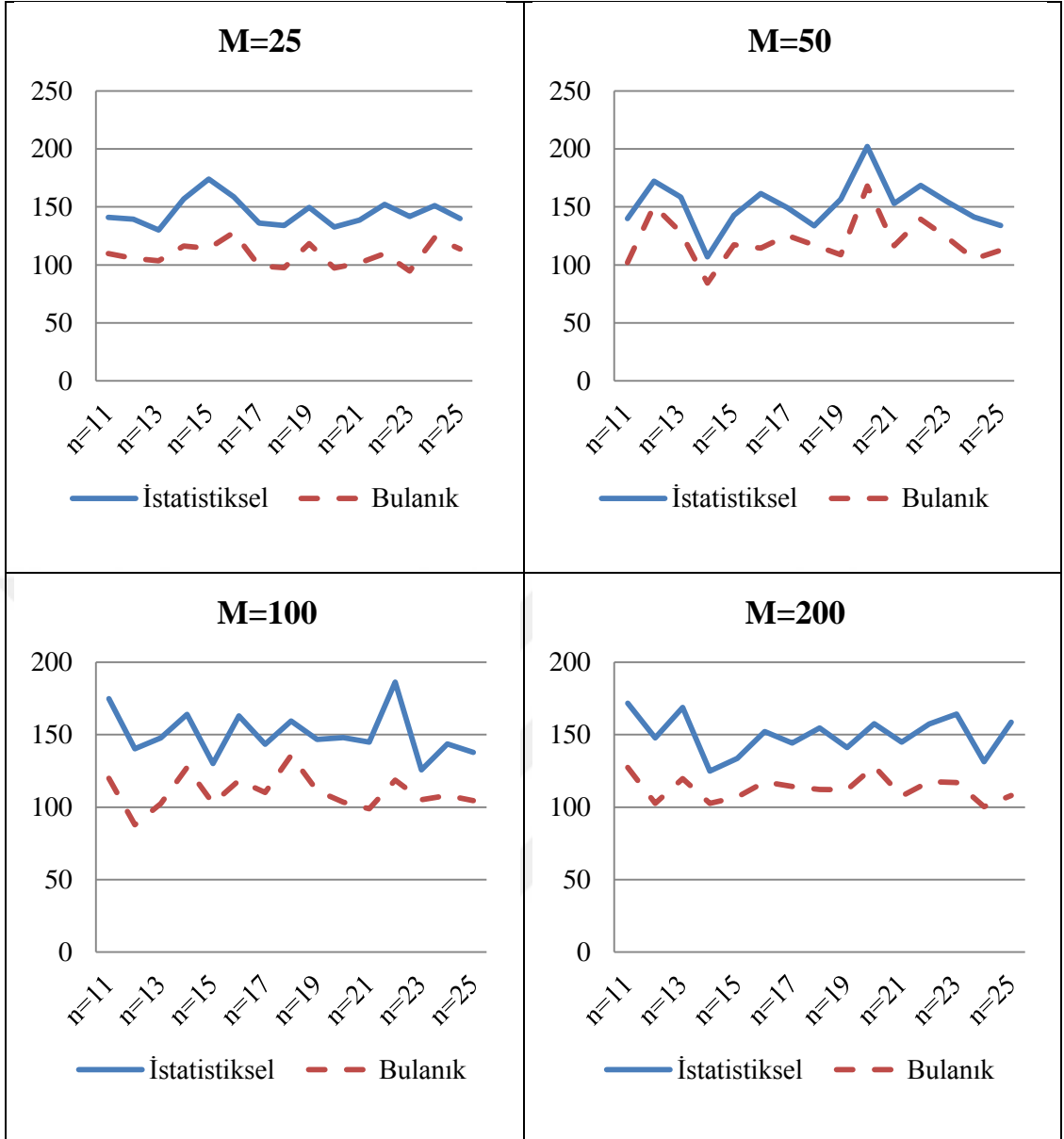
Çizelge 7.9. (devam)

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	82,14	74,69	174,71	119,82
	n=12	62,04	52,71	140,24	87,84
	n=13	78,93	68,37	147,81	102,5
	n=14	73,65	66,64	164,03	127,3
	n=15	82,7	75,19	130,15	102,58
	n=16	77,7	65,54	162,86	118,49
	n=17	90,92	80,86	143,49	110,12
	n=18	94,79	84,7	159,38	135,75
	n=19	72,04	65,46	146,74	111,32
	n=20	74,88	62,98	147,89	103,46
	n=21	73	61,04	144,84	98,79
	n=22	78,04	68,68	186,19	118,64
	n=23	79,3	73,25	125,65	105,02
	n=24	72,89	62,51	143,64	108,04
	n=25	77,93	68,69	137,78	104,53
M=200	n=11	84,5	75,05	171,66	127,4
	n=12	74,74	66,63	147,72	102,7
	n=13	80,65	75,31	168,74	119,75
	n=14	77,22	71,48	124,95	102,57
	n=15	77,37	64,61	133,6	107,06
	n=16	88,17	75,75	152,21	117,4
	n=17	82,12	78,25	144,29	114,35
	n=18	79,49	65,39	154,67	112,26
	n=19	84,09	80,02	141,09	111,9
	n=20	81,41	76,48	157,55	128,2
	n=21	82,09	74,44	144,83	107,71
	n=22	80,68	74,55	157,37	117,63
	n=23	83,87	71,42	164,1	116,92
	n=24	80,61	78,66	131,3	100,44
	n=25	78,45	64,01	158,57	107,95

Şekil 7.7. ve Şekil 7.8.'de sürecin varyansının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 7.7. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.8. Sürecin Varyansının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

Çizelge 7.6.-7.9. ve şekil 7.1.-7.8. incelendiğinde, üçgen ve yamuk bulanık sayılar için sürecin varyansının kontrol dışı olduğu durumda, bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin tüm durumlar için istatistiksel R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinden hep küçük olduğu görülmektedir. Buradan bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin kontrol dışı durumları daha erken yakaladığı bir başka deyişle varyans kontrol dışı durumda daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür.

Ayrıca üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R ve s kontrol grafiklerinde örnek sayısı arttıkça örnek büyüklüğüne ait ARL değerlerinde genel bir azalış tespit edilmiştir. Bunun dışında, en büyük farkın yamuk bulanık sayılar için örnek sayısı 100 ve örnek büyüklüğü 25 olduğu durumda elde edildiği görülmüştür.

7.3. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Çizelge 7.10.-7.13.'de üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin sürecin ortalamasının kontrol dışı durumlarına ilişkin ARL değerleri verilmektedir.

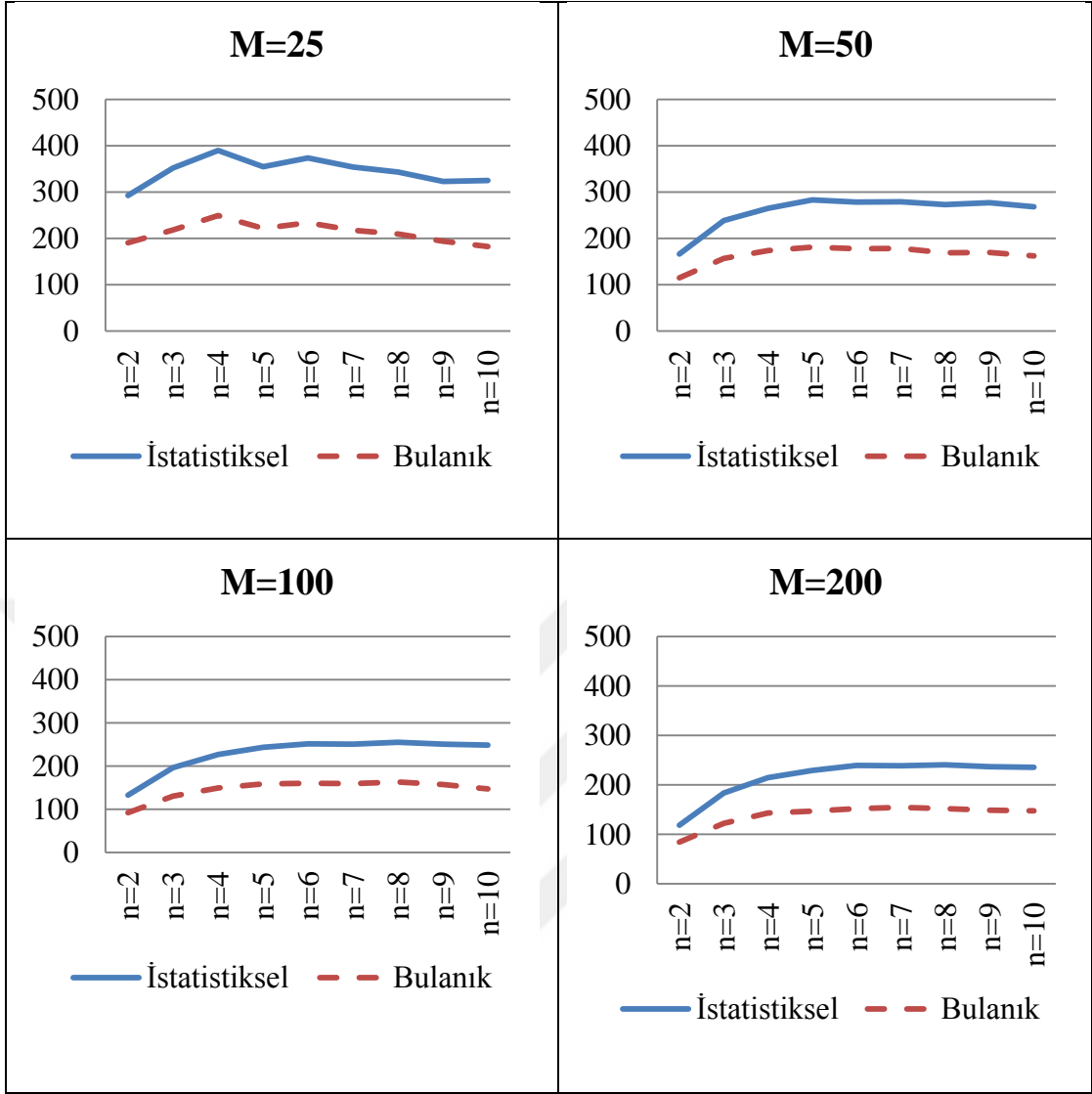
Çizelge 7.10. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	292,4287	190,712	298,292	226,235
	n=3	352,0295	218,62	353,075	245,103
	n=4	389,6334	249,357	377,169	252,16
	n=5	354,8389	221,557	377,239	258,177
	n=6	373,7899	233,89	351,202	237,824
	n=7	354,0195	217,928	334,256	227,471
	n=8	343,4938	209,293	341,053	233,973
	n=9	323,1888	193,871	333,852	220,074
	n=10	325,2056	182,81	315	204,701
M=50	n=2	166,5215	115,189	132,008	99,9084
	n=3	238,873	157,057	203,732	148,732
	n=4	264,7601	173,645	233,201	165,699
	n=5	282,9102	181,253	239,328	166,91
	n=6	278,7091	178,122	258,745	177,523
	n=7	278,8799	178,73	253,175	172,406
	n=8	273,1704	169,151	250,181	169,794
	n=9	277,157	169,593	245,375	168,543
	n=10	268,3369	162,517	244,016	165,323

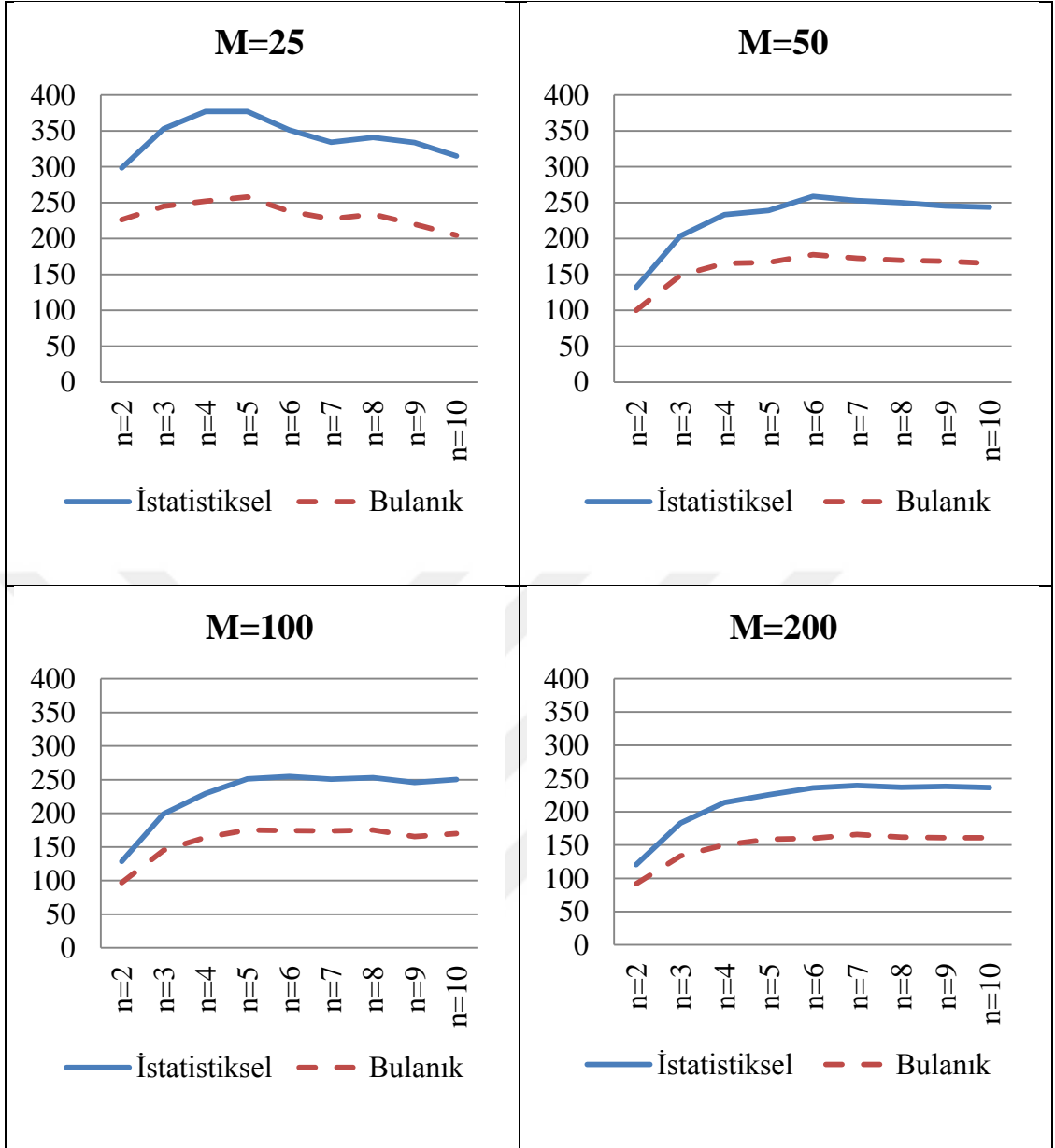
Çizelge 7.10. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=2	133,045	91,8897	128,764	97,0261
	n=3	196,261	130,722	199,14	144,997
	n=4	227,1536	149,215	229,257	163,947
	n=5	243,7764	158,921	251,035	175,347
	n=6	251,7558	160,395	254,681	174,351
	n=7	250,6676	159,266	250,768	173,95
	n=8	255,1297	163,013	252,941	175,353
	n=9	250,7025	157,693	245,69	165,254
	n=10	248,5993	147,198	250,355	169,952
M=200	n=2	118,6486	84,231	120,599	91,9903
	n=3	183,6031	122,148	183,066	133,477
	n=4	214,7955	143,018	214,043	150,022
	n=5	229,3193	146,929	225,593	158,919
	n=6	239,2824	152,315	235,815	159,956
	n=7	238,9336	154,653	239,395	165,824
	n=8	240,5276	152,197	236,708	162,052
	n=9	236,9266	148,805	238,444	160,871
	n=10	235,3218	147,335	236,516	161,039

Şekil 7.9. ve Şekil 7.10.'da sürecin ortalamasının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.9. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

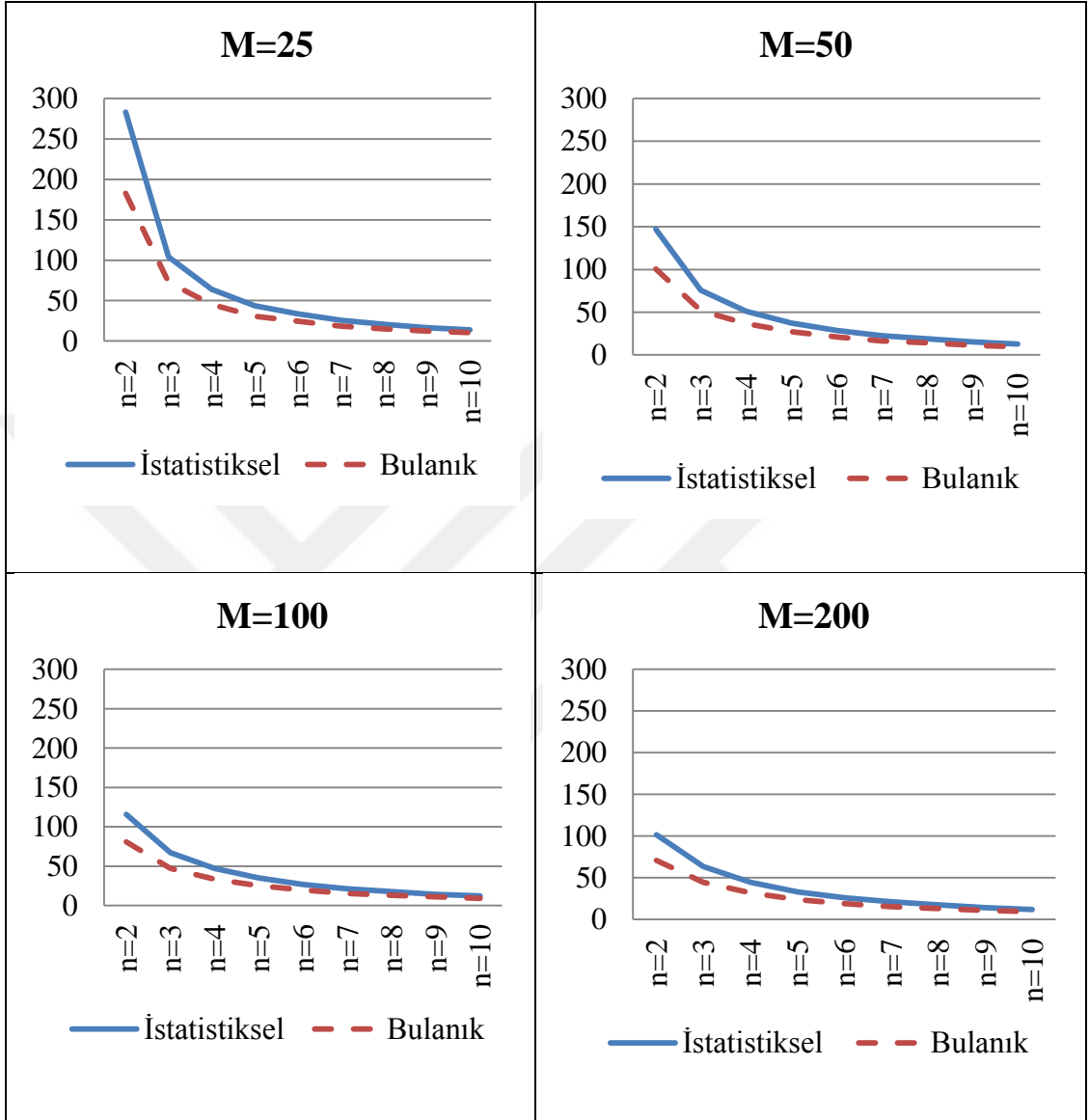


Şekil 7.10. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

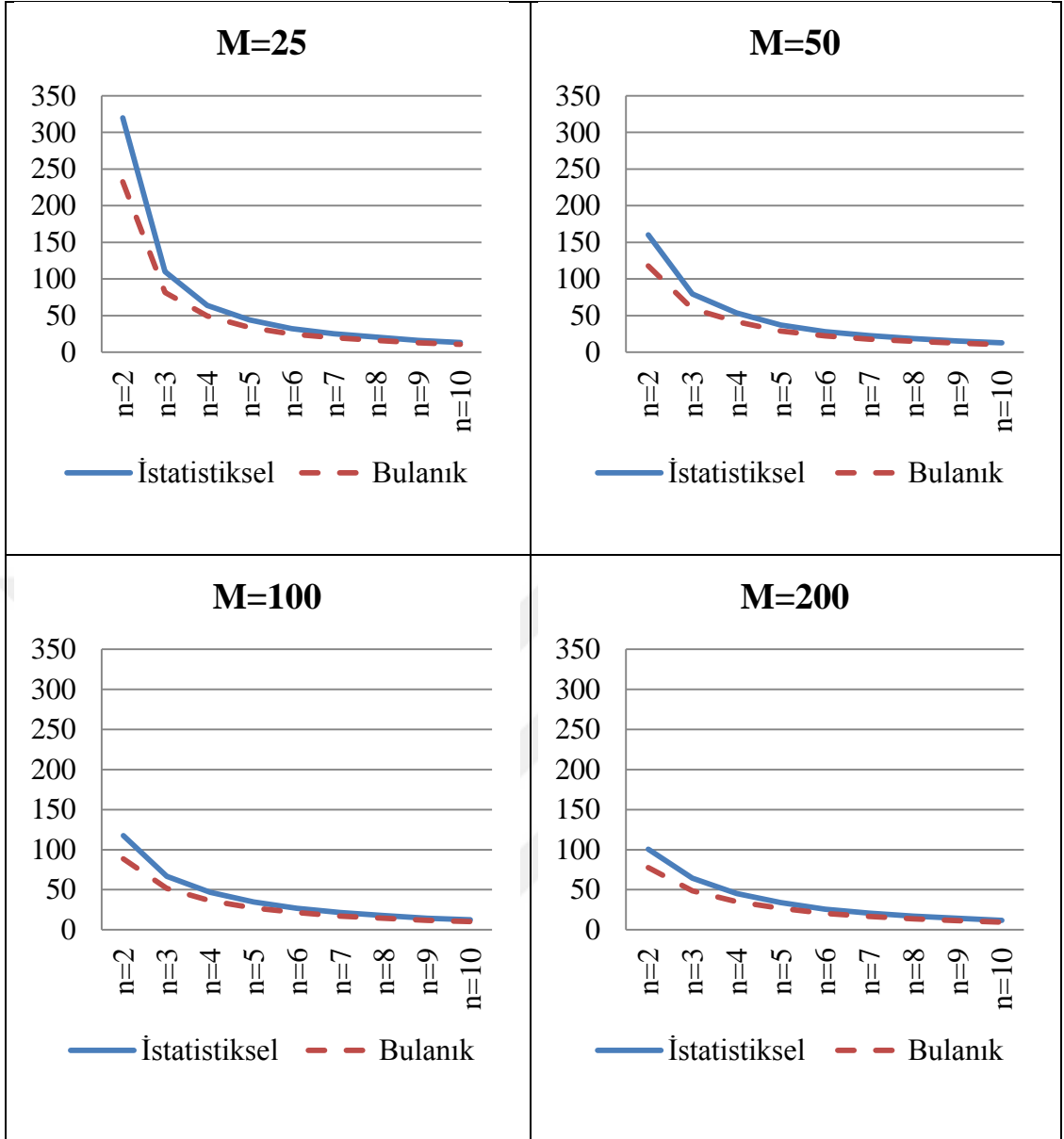
Çizelge 7.11. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	283,164	182,887	319,919	232,812
	n=3	104,033	72,8669	110,096	81,6345
	n=4	63,8067	45,243	64,0965	49,5771
	n=5	43,7168	30,7315	44,3547	33,9954
	n=6	33,7117	24,4819	32,2085	25,0442
	n=7	25,655	18,6382	25,1196	20,088
	n=8	20,6058	14,9064	20,6642	16,244
	n=9	16,7404	12,503	16,3635	13,0468
	n=10	13,7941	10,3985	13,5175	10,9669
	M=50	n=2	147,342	100,746	160,297
n=3		75,6239	51,967	79,3919	59,5104
n=4		50,9861	36,5932	53,5017	41,8479
n=5		37,3704	27,3004	37,0699	29,0665
n=6		28,8173	21,0795	28,3305	22,1856
n=7		22,5303	16,4789	22,6273	17,8748
n=8		18,8411	14,1476	18,5532	14,9174
n=9		15,1332	11,2094	15,2044	12,3003
n=10		12,6915	9,6431	12,8926	10,4747
M=100		n=2	115,717	81,0296	117,613
	n=3	67,2902	47,0607	66,6762	51,6199
	n=4	47,2824	33,5237	46,769	36,2679
	n=5	35,0909	25,3138	34,9113	27,2746
	n=6	26,9689	19,9176	26,941	21,5744
	n=7	21,1434	15,5693	21,5753	17,1794
	n=8	17,5849	13,0411	17,7985	14,2655
	n=9	14,4072	10,9825	14,5487	11,8188
	n=10	12,1204	9,2544	12,4718	10,1947
	M=200	n=2	101,531	71,0085	100,698
n=3		63,2898	44,5644	64,2885	48,735
n=4		44,5391	31,9514	45,1965	35,2534
n=5		32,9333	23,8854	33,9194	26,8328
n=6		26,0063	19,0628	25,6302	20,3671
n=7		21,0515	15,3447	20,8513	16,6623
n=8		17,4064	13,0818	17,2324	13,7708
n=9		14,3616	10,8807	14,2862	11,5522
n=10		11,9658	9,2403	11,8224	9,6227

Şekil 7.11. ve Şekil 7.12.'de sürecin ortalamasının kontrol dışı olduğu duruma ilişkin üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık \bar{X} -R kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.11. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.12. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

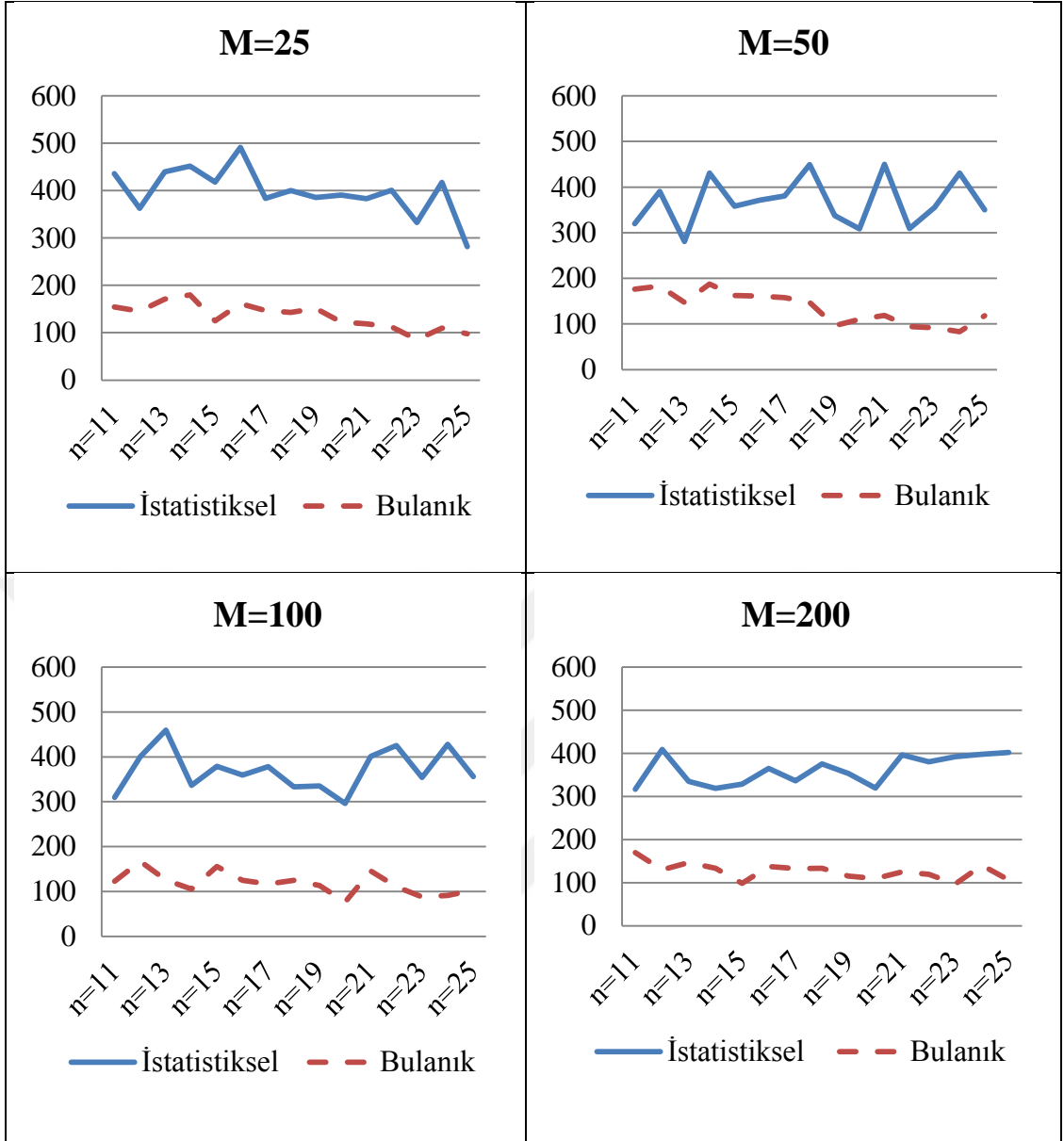
Çizelge 7.12. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	435,77	154,23	435,564	231,177
	n=12	362,35	145,52	410,937	206,773
	n=13	439,26	170,71	418,61	193,385
	n=14	451,77	180,13	406,811	174,983
	n=15	417,96	125,17	402,076	164,654
	n=16	491,31	161,65	392,586	150,432
	n=17	383,71	146,73	383,577	142,103
	n=18	399,97	142,77	374,048	135,91
	n=19	385,23	151,24	379,331	130,81
	n=20	390,52	122,69	371,209	122,791
	n=21	382,65	119,04	372,617	118,177
	n=22	400,97	112,21	366,879	112,147
	n=23	332,41	85,67	370,053	112,884
	n=24	417,22	109,76	362,63	104,73
	n=25	281,53	97,42	360,44	104,927
M=50	n=11	319,38	176,46	386,152	219,553
	n=12	390,61	183,01	380,433	206,122
	n=13	280,6	147,2	378,384	190,002
	n=14	430,85	187,75	383,537	176,129
	n=15	358,21	162,59	375,383	162,96
	n=16	371,07	161,27	377,021	148,629
	n=17	380,27	157,91	377,109	144,406
	n=18	449,15	147,22	374,978	137,672
	n=19	337,76	95,92	369,978	131,717
	n=20	308,55	110,39	366,56	127,466
	n=21	450,09	118,38	360,686	119,402
	n=22	308,79	94,26	366,059	115,869
	n=23	355,05	91,6	369,301	113,752
	n=24	430,55	82,81	366,101	111,579
	n=25	349,97	117,85	355,266	104,84

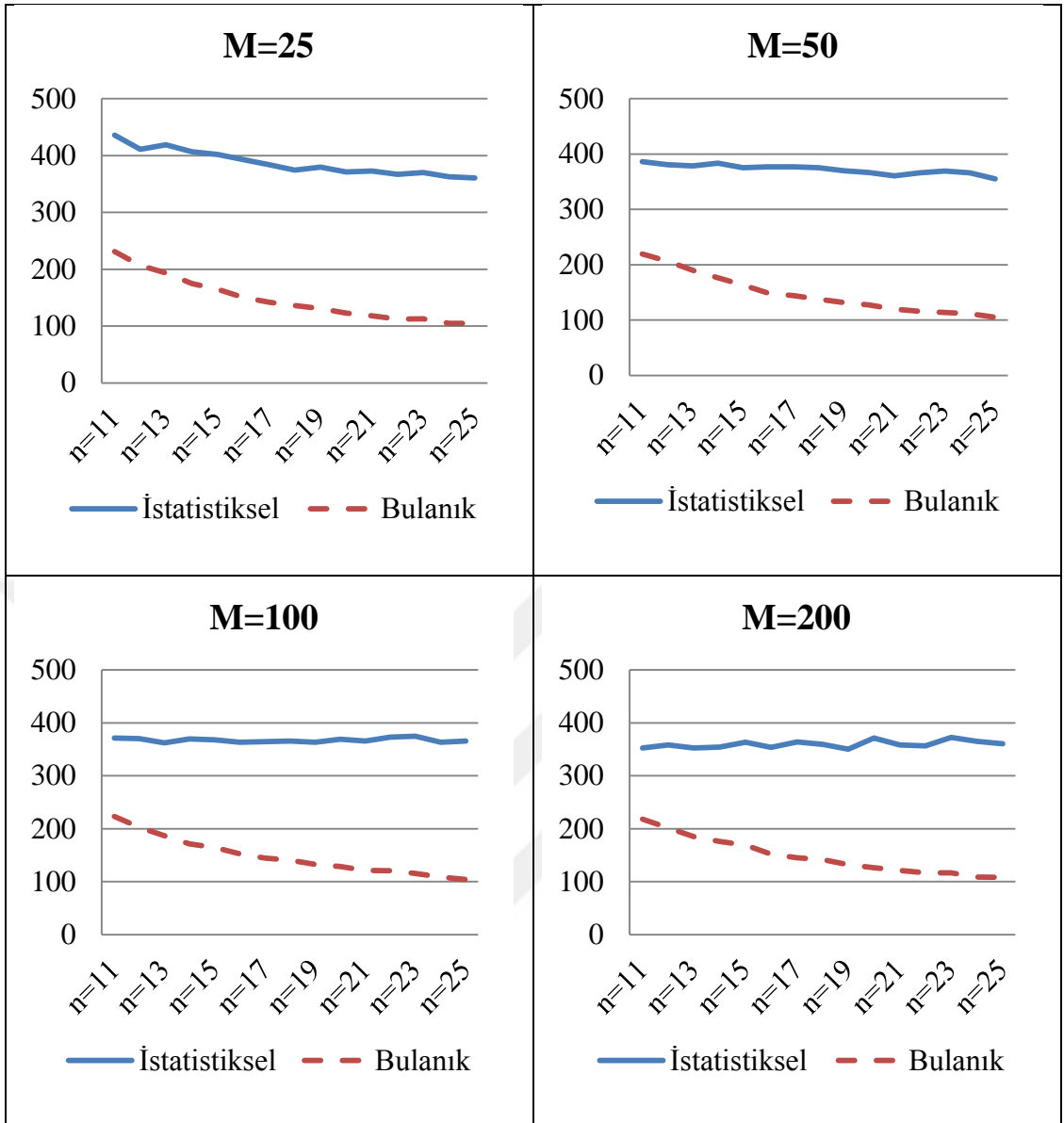
Çizelge 7.12. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	309,53	122,42	371,255	223,12
	n=12	400,52	166,89	370,342	202,674
	n=13	459,54	125,61	362,106	186,449
	n=14	336,49	105,38	369,705	171,33
	n=15	379,09	155,46	367,927	164,636
	n=16	359,62	124,95	363,169	152,352
	n=17	377,98	116,87	364,549	144,254
	n=18	333,2	124,69	365,493	140,375
	n=19	335,27	113,55	363,347	132,611
	n=20	296,38	76,53	369,168	128,574
	n=21	401,09	145,49	365,45	121,342
	n=22	425,36	110,51	373,113	120,438
	n=23	353,87	87,82	374,69	115,647
	n=24	427,62	91,17	363,515	108,787
	n=25	356,05	102,46	365,273	104,208
M=200	n=11	316,4	169,43	352,202	217,759
	n=12	409,09	129,46	358,322	201,235
	n=13	335,11	146,79	352,2	184,968
	n=14	318,45	133,15	354,307	176,043
	n=15	328,74	98,45	363,083	168,765
	n=16	364,59	137,49	353,813	151,971
	n=17	335,92	132,49	363,965	144,831
	n=18	375,44	133,06	359,14	141,321
	n=19	353,16	115,01	349,907	131,971
	n=20	319,08	109,4	371,406	126,398
	n=21	396,64	125,12	358,365	120,904
	n=22	380,03	119,47	356,617	116,731
	n=23	392,06	96,72	372,388	116,391
	n=24	398,11	140,27	364,752	108,452
	n=25	401,82	105,73	360,131	107,968

Şekil 7.13. ve Şekil 7.14.'de sürecin ortalamasının kontrol dışı olduğu duruma ilişkin üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.13. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.14. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

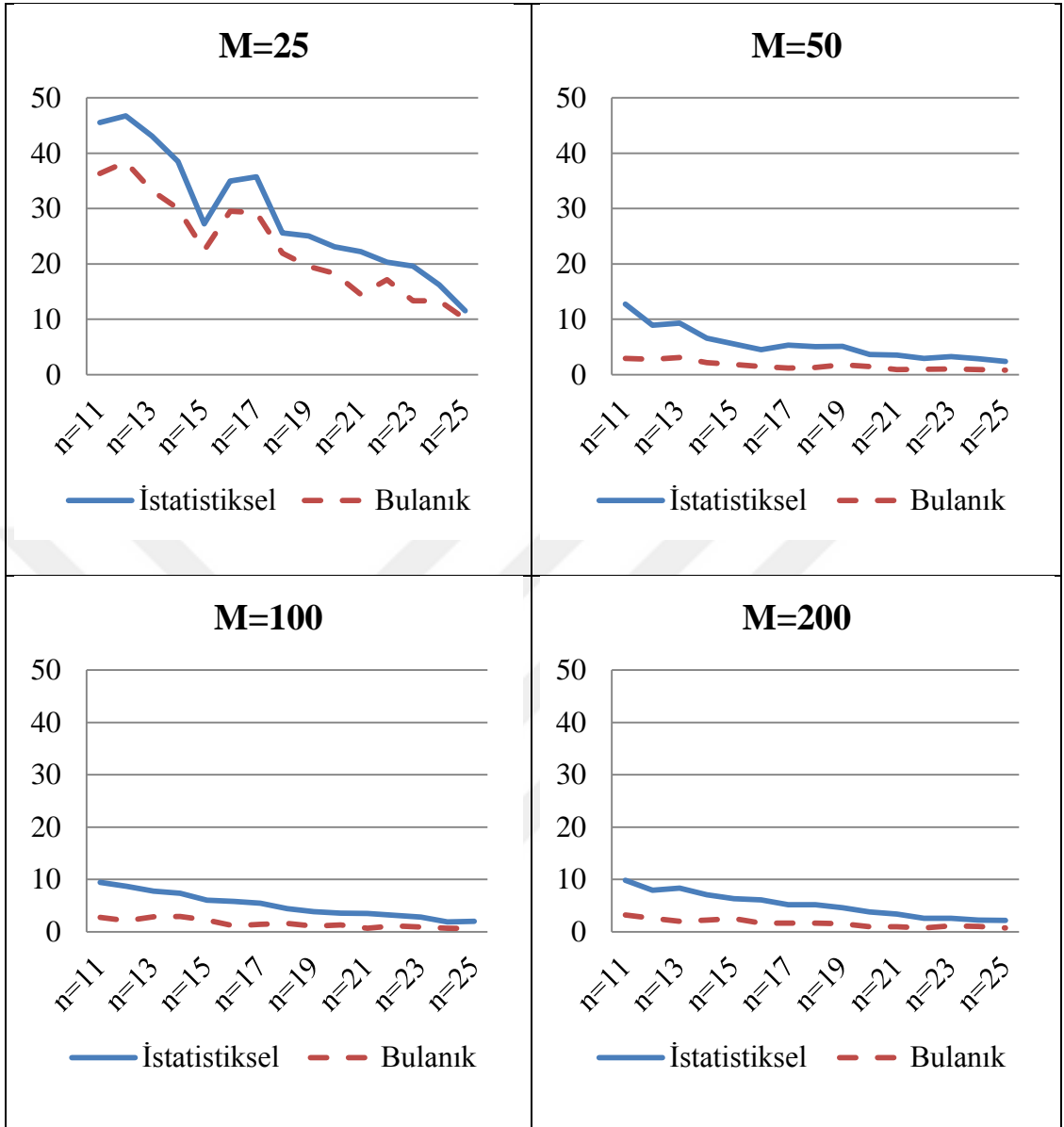
Çizelge 7.13. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık $\bar{X} - s$ Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	45,54	36,34	9,53	8,11
	n=12	46,75	38,41	10,1	8,46
	n=13	43,06	33,22	8,42	7,51
	n=14	38,51	29,99	10,37	8,04
	n=15	27,24	22,45	6,73	5,85
	n=16	34,97	29,5	6,45	5,5
	n=17	35,71	29,25	4,23	3,94
	n=18	25,61	21,91	4,18	3,95
	n=19	25,03	19,55	4,49	4,16
	n=20	23,07	18,29	2,84	2,57
	n=21	22,23	14,47	2,92	2,73
	n=22	20,32	17,16	3,65	2,89
	n=23	19,6	13,34	2,85	2,54
	n=24	16,19	13,34	2,43	2,4
	n=25	11,54	10,08	2,24	2,18
M=50	n=11	12,74	2,93	11,97	10,9
	n=12	8,93	2,73	13,29	11,39
	n=13	9,3	3,1	8,01	7,64
	n=14	6,57	2,18	6,68	5,77
	n=15	5,53	1,81	5,32	4,72
	n=16	4,52	1,42	5,34	4,08
	n=17	5,3	1,18	5,05	4,53
	n=18	5,06	1,27	4,94	4,37
	n=19	5,07	1,77	4,18	3,62
	n=20	3,6	1,45	3,34	3,1
	n=21	3,51	0,9	3,05	2,55
	n=22	2,9	0,93	3,05	2,76
	n=23	3,23	0,99	2,68	2,53
	n=24	2,87	0,88	3,19	2,53
	n=25	2,38	0,77	2,2	1,85

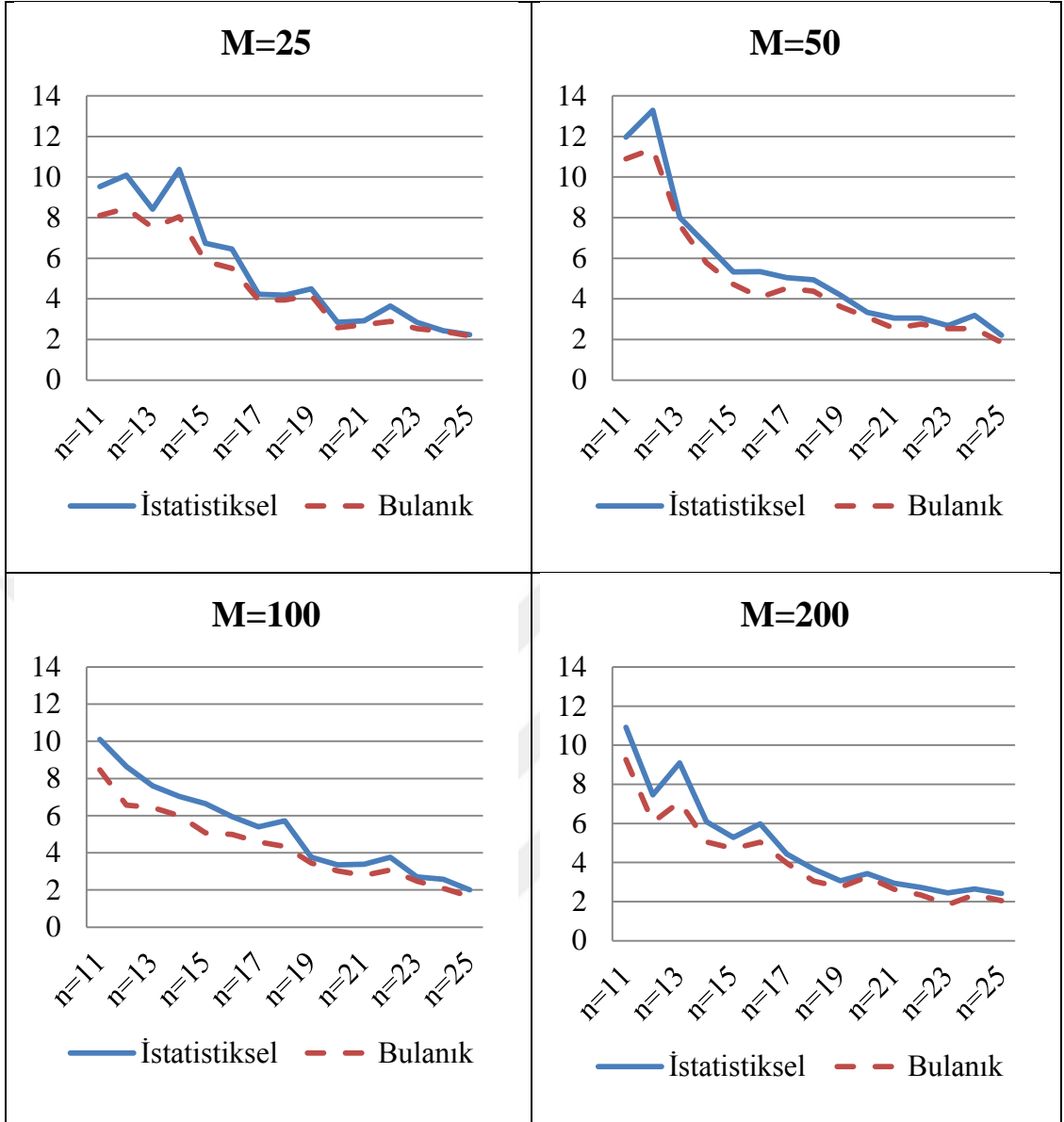
Çizelge 7.13. (devam)

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	9,43	2,75	10,1	8,47
	n=12	8,68	2,11	8,64	6,57
	n=13	7,74	2,83	7,6	6,43
	n=14	7,37	2,92	7,03	5,99
	n=15	6,05	2,2	6,64	5,07
	n=16	5,81	1,15	5,95	4,99
	n=17	5,43	1,44	5,4	4,58
	n=18	4,4	1,58	5,72	4,35
	n=19	3,83	1,05	3,75	3,45
	n=20	3,57	1,3	3,36	3,02
	n=21	3,47	0,67	3,39	2,78
	n=22	3,16	1,14	3,75	3,08
	n=23	2,77	0,91	2,7	2,47
	n=24	1,85	0,68	2,57	2,08
	n=25	2	0,62	2,01	1,64
M=200	n=11	9,85	3,2	10,92	9,27
	n=12	7,95	2,57	7,46	6,06
	n=13	8,34	1,97	9,09	7,11
	n=14	7,07	2,2	6,09	5,05
	n=15	6,32	2,48	5,28	4,72
	n=16	6,08	1,67	5,98	5,03
	n=17	5,15	1,67	4,44	3,97
	n=18	5,14	1,64	3,67	3,04
	n=19	4,61	1,53	3,07	2,74
	n=20	3,76	0,94	3,43	3,26
	n=21	3,39	0,98	2,94	2,63
	n=22	2,55	0,73	2,72	2,33
	n=23	2,58	1,13	2,44	1,85
	n=24	2,23	1,03	2,65	2,36
	n=25	2,15	0,7	2,42	2,04

Şekil 7.15. ve Şekil 7.16.'da ortalama kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.15. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda $\bar{X} - s$ Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.16. Sürecin Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

Çizelge 7.10.-7.13. ve şekil 7.9.-7.16. incelendiğinde sürecin ortalamasının kontrol dışı olduğu durumda bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin daha küçük olduğu ve dolayısıyla ortalama kontrol dışı durumun yakalamada daha başarılı olduğu görülmektedir.

Bunun dışında, üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin örnek sayısı arttıkça, ARL değerlerinde genel bir azalış olduğu, R kontrol grafiklerinde ise artış olduğu görülmektedir.

7.4. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Çizelge 7.14.-7.17.'de istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin sürecin hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumlara ilişkin ARL değerleri verilmektedir.

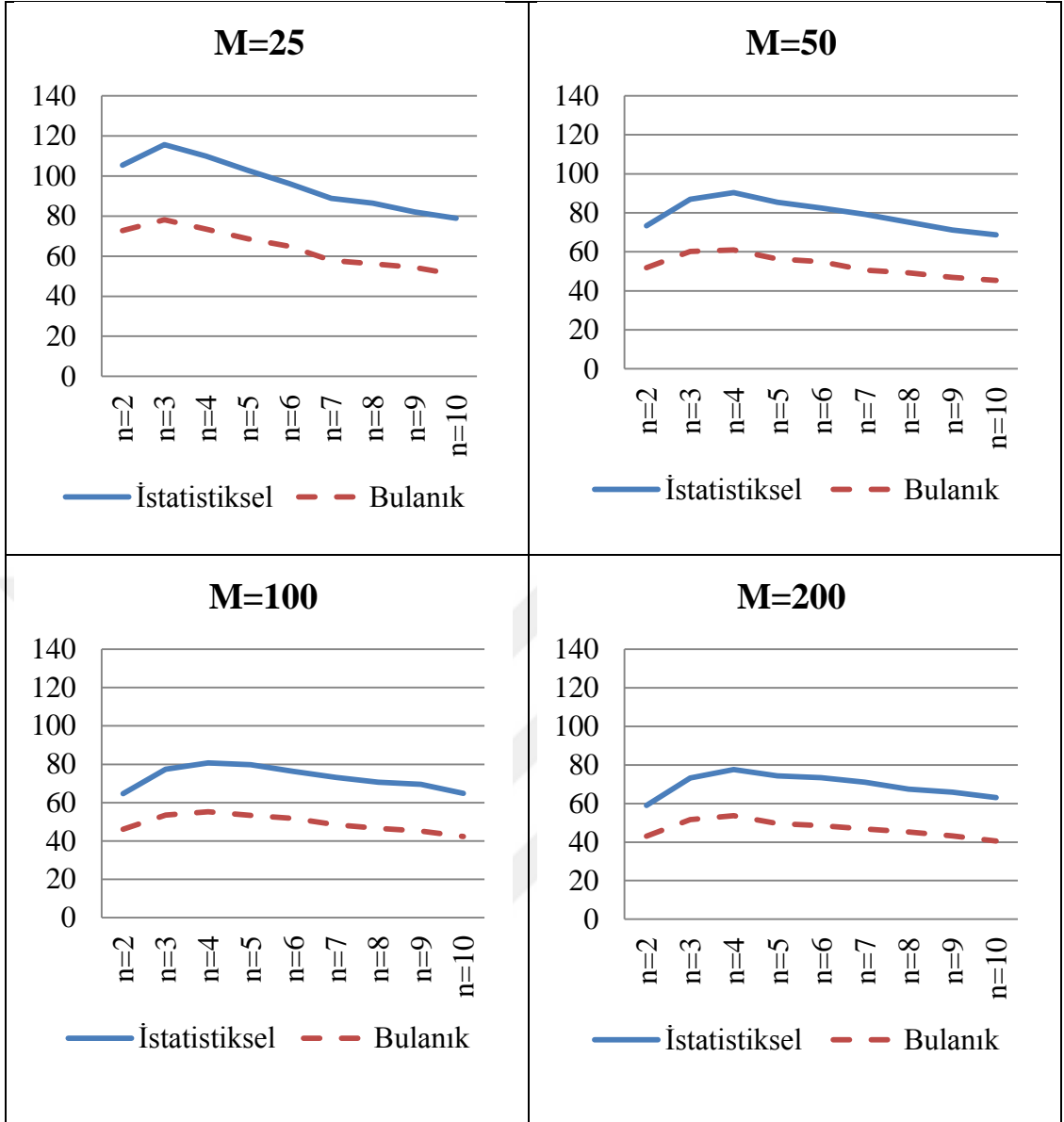
Çizelge 7.14. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	105,3359	72,6979	106,016	81,0056
	n=3	115,5497	78,2099	116,5828	84,8194
	n=4	109,9082	73,5414	112,7364	81,1567
	n=5	102,8282	68,6141	107,8496	75,633
	n=6	96,1518	64,932	96,9752	68,6333
	n=7	88,8053	57,8124	89,1762	63,2092
	n=8	86,4829	56,1249	87,9151	62,4276
	n=9	82,1002	54,4012	82,7927	57,0203
M=50	n=2	73,2948	51,8367	73,1767	56,2548
	n=3	87,0314	60,1581	89,4967	67,1877
	n=4	90,3566	61,0578	91,148	67,5382
	n=5	85,423	56,3064	86,4464	63,6087
	n=6	82,5421	55,0231	83,0703	58,7201
	n=7	79,1849	50,5888	79,3781	56,5403
	n=8	75,256	49,2476	74,9181	52,5215
	n=9	71,1615	46,9821	70,8039	50,3091
M=100	n=2	64,6412	46,0932	64,5436	49,9892
	n=3	77,3973	53,5062	79,297	58,6647
	n=4	80,7262	55,2514	79,6004	58,1038
	n=5	79,808	53,4353	79,2531	57,9528
	n=6	76,2768	51,782	76,0465	55,4327
	n=7	73,1381	48,5572	72,0915	52,1171
	n=8	70,6519	46,6579	68,8878	49,7955
	n=9	69,5991	45,1359	67,9913	48,2681
n=10	64,7938	42,3719	64,8948	45,9502	

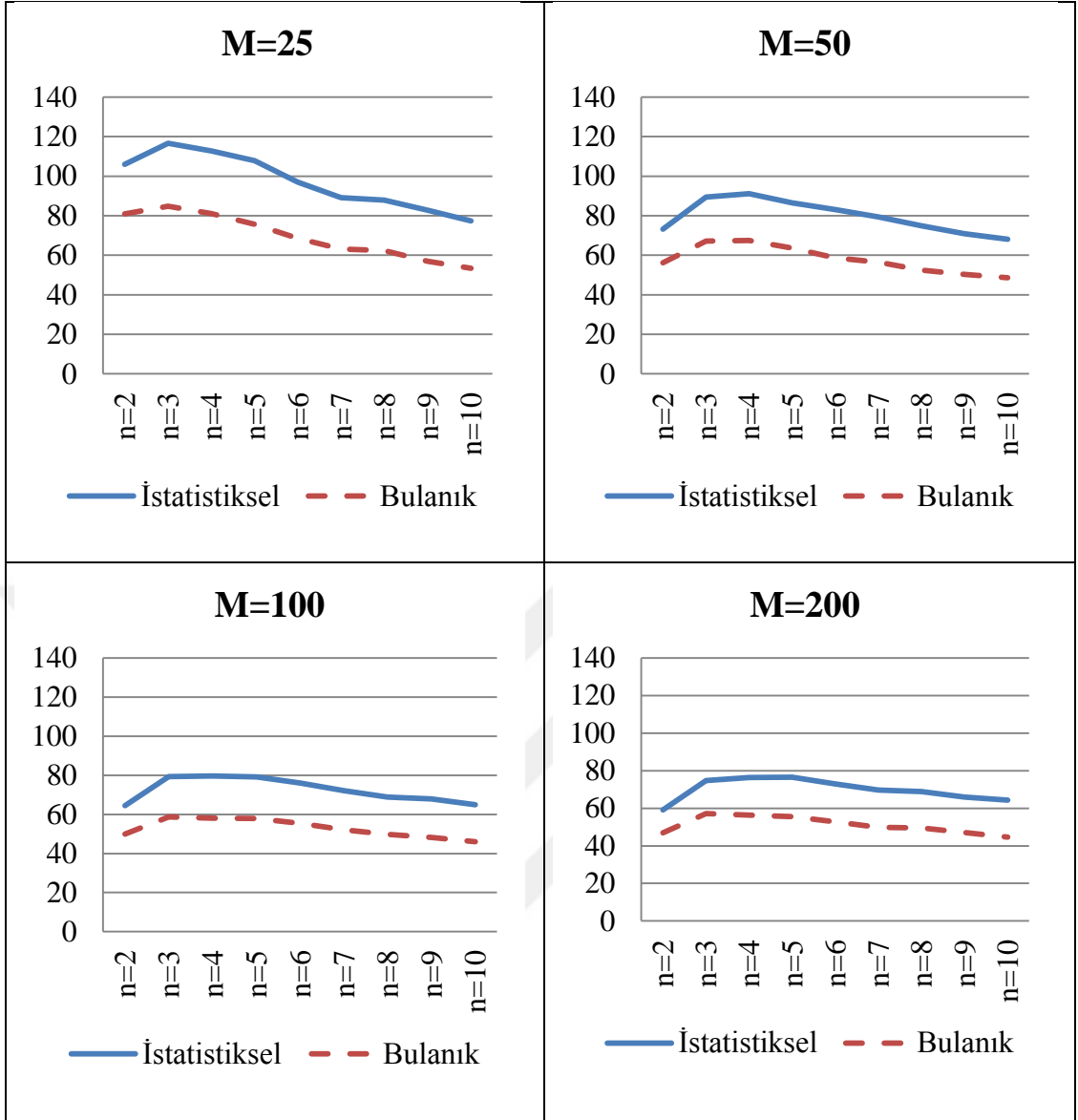
Çizelge 7.14. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=200	n=2	59,005	43,0065	59,2039	46,8612
	n=3	73,3049	51,6118	74,8226	57,1925
	n=4	77,6407	53,6275	76,4517	56,4207
	n=5	74,326	49,602	76,4885	55,4986
	n=6	73,3781	48,5942	72,9062	52,8439
	n=7	71,0345	46,8401	69,7766	49,9188
	n=8	67,4714	45,2526	68,8769	49,4831
	n=9	65,9192	43,1647	65,9822	47,0853
	n=10	63,1056	40,5565	64,3967	44,6289

Şekil 7.17. ve Şekil 7.18.'de sürecin hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.17. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

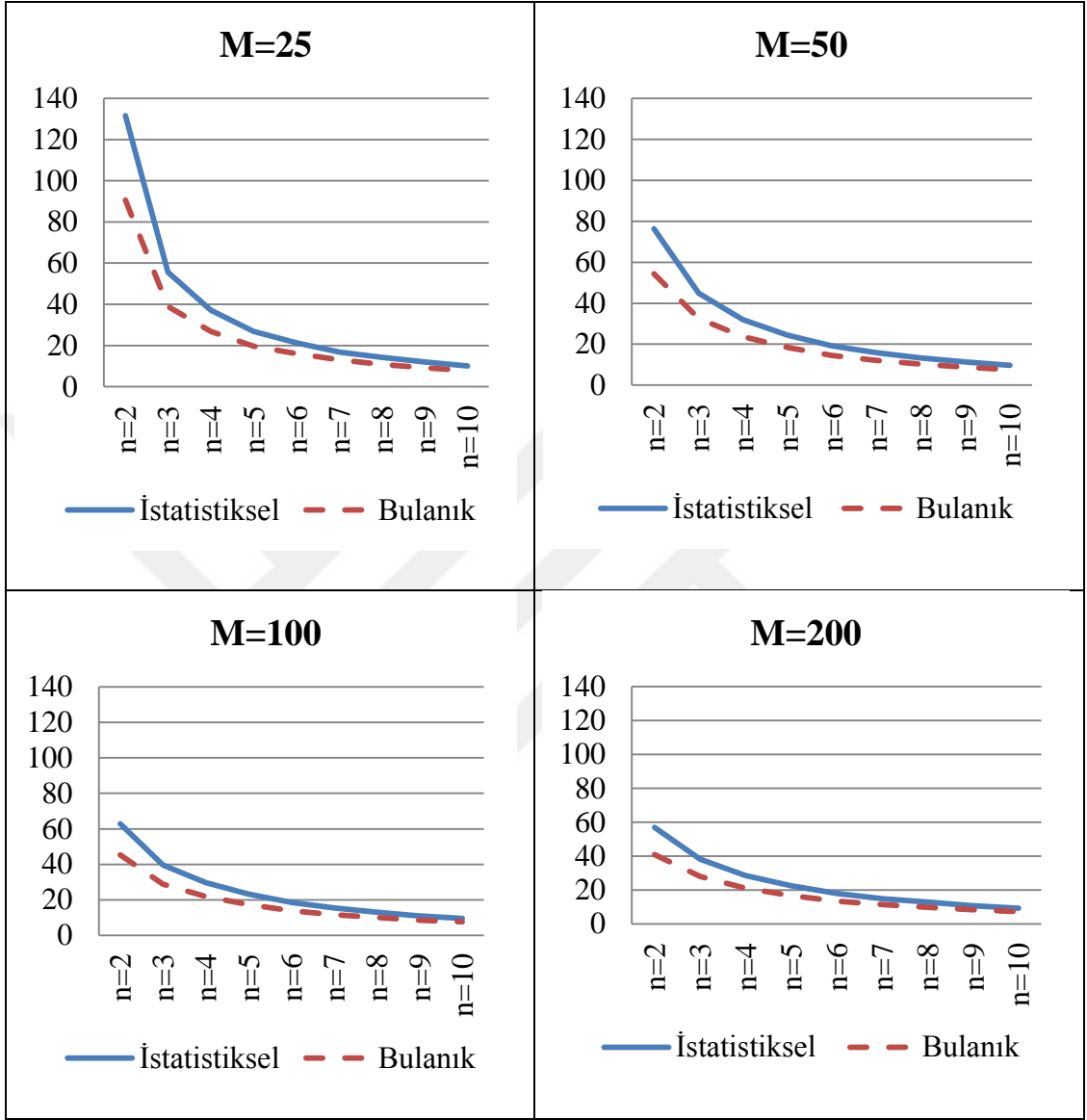


Şekil 7.18. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

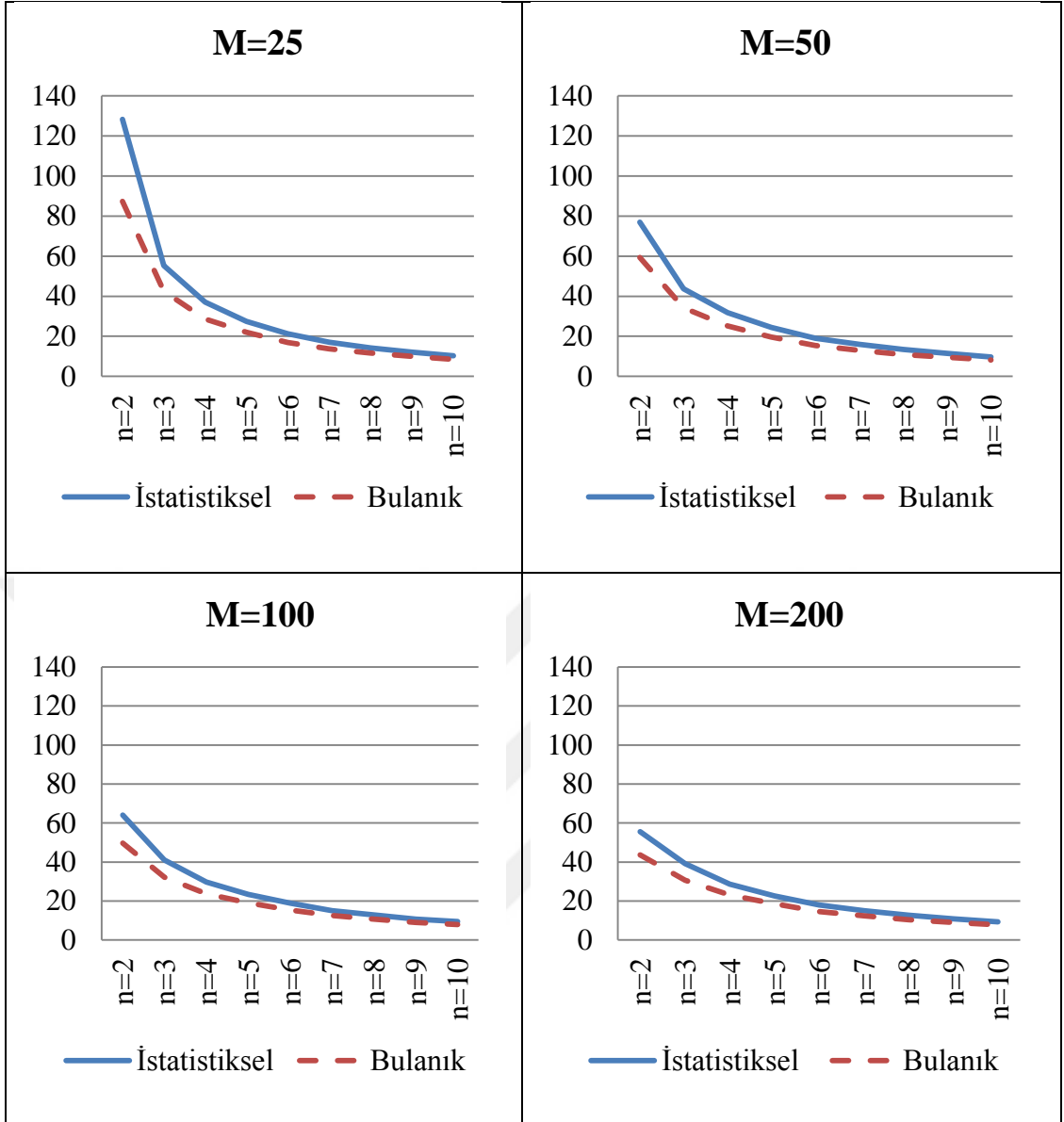
Çizelge 7.15. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumlarda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -R Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=2	131,5913	90,6703	128,2555	87,4027
	n=3	55,5978	38,955	55,2388	42,4879
	n=4	37,2319	26,8884	37,0334	28,5838
	n=5	26,8323	19,675	27,4994	22,0658
	n=6	21,3788	16,0773	21,2102	16,8385
	n=7	16,7447	13,0542	17,0742	13,7935
	n=8	14,2627	10,8588	14,2729	11,6221
	n=9	11,9908	9,1767	12,1458	9,914
	n=10	10,1528	7,8858	10,2858	8,5343
M=50	n=2	76,3098	54,4011	77,0095	59,2964
	n=3	44,8756	32,6131	43,6692	34,279
	n=4	32,0106	23,6158	31,7877	25,173
	n=5	24,398	18,3914	24,4735	19,5568
	n=6	19,2076	14,5408	19,0692	15,4558
	n=7	15,9166	12,0232	15,9309	13,0693
	n=8	13,2456	10,2393	13,3815	10,9293
	n=9	11,3293	8,7507	11,4631	9,4591
	n=10	9,617	7,6442	9,7465	8,1507
M=100	n=2	62,8709	45,341	64,0127	49,7561
	n=3	39,5747	28,829	40,9886	32,2017
	n=4	29,6146	21,8007	29,8048	23,7323
	n=5	23,2678	17,326	23,4048	19,1403
	n=6	18,4618	13,9247	18,8601	15,3751
	n=7	15,3828	11,5636	15,0982	12,5824
	n=8	13,0115	9,9819	12,9014	10,7693
	n=9	10,8852	8,5078	10,7133	8,9703
	n=10	9,5553	7,5497	9,5158	7,8964
M=200	n=2	56,8818	41,0099	55,5673	43,5892
	n=3	38,2614	28,0035	39,1158	30,667
	n=4	28,6492	21,2264	28,7032	23,1144
	n=5	22,6397	16,7292	22,6438	18,5499
	n=6	18,0308	13,567	17,9466	14,6172
	n=7	14,9933	11,5013	14,9868	12,421
	n=8	12,8894	9,9413	12,7289	10,4485
	n=9	10,8738	8,4478	10,8568	8,9975
	n=10	9,2954	7,2803	9,2623	7,7808

Şekil 7.19. ve Şekil 7.20.'de sürecin hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumlarda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık \bar{X} -R kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.19. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.20. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -R Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

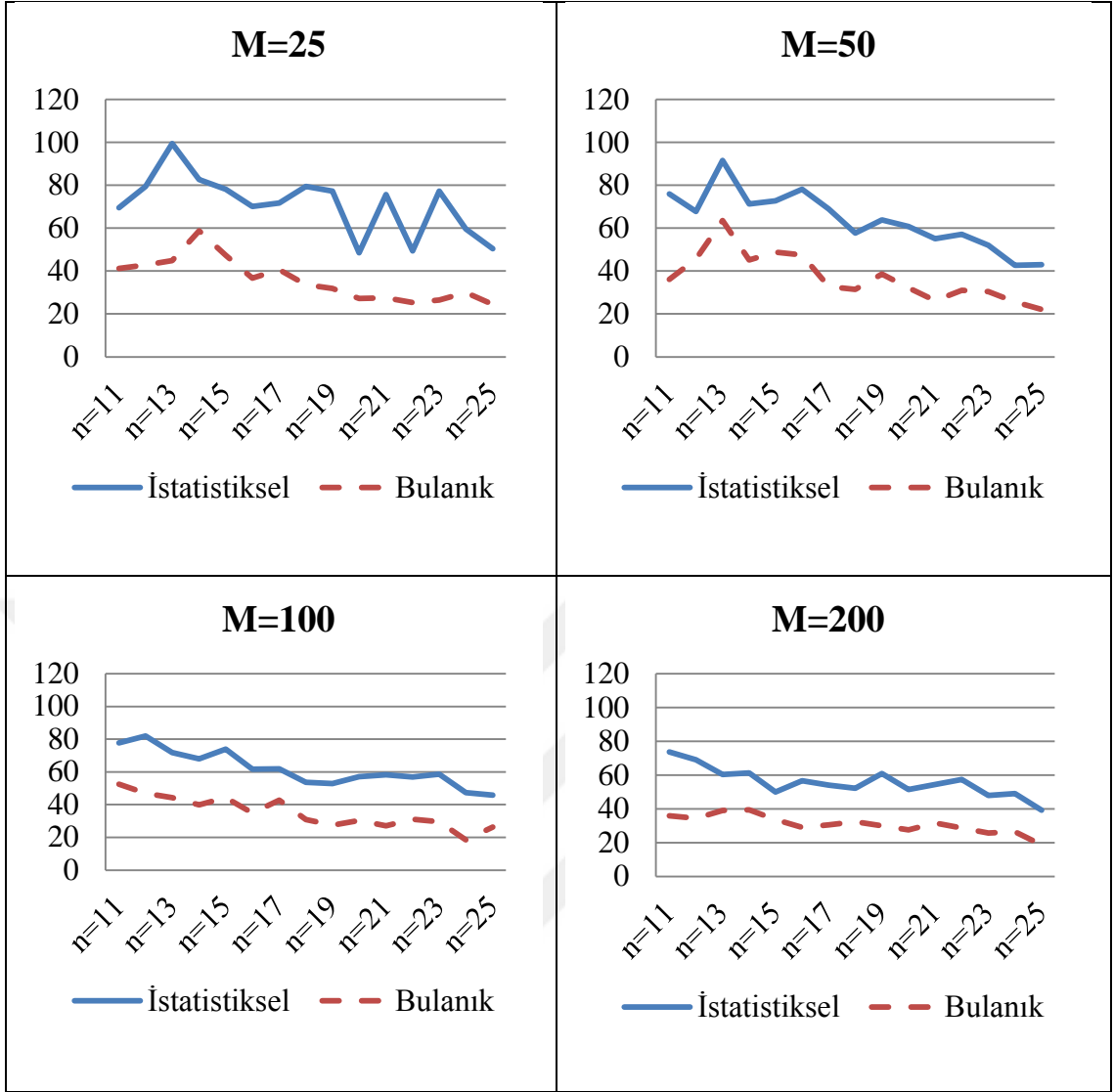
Çizelge 7.16. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	69,56	41,28	437,1699	233,1352
	n=12	79,46	42,79	419,4644	204,5371
	n=13	99,4	44,81	406,5432	188,1067
	n=14	82,63	58,77	403,0315	176,4176
	n=15	78,06	47,37	386,1099	165,202
	n=16	70,16	36,75	397,0809	154,766
	n=17	71,73	40,59	373,6252	142,5457
	n=18	79,47	33,57	376,3185	134,9353
	n=19	77,25	31,82	374,0266	122,4986
	n=20	48,45	27,28	371,5304	121,5964
	n=21	75,69	27,44	367,0343	118,5282
	n=22	49,4	25,3	370,1996	113,2805
	n=23	77,18	26,54	372,0855	110,707
	n=24	59,58	29,98	362,2509	102,5158
	n=25	50,36	24,4	357,3669	101,5244
M=50	n=11	75,88	36,07	509,32	250,62
	n=12	67,71	45,64	352,23	157,01
	n=13	91,62	63,55	438,39	201,85
	n=14	71,21	45,22	350,13	152,86
	n=15	72,8	48,77	310,34	143,25
	n=16	78,13	47,52	346,77	125,66
	n=17	68,87	32,74	372,63	167,79
	n=18	57,71	31,46	418,69	133,55
	n=19	63,89	38,56	498,46	166,67
	n=20	60,74	32,14	421,53	155,02
	n=21	55,07	26,2	312,13	144,05
	n=22	57,11	31	383,91	103,25
	n=23	52,04	30,37	337,63	114,41
	n=24	42,65	25,61	412,9	120,86
	n=25	42,95	22,09	334,02	122,96

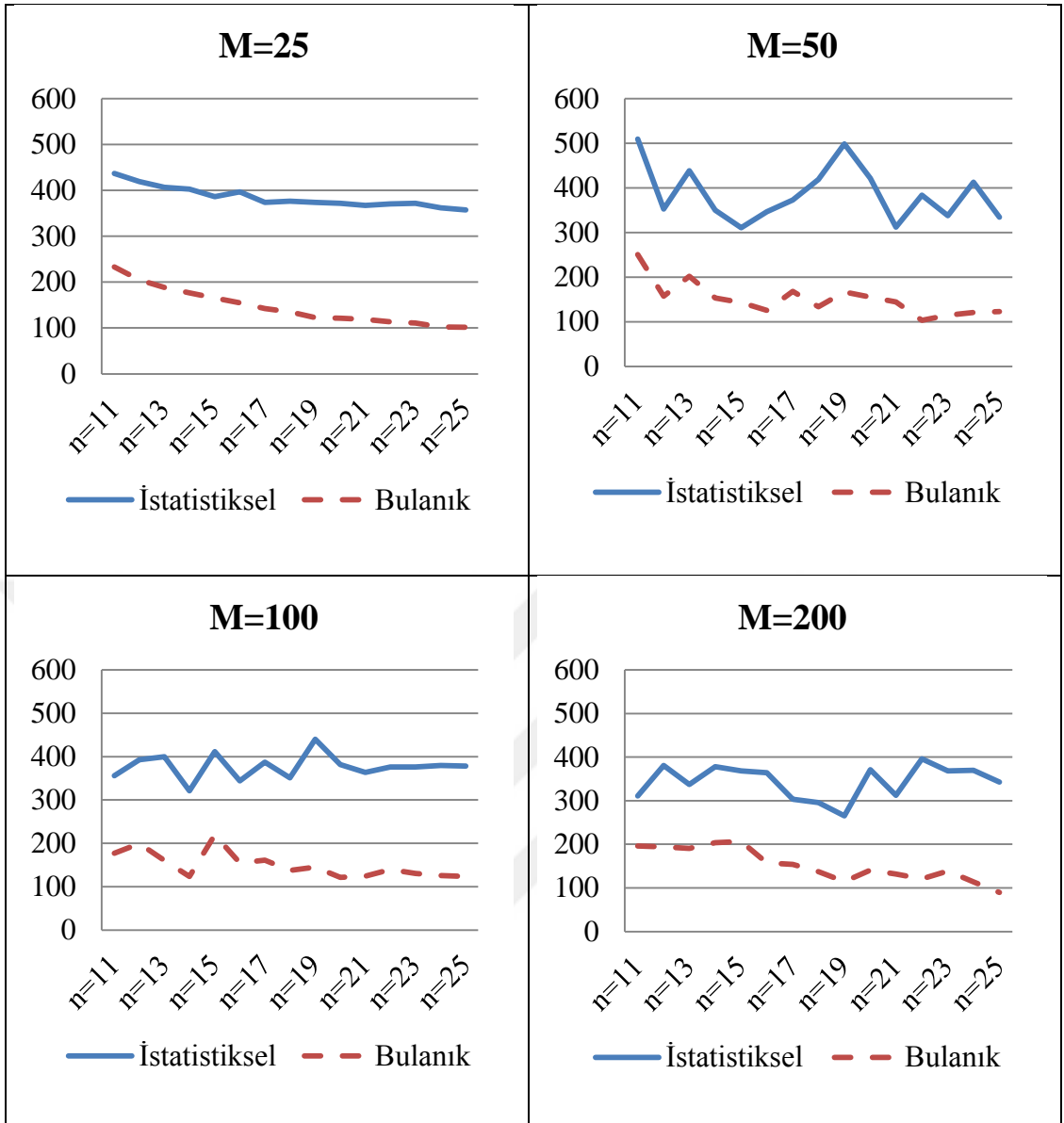
Çizelge 7.16. (devam)

Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	Üçgen		Yamuk	
		İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	77,7	52,44	355,62	177,37
	n=12	81,96	46,89	392,37	199,23
	n=13	71,81	44,26	399,8	160,27
	n=14	67,93	39,92	320,94	123,34
	n=15	73,96	44,26	411,21	219,48
	n=16	61,59	34,84	344,19	154,82
	n=17	61,91	42,82	386,97	161,15
	n=18	53,67	30,87	351,01	137,58
	n=19	52,9	27,43	440,29	144,7
	n=20	57,07	30,31	381,27	121,68
	n=21	58,29	27,12	363,17	124,07
	n=22	56,86	31,16	376,32	139,47
	n=23	58,64	29,48	375,73	130,29
	n=24	47,39	18,46	379,82	125,29
	n=25	45,77	26,27	378,37	123,39
M=200	n=11	73,66	35,88	310,81	196,08
	n=12	69,06	34,33	381,01	194,01
	n=13	60,33	38,93	337,19	190,3
	n=14	61,25	39,4	378,16	203,98
	n=15	49,96	33,7	367,99	206,4
	n=16	56,7	28,99	364,42	157,55
	n=17	53,99	30,56	303,45	153,94
	n=18	52,12	32,36	295,72	137,57
	n=19	60,79	29,84	264,96	114,17
	n=20	51,49	27,45	370,78	140,77
	n=21	54,32	31,54	312,15	131,55
	n=22	57,31	28,7	395,82	120,59
	n=23	47,96	25,7	368,49	138,69
	n=24	49,01	26,34	369,83	114,05
	n=25	39,21	18,58	342,65	89,23

Şekil 7.21. ve Şekil 7.22.'de sürecin hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı olduğu durumda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.21. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.22. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

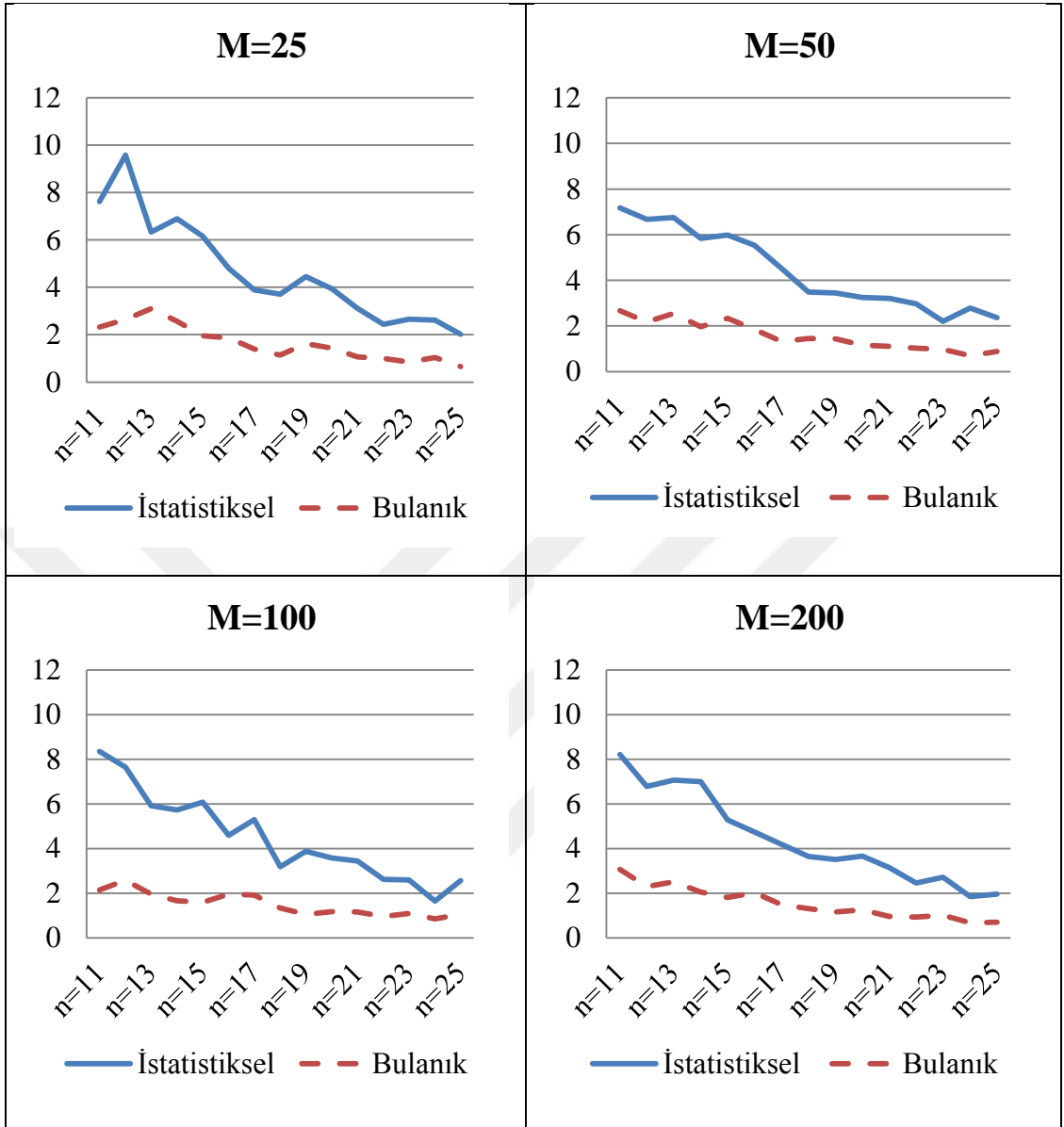
Çizelge 7.17. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık \bar{X} -s Kontrol Grafiklerine İlişkin ARL Değerleri

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=25	n=11	7,62	2,32	9,16	7,76
	n=12	9,58	2,64	8,32	6,62
	n=13	6,34	3,1	5,16	5,04
	n=14	6,89	2,57	7,2	5,74
	n=15	6,16	1,96	6,09	5
	n=16	4,81	1,87	4,48	3,92
	n=17	3,89	1,39	4,69	4,21
	n=18	3,71	1,14	4,55	4,24
	n=19	4,45	1,62	3,52	3,48
	n=20	3,94	1,43	2,94	2,67
	n=21	3,11	1,06	2,61	2,36
	n=22	2,44	1	2,8	2,58
	n=23	2,66	0,85	3,07	2,9
	n=24	2,62	1,04	2,58	2,42
	n=25	2,02	0,65	1,86	1,75
M=50	n=11	7,17	2,67	8,51	6,55
	n=12	6,67	2,17	8,81	7,12
	n=13	6,75	2,55	6,49	5,43
	n=14	5,84	1,97	5,15	4,43
	n=15	5,98	2,33	5,25	4,61
	n=16	5,53	1,85	4,36	4,34
	n=17	4,52	1,32	4,82	3,8
	n=18	3,48	1,45	3,93	3,56
	n=19	3,45	1,44	4,37	3,78
	n=20	3,24	1,16	3,22	3,18
	n=21	3,21	1,11	2,87	2,73
	n=22	2,97	1,02	2,87	2,56
	n=23	2,2	0,97	2,13	1,98
	n=24	2,79	0,69	2,37	2,21
	n=25	2,36	0,88	1,91	1,82

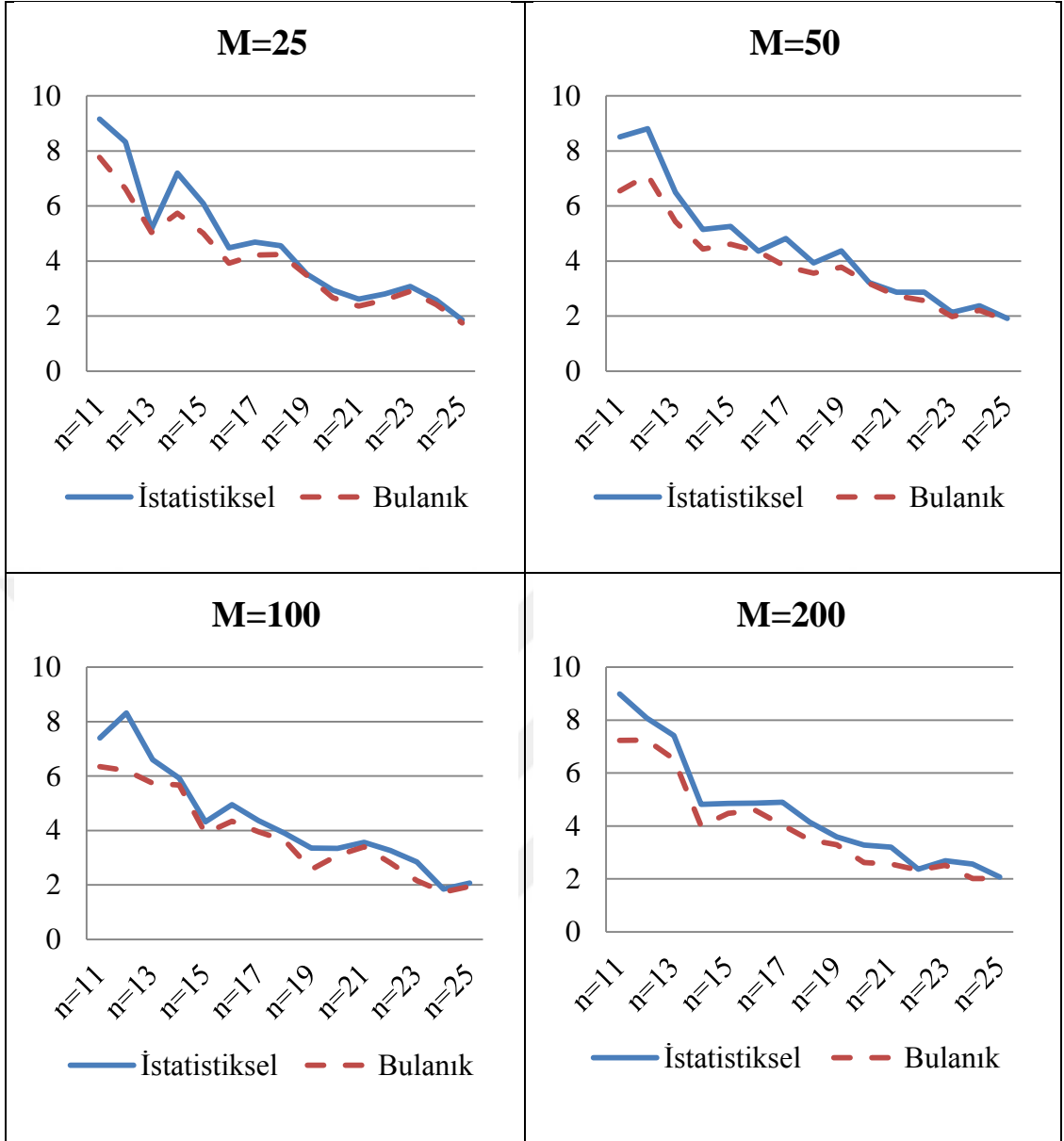
Çizelge 7.17. (devam)

		Üçgen		Yamuk	
Örnek Sayısı	Örnek Büyüklüğü	İstatistiksel	Bulanık	İstatistiksel	Bulanık
M=100	n=11	8,35	2,14	7,4	6,34
	n=12	7,64	2,57	8,32	6,2
	n=13	5,92	1,96	6,6	5,73
	n=14	5,72	1,65	5,92	5,67
	n=15	6,08	1,59	4,32	3,89
	n=16	4,59	1,96	4,95	4,34
	n=17	5,3	1,91	4,36	3,95
	n=18	3,18	1,33	3,9	3,63
	n=19	3,88	1,05	3,35	2,56
	n=20	3,58	1,17	3,34	3,09
	n=21	3,44	1,16	3,56	3,4
	n=22	2,61	0,95	3,26	2,81
	n=23	2,59	1,09	2,84	2,15
	n=24	1,64	0,85	1,84	1,73
	n=25	2,56	1,05	2,07	1,95
M=200	n=11	8,22	3,06	8,99	7,23
	n=12	6,78	2,29	8,07	7,24
	n=13	7,07	2,51	7,41	6,52
	n=14	7	2,05	4,81	3,99
	n=15	5,28	1,8	4,85	4,47
	n=16	4,74	2,02	4,86	4,59
	n=17	4,19	1,48	4,9	4,03
	n=18	3,64	1,31	4,14	3,47
	n=19	3,51	1,16	3,58	3,29
	n=20	3,66	1,25	3,28	2,62
	n=21	3,14	0,95	3,2	2,56
	n=22	2,46	0,92	2,37	2,33
	n=23	2,71	1,01	2,68	2,51
	n=24	1,85	0,67	2,56	2,01
	n=25	1,96	0,7	2,07	2,01

Şekil 7.23. ve Şekil 7.24.'de sürecin hem varyans hem de ortalama kontrol dışı olduğu duruma ilişkin üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin çizgi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.23. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Üçgen Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri



Şekil 7.24. Sürecin Hem Varyansının Hem de Ortalamasının Kontrol Dışı Durumunda Yamuk Bulanık Sayılarda \bar{X} -s Kontrol Grafiklerinin ARL Değerleri

Çizelge 7.10.-7.13. ve Şekil 7.17.-7.24. incelendiğinde sürecin hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı olduğu durumda, bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin tüm durumlar için daha küçük olduğu görülmektedir. Buradan bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin kontrol dışı durumları yakalamada daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür.

Üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R ve \bar{X} -s kontrol grafiklerinin örnek sayısı arttıkça ARL değerlerinde genel bir azalış olduğu görülmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada istatistiksel ve bulanık nicel (R , \bar{X} -R, s ve $\bar{X} - s$) kalite kontrol grafiklerinin simülasyon çalışması ile performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak ARL değerleri kullanılmıştır. Simülasyon çalışmaları için ilk olarak değişik örneklem büyüklüklerinde değişik sayıda örnekler seçilerek kalite kontrol sınırları belirlenmiştir. Ayrıca simülasyon çalışmasında ana kütle parametrelerinin bilinmediği varsayılmıştır. Kontrol sınırları belirlendikten sonra değişik örnek büyüklüklerinde örnekler üretilerek bu örneklerin kontrol sınırları içinde olup olmadıkları kontrol edilmiş ve koşum uzunluğu (RL) değerleri kayıt edilmiştir. Bu işlem 10.000 kere tekrar edilmiş ve elde edilen RL değerinin ortalaması alınarak istatistiksel ve bulanık R , \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin performanslarını karşılaştırabilmek için ARL değerleri hesaplanmıştır.

Simülasyon çalışması yapılırken değişik örnek sayıları ve örnek büyüklükleri için ilk olarak sürecin kontrol altında olduğu durum dikkate alınmış ve ARL_0 değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra sürecin varyansta, ortalamada ve hem varyans hem de ortalamada kontrol dışı durum dikkate alınmış ve ARL_1 değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem üçgen ve yamuk bulanık sayılar için ayrı ayrı yapılmıştır. Simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Sürecin kontrol altında olduğu durumda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R , \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin farklı örnek büyüklüğü ve örnek sayısında ARL değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Buradan istatistiksel ve bulanık nicel kalite kontrol grafiklerinin kontrol dışı durumlar için karşılaştırılabilir olduğuna karar verilmiştir.
- Sürecin varyansının, ortalamasının ve hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumunda bulanık R , \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin ARL değerlerinin tüm durumlar için istatistiksel R , \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin ARL değerlerinden hep küçük olduğu tespit edilmiş ve buradan bulanık nicel kalite kontrol grafiklerinin kontrol dışı durumları yakalamada daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuçları genel olarak özetlemek amacıyla sürecin varyansının, ortalamasının ve hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için farklı örnek büyüklüğü ve örnek sayısında R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki farkların ortalaması hesaplanmış ve bu değerler çizelge 8.1.'de verilmektedir.

Çizelge 8.1. Sürecin Kontrol Dışı Durumunda İstatistiksel ve Bulanık ARL Değerleri Arasındaki Farkların Ortalaması

	Üçgen				Yamuk			
Varyans	M=25	M=50	M=100	M=200	M=25	M=50	M=100	M=200
R	11,76	10,10	9,24	8,78	9,55	8,06	7,47	7,03
\bar{X}-R	64,21	52,05	49,40	48,32	40,18	38,80	39,08	37,64
S	5,87	5,33	5,07	4,95	2,89	2,05	1,91	1,85
\bar{X}-s	7,69	8,54	9,30	8,22	36,22	30,77	40,08	37,22
Ortalama								
R	132,29	93,78	82,08	76,19	108,38	69,43	69,16	65,11
\bar{X}-R	21,39	13,35	11,32	10,45	18,10	11,30	8,94	8,17
S	263,18	232,41	252,12	235,50	240,09	225,12	219,48	211,65
\bar{X}-s	5,87	3,81	3,48	3,41	0,70	0,66	0,90	0,74
Varyans+								
Ortalama								
R	32,11	26,26	23,80	22,54	27,78	21,69	19,59	18,77
\bar{X}-R	10,28	7,18	6,42	6,09	9,08	5,68	4,98	4,62
S	35,31	26,76	26,72	24,99	238,90	235,95	227,66	191,63
\bar{X}-s	3,04	2,83	2,97	2,86	0,55	0,59	0,57	0,59

Çizelge 8.1. incelendiğinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Sürecin varyansının, ortalamasının ve hem varyans hem de ortalamasının kontrol dışı olduğu durumda üçgen bulanık sayılar için R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki farkın ortalamasının yamuk bulanık sayılar için hesaplanan ortalamadan genelinde büyük çıktığı görülmektedir. Sadece varyansın kontrol dışı durumunda \bar{X} -s kontrol grafiğinde ve hem varyans hem de ortalamasının

kontrol dışı durumunda s kontrol grafiğinde küçük çıktığı görülmüştür. Ayrıca istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki fark üçgen bulanık sayılar için \bar{X} -R kontrol grafiklerinde maksimum, yamuk bulanık sayılar için s kontrol grafiklerinde minimum olduğu görülmektedir.

- Sürecin varyansının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için R ve s kalite kontrol grafiklerine \bar{X} eklendiği takdirde istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki farkın ortalamasında bir artış olduğu görülmüştür. Ancak sürecin ortalamasının ve hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için R ve s kontrol grafiklerine \bar{X} eklendiği takdirde istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki farkın ortalamasında bir azalış olduğu görülmektedir.
- Sürecin varyansının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R ve s kalite kontrol grafiklerinin örnek sayısı arttığında örnek büyüklüğüne ait ARL değerlerinde genel bir azalış olduğu, ancak istatistiksel ve bulanık \bar{X} -s kontrol grafiklerinde ise artan azalan bir dağılım görülmektedir.
- Sürecin ortalamasının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R, s ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin örnek sayısı arttığında örnek büyüklüğüne ait ARL değerlerinde genel bir azalış olduğu görülmektedir. Sadece üçgen bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık s kontrol grafiklerinin örnek büyüklükleri arasında ARL değerlerinde ise artan azalan bir dağılım görülmektedir. Ayrıca istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki farkın üçgen bulanık sayılar için s kontrol grafiklerinde maksimum, yamuk bulanık sayılar için \bar{X} -s kontrol grafiklerinde minimum hatta birbirine çok yakın performansa sahip olduğu görülmektedir.
- Sürecin hem varyansının hem de ortalamasının kontrol dışı durumunda üçgen ve yamuk bulanık sayılar için istatistiksel ve bulanık R, \bar{X} -R ve \bar{X} -s kalite kontrol grafiklerinin örnek sayısı arttığında örnek büyüklüğüne ait ARL değerlerinde genel bir azalış olduğu, ancak istatistiksel ve bulanık s kontrol grafiklerinde ise artan azalan bir dağılım görülmektedir. Ayrıca istatistiksel ve bulanık ARL değerleri arasındaki farkın yamuk bulanık sayılar için s kontrol grafiklerinde maksimum, yamuk bulanık sayılar için \bar{X} -s kontrol

grafiklerinde minimum hatta birbirine çok yakın performansa sahip olduğu gör÷lmektedir.



KAYNAKLAR

- Alcı, M. ve Karatepe, E. (2002) *Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları*, 1. Baskı, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, 117s.
- Anagava A.K., Tamaki F. ve Ohta H. (1993) Control charts for process average and variability based on linguistic data, *International Journal of Production Research*, 31:913-922.
- Aytaç E. (2006) *Kalite Kontrolde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 249s.
- Basri, N.A.Z.A, Rusiman, M.S., Roslan, R., Mohamad M. ve K. (2016) Application of Fuzzy $\tilde{X} - \tilde{s}$ Charts for Solder Paste Thickness, *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*. 12:4299-4315.
- Başkır M.B. (2011) *Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımının İyileştirilmesi ve Uygulamaları*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 183s.
- Bayhan M. (2011) *Hizmet Sektöründe Tedarikçi Seçiminde Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi Kullanımı Üzerine Bir Uygulama*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 153s.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004) *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Bojadzıev, G. Bojadzıev, M. (2007) *Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management*, 2. Baskı, World Scientific Publishing, Singapore.
- Çelik M. (2015) *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 77s.
- Demirli K., Kumar S. ve Kumar V. (2010) Fuzzy Logic Based Assignable Cause Diagnosis Using Control Chart Patterns, *Information Sciences*, 180: 3258–3272.
- Dengizler Kayaalp İ. (2007) *Konfeksiyon İşletmelerinde Kalitenin İyileştirilmesi Amacıyla İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemlerinin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 212s.
- Erginal N. ve Şentürk S., Kahraman C. ve Kaya I. (2011) Evaluating the Packing Process in Food Industry Using Fuzzy and [Stilde] Control Charts, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4: 509-520.
- Faraz A. ve Shapiro A.F. (2010) An Application of Fuzzy Random Variables to Control Charts, *Fuzzy Sets and Systems*, 161: 2684–2694.
- Franceschine F. ve Romano D. (1999) Control Chart For Linguistic Variables: A Method Based on the use of Linguistic Quantifiers, *International Journal of Production Research*, 37: 3791- 3800.

- Fuller, R. (1995) *Neural Fuzzy Systems*, Abo Akademi Press, Finland.
- Gülbay, M. ve Kahraman, C. (2007) An Alternative Approach to Fuzzy Control Charts: Direct Fuzzy Approach, *Information Sciences*, 77:1463-1480.
- Gülçiçek B. (2014) *Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi İle Hata Türü Etkileri Analizinin Bir Ambalaj Firmasında Uygulanması*, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 207s.
- Işıklı Ş. (2009) Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler, *Ankara Üniversitesi Dil Tarih-Coğrafya Fakültesi Felsefe Bölümü Dergisi*, 2004:101-120.
- Kılınç M.S. (2008) *İnternet Sitesi Tasarımında Bulanık Kalite Fonksiyonu Yayılımının Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 164s.
- L.A. Zadeh ve Kacprz (1992) *Fuzzy Logic for The Management of Uncertainty*, Newyork: John Wiley&Sons Inc., 214.
- M. Khademi ve V. Amirzadeh (2014) Fuzzy Rules For Fuzzy X and R Control Charts, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 11:55-66.
- Mendel, J. M. (2001) *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems, Indroductions and New Directions*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Moameni M., Saghaei A. ve Ghorbani Salanghooch M. (2012) The Effect of Measurement Error on \bar{X} - \bar{R} Fuzzy Control Charts, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 2: 173-176.
- Montgomery D.C. (2008) *Introduction to Statistical Quality Control*, 6. Baskı, Arizona State Üniversitesi, USA, 734s.
- Nabiyev, V. (2005) *Yapay Zeka, Problemler-Yöntemler-Algoritma*, 2. Baskı, Seçkin Kitabevi, Ankara.
- Özdamar İ.H. (2006) *Bulanık İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Bir Orman Endüstrisi İşletmesinde Uygulama*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 215s.
- Özkale M.R. (2004) *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulamalar*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova üniversitesi, Adana, 195s.
- Özkale, M.R. (2011) *İstatistiksel Kalite Kontrol Ders Notları*, Adana(basılmamış).
- Öztürk A. (2007) *İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri Kabul Örnekleme*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 108s.
- Pandurajan ve Varadharajan R. (2011) Construction of α - cut fuzzy and Xbar-R and Xbar-S Control Charts Using Fuzzy Trapezoidal Number, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 9: 100–111.
- Patır S. (2009) İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri ve Kontrol Grafiklerinin Malatya'daki bir Tekstil(İplik dokuma) işletmesinde Bobin Sarım Kontrolünde Uygulanması, *SÜ İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 231-249.

- Pekin Alakoç N. (2012) *Bulanık Kalite Kontrol Grafiklerinde Yeni Bir Yaklaşım (Oran Yaklaşımı)*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 131s.
- Pekmezci A. (2005) *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla, 117s.
- Pillay, A. ve Wang, J. (2003) Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning, *Reliability Engineering and System Safety*, 79:69-85.
- Rashid, K.M.J ve Haydar S.S. (2015) Use Fuzzy Midrange Transformation Method to Construction Fuzzy Control Charts Limits, *International Journal of Scientific and Statistical Computing (IJSSC)*, 6:1.
- Raz. T ve Wang. J.H. (1990) On the construction of control charts using linguistic variables, *International Journal of Production Research*, 28: 477-487.
- Saric I. ve Imen O. (2011) A New Diagnosis System Based on Fuzzy Reasoning to detect Mean and/or Variance Shifts In a Process, *International Journal of Innovative Computing. Information and Control ISSN* , 7: 1349-4198, 12: 6935-6948.
- Sattarov, R. (2008) *Kalite Fonksiyon Yayılımında Bulanık Mantık Yaklaşımı: Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 126s.
- Shu.M.H ve Hsien-C.W. (2011) Fuzzy X and R control charts: Fuzzy dominance approach. *Computers & Industrial Engineering*, 61: 676–685.
- Şentürk S. ve Erginel N. (2009) Development of fuzzy Xbar -R and Xbar -S Control Charts Using a-cuts. *Information Sciences*, 179: 1542–1551.
- Taylan O. ve Darrab I.A. (2012) Fuzzy control charts for process quality improvement and product assessment in tip shear carpet industry, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23: 402-420.
- Ting-Du, T. ve Wolfe P. (1997) Implementation of Fuzzy Logic Systems and Neural Networks in Industry, *Computers in Industry*, 32:261-272.
- Türe, H. (2006) *Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Türkbey O. (2003) Makine Sıralama Problemlerinde Çok Amaçlı Bulanık Küme Yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18:63-77.
- Yılmaz E. (2010) Kütüphanelerde Toplam Kalite Yönetimi: Kısa Bir Gözden Geçirme, *Türk Kütüphaneciliği*, 24:33-62.
- Zadeh, L.A. (1994) Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing, *Communication of the ACM*, 37:77-84.
- Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8:338-353.
- (<https://prezi.com/q85t9-7c0go-/bulanik-mantigin-avantaj-ve-dejavantajlari-kullanim-alanlar/>).

EKLER

Ek.1. Kalite Kontrol Sınırlarının Hesaplanması için Çarpan Katsayıları

Örnekteki Gözlem Sayısı n	Ortalama Grafikleri				Standart Sapma Grafikleri						Değişim Aralığı Grafikleri							
	Kontrol Sınırları Katsayıları				Orta Çizgi Katsayıları		Kontrol Sınırları Katsayıları				Orta Çizgi Katsayıları		Kontrol Sınırları Katsayıları					
	A	A ₁	A ₂	A ₃	c ₄	c ₂	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	3,76	1,880	2,659	0,7979	0,5642	0	1,843	0	3,267	0	2,606	1,128	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	2,394	1,023	1,954	0,8862	0,7236	0	1,858	0	2,568	0	2,276	1,693	0,888	0	4,358	0	2,575
4	1,500	1,88	0,729	1,628	0,9213	0,7999	0	1,808	0	2,266	0	2,088	2,059	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	1,596	0,577	1,427	0,9400	0,8407	0	1,756	0	2,089	0	1,964	2,326	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	1,41	0,483	1,287	0,9515	0,8686	0,026	1,711	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	1,277	0,419	1,182	0,9594	0,8882	0,105	1,672	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	1,175	0,373	1,099	0,9650	0,9027	0,167	1,638	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	1,094	0,337	1,032	0,9693	0,9139	0,219	1,609	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	1,028	0,308	0,975	0,9727	0,9227	0,262	1,584	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,973	0,285	0,927	0,9754	0,9300	0,299	1,561	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,925	0,266	0,886	0,9776	0,9359	0,331	1,541	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,884	0,249	0,850	0,9794	0,9410	0,359	1,523	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,848	0,235	0,817	0,9810	0,9453	0,384	1,507	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,816	0,223	0,789	0,9823	0,9460	0,406	1,492	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,788	0,212	0,763	0,9835	0,9523	0,427	1,478	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,762	0,203	0,739	0,9845	0,9551	0,445	1,465	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,738	0,194	0,718	0,9854	0,9576	0,461	1,454	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,717	0,187	0,698	0,9862	0,9599	0,477	1,443	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,697	0,180	0,680	0,9869	0,9619	0,491	1,433	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,679	0,173	0,663	0,9876	0,9638	0,504	1,424	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,662	0,167	0,647	0,9882	0,9655	0,516	1,415	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,647	0,162	0,633	0,9887	0,9670	0,527	1,407	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,632	0,157	0,619	0,9892	0,9684	0,538	1,399	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,619	0,153	0,606	0,9896	0,9696	0,548	1,392	0,565	1,433	0,559	1,420	3,931	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Meltem Çelik
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Büyükçekmece / 08.10.1992
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 545 2514078
E-posta : meltem_clk@hotmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	İstanbul Ticaret Odası Çok Programlı Lisesi	2010
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2018

Yabancı Dil

İngilizce	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma	X		
Anlama		X	
Okuma		X	