

**T.C.**  
**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BULANIK MANTIĞA DAYALI SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ:**  
**OTOMOTİV SANAYİ ÖRNEĞİ**

**BURÇE SELÇUKOĞLU**

**HAZİRAN 2019**

**SAMSUN**

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BULANIK MANTIĞA DAYALI SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ:  
OTOMOTİV SANAYİ ÖRNEĞİ

BURÇE SELÇUKOĞLU

AKILLI SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI

SAMSUN

2019

Her hakkı saklıdır.

## TEZ ONAYI

Burçe SELÇUKOĞLU tarafından hazırlanan ‘‘Bulanık Mantığa Dayalı Süreç Yeterlilik Analizi: Otomotiv Sanayi Örneği’’ adlı tez çalışması 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

|          |                                     |       |
|----------|-------------------------------------|-------|
| Danışman | Prof. Dr. Sermin ELEVLİ             | ..... |
|          | Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |       |

### Jüri Üyeleri

|        |                                                |       |
|--------|------------------------------------------------|-------|
| Başkan | Prof. Dr. Mehmet Serhat ODABAŞ                 | ..... |
|        | Ondokuz Mayıs Üniversitesi                     |       |
|        | Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Anabilim Dalı |       |

|     |                                     |       |
|-----|-------------------------------------|-------|
| Üye | Prof. Dr. Sermin ELEVLİ             | ..... |
|     | Ondokuz Mayıs Üniversitesi          |       |
|     | Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |       |

|     |                                     |       |
|-----|-------------------------------------|-------|
| Üye | Dr. Öğretim Üyesi Ömer Faruk Yılmaz | ..... |
|     | Karadeniz Teknik Üniversitesi       |       |
|     | Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |       |

**Yukarıdaki sonucu onaylarım. 17/07/2019**

.....

**Prof. Dr. Bahtiyar Öztürk**  
**Enstitü Müdürü**

## ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

.../.../2019

Burçe SELÇUKOĞLU

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## BULANIK MANTIĞA DAYALI SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ: OTOMOTİV SANAYİ ÖRNEĞİ

Burçe SELÇUKOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sermin ELEVLİ

İşletmeler istenen kalite seviyesine erişebilmek amacıyla ürünlerini belirlenmiş spesifikasyon limitleri arasında üretmeleri gerekmektedir. Süreç yeterlilik analizleri (SYA) spesifikasyon limitleri olarak ifade edilen müşteri beklentilerini karşılama yeteneği olarak tanımlanır. Eğer hesaplanan süreç yeterlilik indeks değerleri daha önceden belirlenmiş kritik değerden daha büyük ise süreç “yeterli”, aksi durumda ise süreç “yetersiz” olarak sınıflandırılmaktadır. Yeterli olmayan sürece değişkenliği azaltmak veya süreç ortalamasını hedef değere çekmek üzere müdahale edilmektedir. Süreç yeterliliği ile ilgili verilen hatalı bir kararın yanlış ya da gereksiz bir müdahaleye neden olabilmesinden ötürü süreç yeterlilik indekslerinin daha esnek, daha duyarlı ve daha fazla bilgi içerecek şekilde analiz edilmesi önem taşımaktadır. SYA’nde eksik bilginin ve/veya esnek tanımlamanın mümkün olduğu durumlarda spesifikasyon limitlerinin, süreç ortalamasının ve varyansın kesin değerler şeklinde tanımlanması, süreç yeterlilik indekslerinin daha sınırlı bilgi içermelerine yol açmaktadır. Gerçek uygulamalarda kesin olmama durumu; örnekleme yapılmasından, hassas olmayan ölçüm aletlerinden, ölçüm hatalarından ya da kesin olmayan spesifikasyon limitlerinden kaynaklanabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı süreç yeterlilik analizi çalışmalarında bulanık mantıktan yararlanma ihtiyacı doğmaktadır. Bu çalışmada bir otomotiv yan sanayinde üretilen süspansiyon takozu için yamuk bulanık sayılarla oluşturulmuş süreç yeterlilik analizi çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Süreç yeterlilik analizi (SYA), Bulanık mantık, Bulanık sayılar, Süspansiyon takozu, Bulanık süreç yeterlilik analizi (BSYA).

## **ABSTRACT**

Master's Thesis

### **PROCESS CAPABILITY ANALYSIS BASED ON FUZZY LOGIC:**

#### **AUTOMOTIVE INDUSTRY EXAMPLE**

Burçe SELÇUKOĞLU

Ondokuz Mayıs University

Graduate School of Sciences

Department of Intelligent Systems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sermin ELEVLI

Enterprises are required to produce their products within the specified specification limits in order to achieve the desired quality level. Process capability analysis is defined as the ability to meet customer expectations expressed as specification limits. If the calculated process adequacy index values are greater than the predetermined critical value, the process is classified as 'sufficient', otherwise the process is classified as 'inadequate'. Inadequate processes are intervened to reduce variability or to bring the process average to the target value. It is important that the process capability indexes are more flexible, more sensitive and contain more information because a wrong decision about process adequacy may lead to wrong or unnecessary intervention. Where incomplete information and / or flexible identification is possible in PCA, defining specification limits, process mean and variance as absolute values leads to more limited information on process capability indices. Uncertainty in real applications; sampling, insensitive measuring instruments, measurement errors, or uncertain specification limits. For these reasons, there is a need to use fuzzy logic in process capability analysis studies. In this study, a process capability analysis was performed with trapezoidal fuzzy numbers for the suspension wedge produced in an automotive supplier industry.

**Key words:** Process capability analysis (PCA), Fuzzy logic, Fuzzy numbers, suspension wedge, Fuzzy process capability analysis (FPCA).

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda her türlü desteği benden esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Sermin ELEVLİ' ye ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2019

Burçe Selçukoğlu



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                                                  | I   |
| ABSTRACT .....                                                              | II  |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....                                                     | III |
| 1. GİRİŞ .....                                                              | 1   |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI .....                                                 | 3   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                                 | 9   |
| 3.1. Süreç Yeterlilik Analizi .....                                         | 9   |
| 3.1.1. Süreç Yeterlilik İndeksleri .....                                    | 10  |
| 3.1.2. Süreç Performans İndeksleri .....                                    | 13  |
| 3.2. Kontrol Grafikleri .....                                               | 13  |
| 3.2.1. Niceliksel Değişkenler için Düzenlenen Kontrol Grafikleri .....      | 14  |
| 3.2.1.1. $\bar{x}$ - R Kontrol Grafikleri .....                             | 15  |
| 3.2.1.2. $\bar{x}$ - S Kontrol Grafikleri .....                             | 16  |
| 3.2.1.3. Birimler Kontrol Grafikleri .....                                  | 16  |
| 3.2.2. Niteliksel Değişkenler için Düzenlenen Kontrol Grafikleri .....      | 17  |
| 3.2.2.1. p Kontrol Grafiği (Kusurlu Oranı) .....                            | 17  |
| 3.2.2.2. np Kontrol Grafiği (Kusurlu Sayısı) .....                          | 18  |
| 3.2.2.3. c Kontrol Grafiği (Kusur Sayısı) .....                             | 18  |
| 3.2.2.4. u Kontrol Grafiği (Birim Başına Kusur Sayısı) .....                | 18  |
| 3.3. Bulanık Mantık .....                                                   | 19  |
| 3.4. Bulanık Sayılar .....                                                  | 20  |
| 3.5. Bulanık $\bar{x}$ - R Kontrol Grafikleri .....                         | 21  |
| 3.5.1. Üçgensel Bulanık Sayılar İçin $\bar{x}$ - R Kontrol Grafikleri ..... | 22  |
| 3.5.2. Yamuk Bulanık Sayılar İçin $\bar{x}$ - R Kontrol Grafikleri .....    | 24  |
| 3.5.3. Bulanık Kontrol Kurallarının Yorumu .....                            | 27  |
| 3.6. Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi .....                                 | 30  |
| 3.7. Süreç Yeterliliği İçin Bulank Kural Metodu .....                       | 32  |
| 4. UYGULAMA .....                                                           | 35  |
| 4.1. Şirket Tanıtımı .....                                                  | 35  |
| 4.2. Ürün Bilgisi .....                                                     | 35  |
| 4.3. Bulanık $\bar{x}$ -R Grafikleriyle Süreç Kararlılığının Analizi .....  | 39  |

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 4.4. Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi ..... | 43 |
| 5. SÜREÇ İYİLEŞTİRMELERİ .....              | 45 |
| 6. İYİLEŞTİRME SONRASI ÖLÇÜMLER .....       | 47 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                   | 53 |
| KAYNAKÇA.....                               | 56 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                              | 60 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1:Süreç Yeterlilik Analizinin Genel İfadesi .....      | 11 |
| Şekil 3.2: Süreç Yeterlilik İndekslerinin Bazı Değerleri ..... | 13 |
| Şekil 3.3: Kontrol Grafiği .....                               | 14 |
| Şekil 3.4: Üçgen Bulanık Sayı Üyelik Fonksiyonu.....           | 21 |
| Şekil 3.5: Yamuk Bulanık Sayı Üyelik Fonksiyonu .....          | 21 |
| Şekil 3.6: Süreç Kontrolü İçin Kural-1 .....                   | 27 |
| Şekil 3.7: Süreç Kontrolü İçin Kural-2.....                    | 28 |
| Şekil 3.8: Süreç Kontrolü İçin Kural-3,4.....                  | 28 |
| Şekil 3.9: Süreç Kontrolü İçin Kural-5.....                    | 29 |
| Şekil 3.10: Süreç Yeterliliği İçin Kural-1 .....               | 32 |
| Şekil 3.11: Süreç Yeterliliği İçin Kural-2.....                | 33 |
| Şekil 3.12: Süreç Yeterliliği İçin Kural-3 .....               | 33 |
| Şekil 4.1: Süspansiyon Sistemi Parçaları.....                  | 36 |
| Şekil 4.2: Süspansiyon Takozu .....                            | 37 |
| Şekil 4.3: Süspansiyon Takozu Boy Ölçümü .....                 | 38 |
| Şekil 4.4: Süspansiyon Takozunun Kalıp Görüntüsü.....          | 38 |
| Şekil 4.5: Anderson- Darling Normallik Testi.....              | 40 |
| Şekil 5.1: a Uygunsuzluğu .....                                | 45 |
| Şekil 5.2: b Uygunsuzluğu.....                                 | 45 |
| Şekil 5.3: c ve d Uygunsuzluğu.....                            | 46 |
| Şekil 6.1: Anderson- Darling Normallik Testi.....              | 48 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1: Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar .....                         | 7  |
| Çizelge 3.1: $C_p$ ve $C_{pk}$ Değerlerinin Yorumu .....                        | 12 |
| Çizelge 3.2: Klasik ve Bulanık Kontrol Grafiklerinin Karşılaştırılması .....    | 22 |
| Çizelge 4.1: Süspansiyon Takozu Arıza Verileri .....                            | 38 |
| Çizelge 4.2: Süspansiyon Takozu Boy Uzunluğu İçin Ölçüm Değerleri (mm).....     | 39 |
| Çizelge 4.3: Süspansiyon Takozu Boy Uzunluğu İçin YBS Olarak Gözlem Değerleri . | 42 |
| Çizelge 4.4: Ortalama ve Değişim Aralığı Değerleri .....                        | 43 |
| Çizelge 6.1: Süspansiyon Takozu Boy Uzunluğu İçin Ölçüm Değerleri (mm).....     | 47 |
| Çizelge 6.2: Süspansiyon Takozu Boy Uzunluğu İçin YBS Olarak Gözlem Değerleri . | 50 |
| Çizelge 6.3: Ortalama ve Değişim Aralığı Değerleri .....                        | 51 |

## 1. GİRİŞ

Süreç yeterlilik analizleri, müşteri beklentilerini yani spesifikasyon limitlerini karşılama yeteneği olarak tanımlanır. Süreç yeterlilik analizinin esas çıktıları süreç yeterlilik indeksleri (SYI), üretim sürecinin söz konusu ürün veya parçaları müşteri ve tasarımcı tarafından belirlenmiş olan spesifikasyon limitleri içinde üretebilme yeteneğini sayısal olarak ölçümlerle gösterir.

İşletmelerin istenen kalite düzeyini sağlayabilmeleri için ürün veya hizmetin tüketici beklentilerini ifade eden spesifikasyonlar çerçevesinde sunulması gerekmektedir. Bu anlamda da işletmelerin ürün veya hizmet sunmak için geliştirdikleri süreç ve süreçlerin kontrol edilmesi ve spesifikasyonlara uygun çıktılar üretmesini sağlamaları oldukça önemlidir. Süreçlerin spesifikasyonları karşılayan ürün veya hizmet ortaya koyabilme yeteneği sürekli olarak değerlendirilmelidir. Genellikle bu değerlendirme işlemi istatistiksel teknikler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. İstatistiksel teknikler, bütün ürün çevrimi boyunca üretime öncülük eden faaliyetleri geliştirmede, süreç değişkenliğini ölçmede, bu değişkenliğin ürün gerekleri ve spesifikasyonlarla ilişkisinin belirlenmesinde, bu değişkenliğin büyük ölçüde giderilmesi veya ortadan kaldırılması yoluyla sürecin geliştirilmesi için kullanılan tekniklerdir ve bu amaç için gerçekleştirilen tüm bu faaliyetler “süreç yeterlilik analizi” (SYA) olarak ifade edilir. SYA genelde, süreç çıktılarının tanımlanan spesifikasyon değerleri baz alınarak değerlendirilmesi faaliyeti olarak yerine getirilmektedir.

Süreç yeterlilik analizi çalışmalarını yaparken ilk şart sürecin kontrol altında olması ve süreç dağılımının normal dağılıma uymasıdır. Kontrol grafikleri, sürecin kontrol altında olup olmadığını anlamada kullanılır ve kontrol karakteristikleriyle ilgili bir ya da daha fazla veriyle çalışır. Kalite karakteristikleri sayıyla ölçülebiliyorsa nicelik kontrol şemaları kullanılır. Fakat sayısal olarak ölçülemediği takdirde nitelik kontrol grafikleri kullanılır. Süreç yeteneğini tahmin etmek, süreç kontrol altında olmadıkça bir anlam ifade edemez. Normallik testleriyle süreç değerlerinin normal dağılıma uygunluğu da onaylandıktan sonra süreç yeterlilik analizi çalışmalarına başlanabilir.

Süreç yeterlilik analizleri için, genellikle “süreç yeterlilik indeksleri (SYI)” kullanılır. Özellikle 1980’li yıllardan bu yana, süreç yeterliliğinin tanımlanması için SYI kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. SYI, hedef ve spesifikasyon limitleri ile ilgili süreç karakteristiklerinin gerçek ve potansiyel performanslarını ölçen bir özet istatistiktir. Bu istatistik değerinden hareketle, sürecin “yeterli” veya “yetersiz” olarak tanımlanan spesifikasyonları karşılamada ki başarısı veya başarısızlığı tanımlanabilmekte ve sürecin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. SYI aynı zamanda sürecin spesifikasyonlara göre yerleşimi ve dağılımı hakkında da önemli bilgiler verirler. SYI ile normal ve normal olmayan dağılımlar için sürecin spesifikasyonları sağlama derecesi belirlenebilir. Yeterlilik indekslerinin periyodik olarak hesaplanması ile süreç kalitesinin sürekli olarak geliştirilmesi mümkün olabilmektedir. Süreç kalitesinin istenen seviyede olabilmesi için, sürecin en uygun kontrol diyagramı ile kontrol edilmesi, doğru bir şekilde yorumlanması ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması ve son aşamada SYI kullanılarak süreç değişmezliğinin kontrol edilmesi gerekir. Kontrol diyagramları süreç içerisinde gerçekleşen değişim ile ilgilenirken, SYI ise belirlenen spesifikasyon limitlerine göre bu değişimin büyüklüğünü ortaya koyarak süreç kalitesinin iyileştirilmesine imkân sağlarlar.

Bilinen çoğu süreç yeterlilik çalışmaları kesin hesaplamalara dayalıdır ve bunlarda süreç çıktı hesaplamaları kesindir. Oysa ki uygulamada ürün kalite ölçümleri yetersiz bir kesinliğe sahiptir. Gerçek uygulamalarda kesin olmama durumu; örneklem verilerinin kullanımından, hassas olmayan ölçüm aletlerinden, ölçüm hatalarından ya da kesin olmayan spesifikasyon limitlerinden kaynaklanabilir. Belirsizlik içeren durumlarda geleneksel spesifikasyon limitlerinin kullanımı uygun değildir. Gerçek gözlemler kesin sayılar değildir, az ya da çok kesin değildir. Böyle bir verinin en güzel tanımı kesin olmayan yani bulanık sayılarla yapılabilir ve bu gözlemler de bulanık olarak adlandırılır.

Bulanık mantık, SYA çalışmalarını kesin sınırlamalardan arındırarak ve daha esnek bir yaklaşım kazandırmıştır. Bu çalışmada bir otomotiv sanayinde üretilen süspansiyon takozu için yamuk bulanık sayılarla oluşturulmuş süreç yeterlilik analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmanın amacı, SYA’ndeki değerlerin ve süreç yeterlilik indekslerinin yamuk bulanık sayılarla hesaplanması ve daha geniş ve esnek bir bakış açısı kazandırmasıdır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Doğadaki karmaşık davranışlar, şekiller ve kalıpların fazla belirgin, doğrusal ve net olmaması bulanık mantık kavramını ortaya çıkarmıştır. Zadeh'in 1965 yılında bulanık küme teorisini bulmasıyla, birçok araştırmacı bu görüşü istatistik, kalite kontrol, optimizasyon teknikleri alanlarda kullandı. Bulanık mantığın klasik mantığın aksine bir değeri birden fazla kümenin elemanı olarak üyelik fonksiyonları ile ifade etmesi, süreç yeterlilik analizleri için bu yaklaşımın kullanılmasını sağlamıştır. Son yıllarda bulanık küme teorisi kullanılarak süreç yeterlilik analizinin farklı alanlarına odaklanan pek çok çalışma yayımlanmıştır.

Yongting (1996) yayınladığı makalede, geleneksel kalite ile bulanık kalite arasında bir geçiş sağladı. Bulanık süreç yeterliliği konseptini oluşturdu ve bulanık süreç yeterlilik indekslerini hesaplayan formül geliştirdi. Lee (1999) çalışmasında, süreç yeterlilik indeksini maksimize etmek için proses toleranslarını düzenleyen yeni bir formül ortaya koydu. Tek amaçlı formülasyon yerine süreç yeterlilik indeksini gayet açık ve kolay bir yolla optimize eden çok amaçlı bulanık formülasyon modelini önerdi.

Lee (2001) süreç yeterlilik analizi için kullanılacak verilerin kesin olmaması durumunu düşünerek, dilsel değişkenler yardımıyla  $C_{pk}$  indeksinin analiz edilmesini incelemiştir. Önerilen yaklaşımın, verilerin normal dağılıma uymaması durumundaki olumsuz etkileri de azaltacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmada, ortalama ve standart sapmanın bulanık ifadesi ile ilgili olarak üyelik fonksiyonları elde edilerek,  $C_{pk}$  indeksinin bulanık tahmini için üyelik fonksiyonu elde edilmiştir.  $C_{pk}$  indeksinin üyelik fonksiyonu için ÜBS kullanılmıştır. İlk olarak standart sapma ve kovaryansi için üyelik fonksiyonları belirlenmiş ve buradan hareketle  $C_{pk}$  indeksinin üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır.

Lee ve Chen (2002) bulanık sayılar yardımıyla  $C_{pk}$  süreç yeterlilik indeksinin elde edilmesini ve bu indeks kullanılarak servis kalitesinin değerlendirilmesini incelemiştir. Çalışmada müşterilerin tatmin düzeyi değerlendirilirken bulanık sayılar kullanılmış ve bu değerlendirmelerden hareket edilerek  $C_{pk}$  süreç yeterlilik indeksi hesaplanmıştır.

Chen vd. (2003a) ürün kalitesinin tayin edilmesi için bulanık çıkarsama yöntemi ve süreç yeterlilik indekslerinin beraber kullanımını incelemişlerdir. Önerilen yaklaşım süreç yeterlilik indeksleri için hazırlanan hipotez testlerinden belli bir güven seviyesinde elde edilmiş olan  $p$  değerlerine ve hazırlanan bazı bulanık çıkarım kurallarına bağlı olarak süreç yeterlilik indekslerinin derecelendirilmesine dayanmaktadır. Chen vd. (2003b),  $C_{pm}$  indeksine dayanan bir bulanık çıkarsama yöntemi önermiş ve önerilen yaklaşım aracılığıyla tedarikçi seçim probleminin çözümünü incelemişlerdir.

Parchami vd. (2005), süreç yeterlilik indekslerinin belirlenmesi sırasında spesifikasyon limitlerinin kesin değerler değil de, bulanık değerler olması durumunu incelemişlerdir. Bu çalışmada spesifikasyon limitlerinin ÜBS olarak ifade edildiği durumlar için, ÜBS olarak ifade edilebilecek süreç yeterlilik indeksleri tanımlanmıştır. Bu çalışmada  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$ ,  $C_{pmk}$  ve  $C_p(u,v)$  süreç yeterlilik indeksleri bulanık olarak incelenmiş ve bulanık süreç yeterlilik indekslerinin karşılaştırılması için ikili ilişkilere dayanan bir karşılaştırma yaklaşımı da sunulmuştur.

Parchami vd. (2006), spesifikasyon limitlerinin bulanık değerler aldığı durumlar için süreç yeterlilik indeksleri için bir bulanık metodoloji önermişlerdir. Bu çalışmada aynı zamanda, yeterlilik indeksleri için bulanık güven aralığı da belirlemiştir. Buckley (2004), üçgensel bulanık sayıların  $\alpha$  kesmeleri için  $(1-\beta)*100\%$  güven aralığını tanımlamıştır. Parchami vd. (2006), bu yaklaşımı yeterlilik indekslerinin bulanık tahminlemeleri için kullanmıştır. Tsai ve Chen (2006)  $C_p$  süreç yeterlilik indeksini bulanık parametreler çerçevesinde incelemişlerdir. Çalışmada  $C_p$  süreç yeterlilik indeksinin  $\alpha$  kesmelerini tahmin etmek için lineer olmayan bir fonksiyon çifti tanımlanmış ve elde edilen üyelik fonksiyonu esas alınarak bulanık süreç yeterlilik indeksi için hipotez testi yaklaşımı irdelenmiştir.

Parchami ve Mashinchi (2007), ayrıca  $C_{pm}$  içinde bulanık kesme değerlerini hesaplamışlardır. Çalışmada ayrıca bulanık kesmelerden hareketle üyelik fonksiyonunun üçgensel grafiğini çizmek için “Süreç Yeterlilik İndeksleri İçin Bulanık Tahminleme Algoritması (SYIBTA)” adı verilen bir yaklaşımda ortaya konulmuştur.

Moeti vd. (2007) spesifikasyon limitlerinin tek yönlü olarak tanımlanması durumunda kullanılan indekslerin ( $C_{pu}$  ve  $C_{pl}$ ) bulanık yaklaşım altında kullanılmasını incelemiş ve bu indeksler için bulanık güven aralıklarını

tanımlamışlardır. Ramezani vd. (2007) spesifikasyon limitlerinin ÜBS olarak tanımlanması durumunda,  $C_{pm}$  yeterlilik indeksi için bulanık güven aralığı elde etmişlerdir.

Kahraman ve Kaya (2007b) makine yeterliliğinin detaylarını incelemiş ve süreç yeterliliğinden olan farklarını vurgulamışlardır. Bu çalışmada klasik makine yeterliliği analizinin yanı sıra bulanık yeterlilik analizleri üzerinde durularak bulanık makine yeterliliğinin nasıl değerlendirilebileceği vurgulanmış ve bulanık makine yeterlilik analizine dayanarak iki makine arasında tercih yapma süreci incelenmiştir. Çalışmada ayrıca bulanık analizin klasik analizin sürekli bir hali olduğu ve daha esnek ve daha fazla bilgi içerdiği vurgulanmıştır.

Gao ve Huang (2008), proses toleranslarının sadece üretim maliyetlerinde değil, aynı zamanda ürün için gerekli spesifikasyonları karşılamada da etkisi olduğunun önemini gösterdiler. Parchami (2005), yaptığı çalışmada tasarım spesifikasyon değerlerinin üçgensel bulanık sayılar olduğunda, bulanık proses süreç yeterlilik indekslerini hesaplamıştır. Eğer spesifikasyon değerleri bulanık sayılar olarak tanımlanıyorsa, süreç yeterlilik indekslerinin de bulanık sayılar olarak tanımlanmasının gerekliliğinden bahsetmiştir. Bu yeni indekslerin daha esnek ve aynı zamanda bu yüzden imalat proseslerine daha uygun olduğunu belirtmiştir.

Kaya ve Kahraman (2007) makalelerinde, hava kirliliğini ölçmek için süreç yeterlilik indekslerine dayalı bir metod önerdiler. Bu amaçla geleneksel ve bulanık süreç yeterlilik indekslerini kullandılar. Aynı zamanda, bulanık süreç yeterlilik indekslerini altı sigma yaklaşımıyla ilişkilendirdiler. Parchami ve Maschinchi (2007), Buckley'in tahmin yaklaşımını çeşitli süreç yeterlilik indekslerine uyguladılar.

Kahraman ve Kaya (2009)'nın çalışmasında, tarımda sulama için kullanılan baraj sularının pH seviyeleri, çözülmemiş oksijeni ve sıcaklığının kontrolü için süreç yeterlilik indekslerine dayalı bir metodoloji geliştirdi. Bu amaç için bulanık süreç yeterlilik indeksleri önerildi. pH, çözülmemiş oksijen ve sıcaklık için Buckley'in aralık tahmini yaklaşımına ve bulanık spesifikasyon limitlerine dayalı  $C_p$  ve  $C_{pk}$  bulanık tahminleri bulundu.

Kahraman ve Kaya (2009), spesifikasyon limitleri üçgensel bulanık sayı olduğunda bulanık süreç yeterlilik analizini uyguladılar. Kaya ve Kahraman (2009), İstanbul'daki hava kirliliğinin risk değerlendirmesini yapmak için, süreç

performansını özetlemede etkili olan süreç yeterlilik indekslerini kullandılar. İstanbul'daki dokuz ayrı istasyondan ölçülen hava kirleyici seviyelerine karar vermede bulanık süreç yeterlilik indeksleri, hava kirleyici seviyeleri ilişkili olduğunda gürbüz süreç yeterlilik indeksleri kullanıldı. Bulanık küme teorisi daha duyarlı sonuçlar için hem süreç yeterlilik indekslerine hem de gürbüz süreç yeterlilik indekslerine uygulandı. İstanbul'un hava kirliliği seviyesini ölçmek için bulanık spesifikasyon limitleri ve bulanık standart sapmayla daha esnek olan süreç yeterlilik indeksleri elde edildi.

Kahraman ve Kaya (2009), kuraklığın etkileri için risk değerlendirmesinde süreç yeterlilik indekslerini kullandılar. Kaya ve Kahraman (2009), hava kirliliğini önlemek için süreç yeterlilik indekslerine dayalı bir metodoloji geliştirdiler.

Chen ve Chen (2008), bulanık çıkarsama yöntemi yardımıyla süreç yeterlilik indekslerini incelemişlerdir. Chen ve Chen bulanık "eğer" kurallarına dayalı olarak çoklu-süreç yeterlilik indeksi değerlerini belirlemişlerdir.

Hsu ve Shu (2008)  $C_{pm}$  indeksine bağlı olarak, üretim sürecinin yeterlilik değerinin belirlenmesi için bulanık kritik değer ve bulanık p değerine dayanan iki bulanık çıkarsama kriteri önermişlerdir.

Wu (2009),  $C_{pk}$  'nın tahmininde üçgensel bulanık sayılar üreten güven aralığı kuralları oluşturdu. Kaya (2014), proses yetersizlik indeksini bulanıklık durumunda hesapladı. Geramian (2017), sürekli gelişme için kalite kayıp fonksiyonu ve süreç yeterlilik indekslerini entegre etti. Parchami (2017), iki bulanık süreç yeterlilik indeksi  $C_p$  ve  $C_{pk}$  'yı bulanık hipotez testi ve bulanık p-değeri altında analiz etti.

| Çalışmalar                   | Gürbüz<br>S.Y.I. | Üyelik<br>fonksiyonu | $\alpha$<br>kestirimi | Üçgensel<br>bulanık<br>sayılar | $\alpha$ riski | Biggert<br>hebestt<br>ype | Yamuk<br>bulanık<br>sayılar | Bulanık<br>kalite |
|------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Kaya, 2010                   | √                |                      |                       |                                |                |                           |                             |                   |
| Lee, 1999                    |                  | √                    |                       |                                |                |                           |                             |                   |
| Khodayganv<br>e M. 2012      |                  |                      | √                     |                                |                |                           |                             |                   |
| Chen<br>,Chenve Lin,<br>2003 |                  |                      |                       |                                | √              | √                         |                             |                   |
| Yongting<br>,1996            |                  |                      |                       |                                |                |                           |                             | √                 |
| Kaya, 2010                   |                  |                      |                       | √                              |                |                           | √                           |                   |

Çizelge2.1’de yukarıda verilen araştırmaların bir kısmı özetlenmiştir. Buna göre literatürde yamuk bulanık sayılarla yapılan çalışmaların azlığı ve süspansiyon takozları boy uzunluğu için yapılacak bulanık süreç yeterlilik analizine en uygun çalışma yöntemi yamuk bulanık sayılar olarak tespit edilmiş ve çalışma yamuk bulanık sayılar üzerinden yürütülmüştür.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Süreç yeterlilik analizi bu çalışmada bulanık mantıkla açıklanmaya çalışılmıştır.

#### 3.1. Süreç Yeterlilik Analizi

Her üretim sürecinin doğasında kaçınılmaz bir değişkenlik bulunur. Süreç yeterlilik analizi, sürecin müşteri tarafından belirtilmiş olan tolerans değerlerine uygunluğunu belirlemede kullanılır. Uygunluk belirlemede süreç yeterlilik indekslerinden yararlanılır.

Bu değerın ölçülebilmesi için öncelikli koşul sürecin istatistiksel olarak kontrol altına alınması ve normal dağılıma uygun olmasıdır.

Süreç yeterlilik analizi hem tasarımcı hem de üretimci için önemlidir. Eğer bir süreç tasarım limit değerleri (tolerans limitleri) içerisinde üretmiyor ise yetersizdir ve o zaman yapılacak üç şey vardır (Kaylan, 2017) :

- Ürünler tek tek kontrol edilip tolerans limitlerine uymayanlar hurdaya (veya tamire) gönderilir.
- Yeni teknolojiler araştırılarak daha iyi bir süreç oluşturulmaya çalışılır.
- Tasarım limit değerleri (tolerans değerleri) değiştirilir.

Süreç Yeterlilik Analizi sürecin çıktılarını, süreç yeterlilik indekslerini kullanarak spesifikasyon limitleri ile karşılaştırır. Bu karşılaştırma süreç spesifikasyon limit genişliğinin, altı süreç standart sapması olan doğal tolerans limitlerine oranıyla yapılır (Montgomery, 2005).

Süreç yeterlilik analizinin amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Kaya, 2010):

- Tedarikçiler arasında seçim yapmak ve tedarik zincir yönetiminin diğer karakteristiklerini seçmek,
- Yeni teçhizat için performans gereklerini belirlemek,
- Süreci izlemek için alınacak olan örnekler arasındaki sınırları tanımlamak için yardımcı olmak,

- Ürün geliştiricilere/tasarımcılara süreç seçiminde veya düzenlenmesinde yardımcı olmak,
- Sürecin hangi oranda toleransların arasında kalacağını göstermek,
- Toleranslar üzerinde sürecin interaktif bir etkisi varken, üretim sıralamasını planlamak,
- Üretim sürecindeki değişkenliği azaltmak,
- Kusurlu parça üretimini engellemek,
- Sürekli iyileştirmeyi sağlamak,
- Üretim ve mühendislik arasında iletişimi sağlamak,
- Öncelik ve önemlerin belirlenmesi aşamasında,
- Süreç yerinin ve değişkenliğinin belirlenmesinde,
- Denetleme yapmak için süreç yeterliliği kullanılabilir.

Sürecin tanımlanmış bir yeterliliğe sahip olduğunun söylenebilmesi için, istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekir. Kontrol altındaki süreç, istatistiksel kararlılığa sahip olup tahmin edilebilir bir özelliktedir. Süreç yeterlilik ölçümleri, proses kontrol altında iken yani çeşitlilik/değişkenlik sadece tesadüfi nedenlere dayanırken kullanılır.

Doğru bir yeterlilik analizi için ilk aşama seçilen kalite karakteristiğinin değişkenlik gösterip göstermediğinin yani sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığının tespit edilmesidir. Bu amaç için kontrol diyagramları kullanılır. İkinci aşama ise sürecin normal dağılıma uygunluğunun test edilerek onaylanmasıdır. Süreç, uygun kontrol diyagramı ile izlenerek kontrol altına alınır ve normal dağılıma uygunluğu da onaylanırsa süreç yeterlilik analizi gerçekleştirilir (Kaya, 2010).

### 3.1.1. Süreç yeterlilik indeksleri

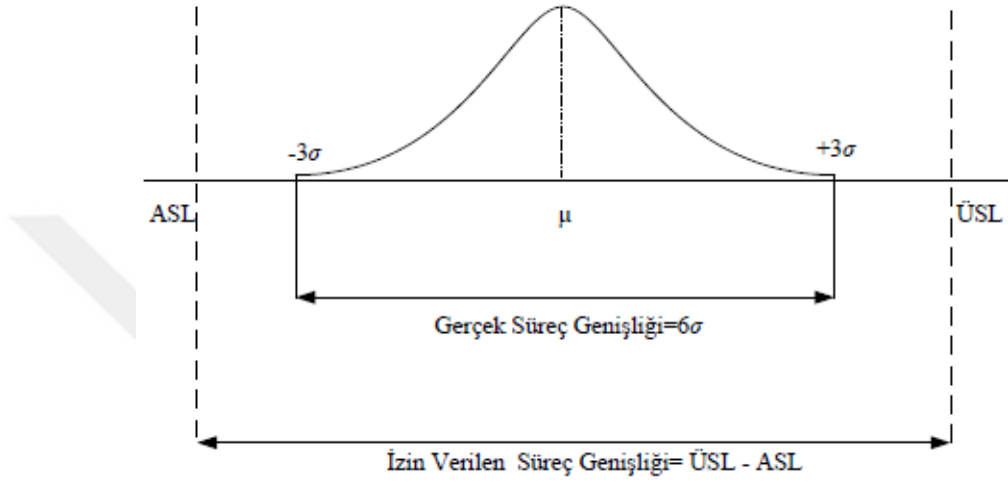
Bir prosesin spesifikasyon limitlerini karşılama konusundaki yeterliliğini belirlemek amacıyla yıllarca çok sayıda proses yeterlilik indeksleri önerilmiştir. En yaygın kullanılan iki indeks  $C_p$  ve  $C_{pk}$ 'dir. Literatürde ilk karşımıza çıkan yeterlilik indeksi  $C_p$ 'dir ve buna doğruluk indeksi denmiştir (Kane, 1986). Spesifikasyon genişliğinin (ÜSL-ASL) proses genişliğine ( $6\sigma$ ) oranı olarak tanımlanır (Şekil 3.1).

Sürecin iki spesifikasyon limiti içine nasıl düştüğüne bakan  $C_p$ , eşitlik (3.1)'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$C_p = \frac{\bar{U}SL - ASL}{6\sigma} \quad (3.1)$$

$C_p$  : Sürecin Potansiyel Yeterliliği

$C_{pk}$  : Sürecin Fiili Yeterliliği



Şekil 3.1: Süreç yeterlilik analizinin genel ifadesi (Kaya, 2010)

$\sigma$ , sürecin standart sapması;  $\bar{U}SL$  ve  $ASL$ , üst ve alt spesifikasyon limitleridir.  $C_p$ 'nin değeri sürecin performansı hakkında fikir verir. Mesela  $C_p > 1,33$  ise, merkezlenmiş bir proses için, milyonda 63 adet uygunsuz parçaya denk gelir. Böylece sürecin tatminkar yani yeterli olduğu sonucuna varılır.  $C_p$  değerlerine göre belirtilen değerlendirme ve yorumlar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir (Tsai ve Chen, 2006).

Süreç yeterlilik oranı  $C_p$ , ortalamanın spesifikasyon limitlerine göre nereye konumlandığını hesaba katmaz (Montgomery, 2005). Çalışılan sürecin yayılımına odaklanır ve prosesin merkezlenmiş olup olmadığına bakmaz. Bu sebeple, prosesin gerçek performansı konusunda bir bilgi vermez. Bu problemi aşmak için Kane 1986'da  $C_{pk}$ 'yı tanımlamıştır.  $C_{pk}$ , sürecin spesifikasyon limitlerine ne kadar uyduğunu gösterir (Şekil 3.2). Genellikle doğal tolerans limitleri ile spesifikasyon limitleri arasında ilişki kurar. Yani sürecin spesifikasyon limitleri içinde konumlanmasına odaklanırken süreç ortalamasının konumunu da dikkate alır.  $C_{pk}$ , eşitlik (3.2)-(3.4)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}, C_{pu}\} \quad (3.2)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (3.3)$$

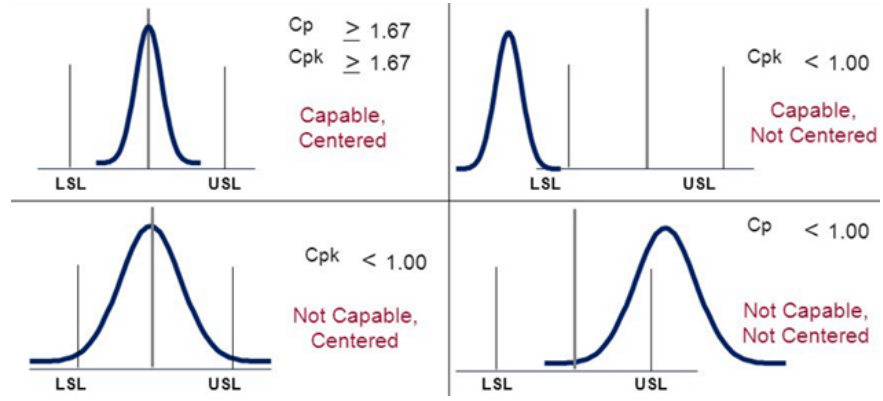
$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (3.4)$$

Spesifikasyon limitleri müşteri ve/veya ürün gereksinimlerini temsil eder. Süreç değişkenlikleri/varyasyonları spesifikasyon genişliğiyle temsil olunur. Eğer süreç değişkenliği geniş ise  $C_p$  değeri küçüktür ve düşük süreç yeterliliğini gösterir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1:  $C_p$  ve  $C_{pk}$  değerlerinin yorumu

| <b>Cp İndeksinin Yorumu</b>  |                                                              |                                                                       |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Cp</b>                    | <b>Değerlendirme</b>                                         | <b>Yorum</b>                                                          |
| $C_p \leq 1$                 | Yetersiz (kötü)                                              | Proses yetersiz. İyileştirmeler yapılmalı.                            |
| $1 < C_p \leq 1,33$          | Kabul edilebilir                                             | Proses spesifikasyonları karşılamaz. Proses kontrolü sürdürülmelidir. |
| $C_p > 1$                    | Yeterli (iyi)                                                | Proses spesifikasyonları karşılar.                                    |
| <b>Cpk İndeksinin Yorumu</b> |                                                              |                                                                       |
| $C_{pk} = 1$                 | Verilerin bir kısmı spesifikasyonlara yaklaşıp.              |                                                                       |
| $C_{pk} > 1$                 | Verilerin tamamı spesifikasyon sınırları içine düşer.        |                                                                       |
| $0 < C_{pk} < 1$             | Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının içindedir.      |                                                                       |
| $C_{pk} = 0$                 | Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının birine eşittir. |                                                                       |
| $C_{pk} < 0$                 | Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının dışındadır.     |                                                                       |

Süreç performansı süreç yeterlilik indeksleri kullanılarak analiz edilebilir ki bu istatistikler sürecin yerleşimini ve dağılımını başarıyla özetleyen istatistiklerdir. Çok kullanışlı olmalarına rağmen bazı kısıtları yok değildir. Çünkü derin ve esnek analizlerin kesin olmayan ölçümlerini temsil ederler.



Şekil 3.2: Süreç yeterlilik indekslerinin bazı değerleri

### 3.1.2. Süreç performans indeksleri (Pp ve Ppk)

Süreç performansı süreçten alınan örneklemin müşteri gereksinimlerini karşılamaya yetenekli olduğunu doğrulamaya çalışır. Gruptaki örneklerin çeşitliliği temsil edebilmesi için oldukça büyük olması gerekebilir. Süreç performans indeksi yalnızca süreç kontrolü sağlanamadığında kullanılır.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{within}} \quad P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{overall}} \quad (3.5)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{within}} \quad P_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{overall}} \quad (3.6)$$

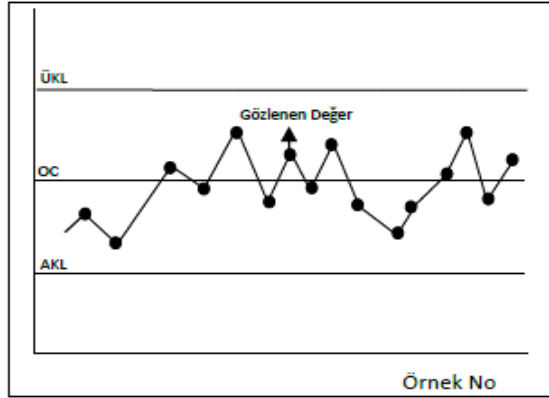
$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma_{within}} \quad P_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma_{overall}} \quad (3.7)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}, C_{pu}\} \quad P_{pk} = \min\{P_{pl}, P_{pu}\} \quad (3.8)$$

## 3.2. Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri, belirlenebilir sebeplere dayanan değişkenliği saptamak için tasarlanmıştır ve ileride önerilecek stratejide önemli rol oynayacaktır. Kontrol grafikleri aynı zamanda prosesin kontrol altında olduğunu kanıtlamak için de kullanılır (Şekil 3.3). Süreç kontrol altındaysa, o zaman süreç yeterlilik indeks değerleri süreç yeterliliği adına bilgi sağlarlar. Kontrol grafiklerindeki rastsal olmayan noktalar bertaraf edilebilir sebeplerin varlığına işaret eder ve yeterlilik indekslerini anlamsız hale getirir (Xie, Tsui, Goh ve Cai, 2002). Proses kontrol dışına çıktığı zamanlarda uygun aksiyonlar alınıp, belirlenebilir sebepler ortadan kaldırılır

ve proses kontrol altına alınır. Bu aşamadan sonra süreç yeterlilik indeksleri yeniden hesaplanabilir.



Şekil 3.3: Kontrol grafiği

Bir kontrol grafiği süreci gözlemlemek ve test etmek için kullanılan bir araçtır. Grafikselsel olarak ortalama değeri ve alt-üst kontrol limitlerini belirler. Kontrol grafiklerinin gücü prosesin zorluklarını belirleme kabiliyetine ve anormal şartları belirleyebilme yeteneğine dayanır.

İnsan faktörü kalite karakteristiklerini tanımlarken önemli bir rol oynadığından, klasik kontrol grafikleri kesin bilgi/veri gerektirdiği için uygun olmayabilir. Bulanık kontrol grafiklerinin kullanımı, veriler tam net değilse ve insan ölçümü barındırıyorsa kaçınılmazdır.

### 3.2.1. Niceliksel değişkenler için düzenlenen kontrol grafikleri

Kalite özelliklerinin ölçülebildiği (ağırlık, uzunluk, mukavemet vs.) durumlarda kullanılır. Bu grafikler ile hem örnek ortalamalarının dağılımı hem de örneklere ait dağılma ölçülerinin dağılışı izlenir. Dağılma ölçüsü olarak standart sapma veya değişim aralığı kullanılır (Elevli, 2015).

$\bar{x}$  grafiği S veya R grafiği ile birlikte kullanılır. Çünkü ortalamada meydana gelen bir kayma R grafiğinde fark edilmezken  $\bar{x}$  grafiğinde farkedilmektedir. Öte yandan değişkenlikte meydana gelen bir değişiklik ise  $\bar{x}$  grafiğinde fark edilmezken R grafiğinde farkedilir. Bu nedenle bu iki grafiğin birlikte kullanılması gerekir.

### 3.2.1.1. $\bar{x}$ -R kontrol grafikleri

İmalattan alınan örneklem büyüklüğü 10'dan küçük olursa ( $n < 10$ )  $\bar{x}$  grafiği ile birlikte R grafiğinin kullanılması tercih edilir.

- a) *Standartların Belli Olması Durumu:*  $\mu$  (ana kütle ortalaması) ve  $\sigma$  (ana kütle standart sapması) biliniyor ise

X için kontrol limitleri

$$\left. \begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ \text{MÇ} &= \mu = \frac{3}{\sqrt{n}} = A \\ \text{AKL} &= \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu + A\sigma \\ \text{MÇ} &= \mu \\ \text{AKL} &= \mu - A\sigma \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{(3.9)} \\ \bar{x} \text{ Grafiği} \text{ (3.10)} \\ \text{(3.11)} \end{array}$$

R için kontrol limitleri

$$\left. \begin{aligned} \text{ÜKL} &= d_2 \cdot \sigma + 3 \cdot \sigma_R = d_2 \cdot \sigma + 3 \cdot d_3 \cdot \sigma = \sigma (d_2 + 3 \cdot d_3) = D_2 \cdot \sigma \\ \text{MÇ} &= d_2 \cdot \sigma \\ \text{AKL} &= d_2 \cdot \sigma - 3 \cdot \sigma_R = d_2 \cdot \sigma - 3 \cdot d_3 \cdot \sigma = \sigma (d_2 - 3 \cdot d_3) = D_1 \cdot \sigma \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{(3.12)} \\ \text{R grafiği (3.13)} \\ \text{(3.14)} \end{array}$$

R grafiğinde alt sınır sıfırdan küçük çıkarsa sıfır kullanılır.

- b) *Standartların Belli Olmaması Durumu:* Uygulamada genellikle  $\mu$  (ana kütle ortalaması) ve  $\sigma$  (ana kütle standart sapması) bilinmez. Bu nedenle alınan örnekler yardımıyla bu değerlerin tahmin edilmesi gerekir.

$$\left. \begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{\bar{X}} + 3 \cdot \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \\ \text{MÇ} &= \bar{\bar{X}} \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} = A_2 \\ \text{AKL} &= \bar{\bar{X}} - 3 \cdot \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \\ \text{MÇ} &= \bar{\bar{X}} \\ \text{AKL} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{(3.15)} \\ \bar{x} \text{ Grafiği} \text{ (3.16)} \\ \text{(3.17)} \end{array}$$

$$\bar{U}KL = \bar{R} + 3\sigma_R = \bar{R} + 3d_3 \cdot \sigma = \bar{R} + 3d_3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} = \bar{R} \left(1 + \frac{3d_3}{d_2}\right) \rightarrow \bar{U}KL = D_4 \cdot \bar{R} \quad (3.18)$$

$$M\check{C} = \bar{R} \rightarrow M\check{C} = \bar{R} \quad (3.19)$$

$$\bar{A}KL = \bar{R} - 3\sigma_R = \bar{R} - 3d_3 \cdot \sigma = \bar{R} - 3d_3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} = \bar{R} \left(1 - \frac{3d_3}{d_2}\right) \rightarrow \bar{A}KL = D_3 \cdot \bar{R} \quad (3.20)$$

### 3.2.1.2. $\bar{x}$ ve S kontrol grafikleri

İmalattan alınan örneklem büyüklüğü 10 ve 10'dan büyük olduğunda R grafiği yerine S grafiği kullanılır. Bunun nedeni  $n \geq 10$  durumunda R'nin güvenilirliğinin azalmasıdır.

a) Standartların Belli Olması Durumu:

$$\bar{U}KL = B_6 \cdot \sigma \quad (3.21)$$

$$M\check{C} = c_4 \cdot \sigma \quad (3.22)$$

$$\bar{A}KL = B_5 \cdot \sigma \quad (3.23)$$

$$\bar{U}KL = \mu + A \cdot \sigma \quad (3.24)$$

$$M\check{C} = \mu \quad (3.25)$$

$$\bar{A}KL = \mu - A \cdot \sigma \quad (3.26)$$

b) Standartların Belli Olmaması Durumu:

$$\bar{U}KL = B_4 \cdot \bar{S} \quad (3.27)$$

$$M\check{C} = \bar{S} \quad (3.28)$$

$$\bar{A}KL = B_3 \cdot \bar{S} \quad (3.29)$$

$$\bar{U}KL = \bar{\bar{X}} + A_3 \cdot \bar{S} \quad (3.30)$$

$$M\check{C} = \bar{\bar{X}} \quad (3.31)$$

$$\bar{A}KL = \bar{\bar{X}} - A_3 \cdot \bar{S} \quad (3.32)$$

### 3.2.1.3. Birimler kontrol grafikleri

Her bir alt grubun büyüklüğü  $n=1$  olduğundan grup içi değişim olmaz. Bu nedenle birbirini takip eden alt gruplar arasındaki fark, değişimin bir ölçüsü olarak kullanılır. Bu fark hareketli aralık olarak adlandırılır.

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}KL &= \bar{X} + 2,66.m\bar{R} \\ M\bar{C} &= \bar{X} \\ \bar{A}KL &= \bar{X} - 2,66.m\bar{R} \end{aligned} \right\} \text{X grafiği} \quad \begin{aligned} (3.33) \\ (3.34) \\ (3.35) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}KL &= D_4 \cdot \bar{R} \\ M\bar{C} &= m.\bar{R} \\ \bar{A}KL &= D_3 \cdot \bar{R} = 0 \end{aligned} \right\} \text{mR grafiği} \quad \begin{aligned} (3.36) \\ (3.37) \\ (3.38) \end{aligned}$$

### 3.2.2. Niteliksel değişkenler için düzenlenen kontrol grafikleri

Ölçümü yapılamayan fakat uygun-uygun değil, iyi-kötü, hatalı- hatasız, geçer-geçmez, kabul-ret gibi niteliklerin analiz edilmesi ile oluşturulan kontrol grafikleridir.

#### 3.2.2.1. p grafiği (Kusurlu oranı)

Ölçülemeyen fakat iyi-kötü, hatalı- hatasız, geçer-geçmez, kabul-ret şeklinde tanımlanan özelliklerin analizinde kullanılır.

a) Anakütle kusurlu oranı biliniyor ise ( $q=1-p$ );

$$\bar{U}KL = p + 3\sqrt{\frac{pq}{n}} \quad (3.39)$$

$$M\bar{C} = p \quad (3.40)$$

$$\bar{A}KL = p - 3\sqrt{\frac{pq}{n}} \quad (3.41)$$

b) Anakütle kusurlu oranı bilinmiyor ise;

$$\bar{U}KL = p + 3\sqrt{\frac{\bar{p}.\bar{q}}{n}} \quad (3.42)$$

$$M\bar{C} = p \quad (3.43)$$

$$\bar{A}KL = p - 3\sqrt{\frac{\bar{p}.\bar{q}}{n}} \quad (3.44)$$

### 3.2.2.2. np grafiği (Kusurlu sayısı)

Kusurlu sayılarını izlemek için oluşturulur. Örnek büyüklüğü sabit olduğu durumda hesaplama ve yorumlama kolaylığı olduğu için kullanılır.

$$\begin{cases} \text{ÜKL} = np + \sqrt{npq} \\ \text{MÇ} = np \\ \text{AKL} = np - \sqrt{npq} \end{cases} \quad \text{Standartlar belli} \quad (3.45)$$

$$(3.46)$$

$$(3.47)$$

$$\begin{cases} \text{ÜKL} = n\bar{p} + \sqrt{n\bar{p}\bar{q}} \\ \text{MÇ} = n\bar{p} \\ \text{AKL} = n\bar{p} - \sqrt{n\bar{p}\bar{q}} \end{cases} \quad \text{Standartlar belli değil} \quad (3.48)$$

$$(3.49)$$

$$(3.50)$$

### 3.2.2.3. c kontrol grafiği (Kusur sayısı)

Birçok üretim sürecinde ürünlerin bazıları o ürün için belirlenen spesifikasyonların bir ya da daha fazlasını sağlayamayabilirler. Üretilen birimlerin kalite kontrolünde bir birimde rastlanan kusur sayısı esas alındığında c grafikleri kullanılır.

$$\text{ÜKL} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.51)$$

$$\text{MÇ} = \bar{c} \quad (3.52)$$

$$\text{AKL} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.53)$$

### 3.2.2.4. u kontrol grafiği (Birim başına kusur sayısı)

Muayene edilen birim başına ortalama kusur sayısı esasına dayanır. n birimden oluşan bir örnekte toplam kusur sayısı c olmak üzere, birim başına ortalama kusur sayısı  $u = \frac{c}{n}$  olarak bulunur. Burada u kontrol grafiği için kontrol limitleri aşağıdaki gibi olur.

$$\text{ÜKL} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (3.54)$$

$$\text{MÇ} = \bar{u} \quad (3.55)$$

$$\text{AKL} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (3.56)$$

### 3.3. Bulanık Mantık

Bulanık mantık yaklaşımı ile insanlara ait veriler ve deneyimler işlenerek programlara yani makinelere çalışabilme yeteneği kazandırılır. Genel olarak sözel ifadeler bilgisayar ortamında matematiksel bir dille ifade edilmektedir. Bu matematiksel ifade, bulanık mantık ve bulanık kümeler yaklaşımı ile gerçekleştirilmektedir. Bulanık mantığın klasik mantıktan farkı; klasik mantık (0-1) olarak iki değere sahiptir, bulanık mantık ise [0-1] aralığında ikiden fazla değerlere sahiptir. Bulanık mantığın gün geçtikçe artan öneminin nedeni, mantık, felsefe, sosyal konulara gerçekçi çözümler sunması ve yapay zeka teknolojisi gibi bir çok alana olan katkılarıdır.

Bulanık mantığın kurucusu, 1921 yılında Bakü’de doğmuş olan Lütfi Ali Askerzade’dir. Daha sonraları kısaca “Zadeh” adıyla bilinecek olan L. A. Askerzade, Berkeley Üniversitesi’nde Electrical Engineering and Electronics Research Laboratory’de çalışırken 1965 yılında “Information and Control” isimli dergide yayınladığı ve teknik bir problemin çözümüne yönelik olan “FuzzySets” isimli makale ile devrim sayılabilecek görüşler ileri sürmüştür.

Bulanık mantığın üzerinde dikkatlerin yoğunlaşmasının başlıca sebeplerinden birisi özellikle Japonya’daki teknoloji ve mühendislikteki uygulamaları olmuştur. Japonya’da kabul görmesinin sebebi olarak buradaki düşünce yapısının uygunluğundan söz edilmektedir (Kosko, 1994). Çünkü bulanık mantık, Doğu dünyasının felsefi dünya görüşüne uygundur ve aynı zamanda, bir geçişi ve sürekliliği ifade etmektedir. Nitekim klasik mantık 1 ve 0 ( doğru ve yanlış, veya siyah ve beyaz) gibi iki sınır durumunu kullanırken bulanık mantık için siyah-beyaz arasında bir gri bölge ve gri tonların bir geçişi vardır. Ayrıca bu geçişi (birbiri peşi sıra gelen farklı ‘durumları’) nicel değerleri kullanarak anlatmak mümkündür.

Bu düşünüşün teknoloji alanındaki uygulamaları dışında diğer önemli yanı, dilin, düşünce ve fizik nesneler dünyasının farklı bir açıdan yorumunu mümkün kılmasıdır. Çünkü bulanık mantık açısından klasik küme, fizik dünyayı ikiye yapay bir şekilde ayırmaktadır. Halbuki fizik dünyayı bu keskin sınırlar dışında, yani bulanık kümeler aracılığıyla yorumlamak mümkündür; hatta bu tür bir yorum fizik nesneler için daha

uygundur. Çünkü duyumlarımız, konuşma dili ve dolayısıyla düşüncemiz aslında ‘bulanık’ bir yapıdadır. Dolayısıyla, belirsizlik, bulanıklık ve bulanık olma durumu fizik nesneler için de geçerli bir özellik olarak karşımıza çıkacaktır.

Ali Lütü Askerzade’ye göre bulanık mantık alışlagelmişin dışında şu üç özelliğe sahiptir:

- 1) Bulanık mantığın doğruluk değerleri kelimelerdir, sayılar değil!
- 2) Bu kelimeler *çok doğru, oldukça doğru, çok yanlış* gibi terimler içerir. Bulanık mantığın doğruluk tabloları kesinlik içermez.
- 3) Çıkarım kurallarının geçerliliği için kesin doğruluktan sözedilemez.

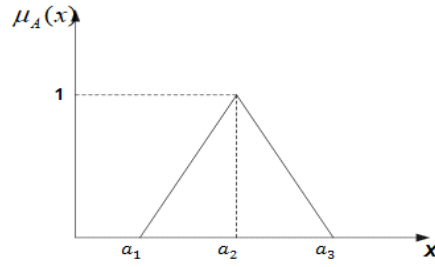
### 3.4. Bulanık Sayılar

Zadeh, kesinliğe sahip olmayan problemleri çözmek ve insanın düşünsel yapısının aslında sayısal değil dilsel olduğunu düşünerek bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Zadeh’in tanımına göre bulanık küme; sürekli dizi şeklindeki üyelik derecelerine sahip elemanlardan meydana gelen bir sınıftır. Bu tarz bir küme, her bir elemana 0 ile 1 arasında üyelik derecesi veren bir üyelik fonksiyonu ile açıklanır.

İşlem kolaylığı sağlaması ve sezgisel olarak oluşturulabilmesi sebebiyle en sık kullanılan bulanık sayılar üçgensel bulanık sayılardır (Sanchez ve Gomez, 2003).

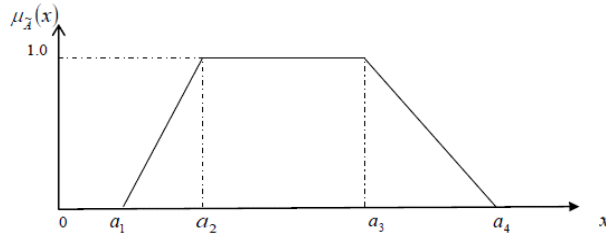
Gündelik hayatta hemen hemen tüm yargılarımıza bilinmezlik altında varırız, bu sebeple belirsizlik içeren durumlar kesinlik temelli bakış açısıyla modellenemez. Fakat bulanık kümeler bunu yapabilirler. Bulanık küme teorisi kullanarak dilsel belirsizlik içeren durumlar, problemler bulanık sayılarla modellenebilir. Üçgensel bulanık sayılar (ÜBS),  $A = (a_1, a_2, a_3)$  şeklinde gösterilir. Üyelik fonksiyonu ise eşitlik (3.57)’de gösterildiği gibi hesaplanır ve şekil 3.4’ teki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (3.57)$$



Şekil 3.4: Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu (Lee, 2005)

Bulanık sayıların diğer şekli yamuk bulanık sayılardır. Üyelik fonksiyonu 1 olan birden fazla sayı varsa  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  şeklinde yamuk bulanık sayı (YBS) olarak gösterilir.



Şekil 3.5: Yamuk bulanık sayı üyelik fonksiyonu (Lee, 2005)

YBS üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (3.58)$$

### 3.5. Bulanık $\bar{x}$ -R Kontrol Grafikleri

Sürecin genel değişkenliğinin/yayılımının örneklemeye dayanması, procesten alınan örneklerin çok hassas ölçü aletleriyle ölçülememesi ve ölçüm değerlerinin ölçümü yapan işçi farklılıklarına göre değişmesi gözlem değerlerinin kesin olmayan sonuçlar belirtmesine neden olmaktadır. Bu “kesin olmayan, yaklaşık” değerler geleneksel kontrol grafiklerinin sürecin kontrol altında olup olmadığını belirleyebilmesi bakımından yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu yetersizlikleri ortadan kaldırmak için, bulanık küme teorisinin kullanıldığı, daha hassas proses kontrolüne yarayan

bulanık kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Böylelikle geleneksel kontrol grafikleri kesin sınırlarından kurtulmuştur.

Çizelge3.2 : Klasik ve bulanık kontrol grafiklerinin karşılaştırılması  
(Gülbay,2004).

| Kriter                                               | Klasik Kontrol Grafikleri                                                                                                                                                                                         | Fazi Kontrol Grafikleri                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ele Alınan Kalite Karakteristiklerinin Sayısı</b> | Aynı anda sadece bir tane kalite karakteristiği ele alınabilir.                                                                                                                                                   | Aynı anda birden fazla kalite karakteristiği ele alınabilir.                                                                                                                         |
| <b>Kontrol Periyodu</b>                              | Veriler tarihsel periyotlarda toplanır.                                                                                                                                                                           | Veriler uzmanların ya da karar vericilerin deneyimlerine göre belirlenen periyotlarda toplanır.                                                                                      |
| <b>Süreç İçin Verilen Karar</b>                      | 'Süreç kontrol altında' veya 'süreç kontrol dışında' şeklinde karar söz konusudur.                                                                                                                                | Mevcut durumdaki süreç bilgisi ve süreç kontrol altında veya değil şeklinde karar söz konusudur.                                                                                     |
| <b>Avantajları</b>                                   | 1. Tek bir kalite karakteristiğinin karşılanması durumunda oldukça basittir.<br>2. Çok daha yansız sonuçlar sunmaktadır.                                                                                          | 1. Uzmanların deneyimleri üzerinden süreç için daha doğru ve tam kontrol standartları sağlar.<br>2. Kontrol grafiklerinde fazi çıkarım kurallarının tanımlanması için daha esnekler. |
| <b>Dezavantajları</b>                                | 1. Kontrol limitleri esnek değildir.<br>2. Örneklem büyüklüğü kontrol limitlerinin genişliğini etkiler.<br>3. Usulüne uygun kontrol limitlerinin belirlenmesi için tarihsel verilerin doğrulanmış olması gerekir. | 1. Çıkarımlar öznel deneyim kuralları üzerinden gerçekleşir.<br>2. Geleneksel kontrol grafiklerinin sistematik değişiklikler için tamamlayıcı kuralları kullanılamaz.                |

Bulanık kontrol grafikleri oluşturulurken, kontrol limitleri analize esneklik katması için bulanık olarak ifade edilir. Kontrol limitlerinin esnek olması süreç performansının kontrolünde de esneklik sağlayacaktır. Böylece limitlerin kesin ifadelerinden kaynaklı hatalı kontrol sonuçlarına çözüm getirilmiş olur.

### 3.5.1. Üçgensel bulanık sayılar için $\bar{x}$ -R grafiği

Üçgensel hesaplamalar için;

- 1) Öncelikle her bir gözlem (a,b,c) şeklinde bulanık sayılara dönüştürülür.
- 2) Her bir örneklem grubunun ortalama ve aralık değerleri (3.59) ve (3.60) nolu eşitliklerde verildiği gibi hesaplanır (Kaya ve Kahraman, 2011).

$$\tilde{\bar{x}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \right) = \text{ÜBS}(o_1, o_2, o_3) \quad (3.59)$$

$$\tilde{R} = [(a_{\max} - c_{\min}), (b_{\max} - b_{\min}), (c_{\max} - a_{\min})] = \text{ÜBS}(g_1, g_2, g_3) \quad (3.60)$$

$(a_{\max}, b_{\max}, c_{\max})$  değeri her bir örneklem içinde bulunan en büyük gözlem değerini,  $(a_{\min}, b_{\min}, c_{\min})$  değeri ise her bir örneklem grubunun içinde bulunan en küçük gözlem değerini göstermektedir.

3) m adet örneklem grubu incelendikten sonra sürecin genel ortalamaları eşitlik (3.61) ve (3.62) ile hesaplanır (Kaya ve Kahraman, 2011).

$$\tilde{\bar{x}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m o_{i1}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{i2}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{i3}}{m} \right) = \text{ÜBS}(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (3.61)$$

$$\tilde{R} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m g_{i1}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{i2}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{i3}}{m} \right) = \text{ÜBS}(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) \quad (3.62)$$

4) Sürecin genel ortalamalarının hesabından sonra istatistiksel kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi amacıyla - kontrol grafiklerinin kontrol limitleri hesaplanır (Eşitlik 3.63-3.70) (Kaya ve Kahraman, 2011). Bu limitler hesaplanırken, alt grup büyüklüğüne bağlı olarak değişen geleneksel kontrol grafiği sabitleri  $A_2, D_3, D_4$  kullanılmıştır.

$\tilde{x}$  kontrol grafiği için;

$$\widetilde{ÜKL}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} + A_2 \tilde{R} = (\mu_1 + A_2 \bar{r}_1, \mu_2 + A_2 \bar{r}_2, \mu_3 + A_2 \bar{r}_3) = \text{ÜBS}(\bar{ÜKL}_{x_1}, \bar{ÜKL}_{x_2}, \bar{ÜKL}_{x_3}) \quad (3.63)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3) = \text{ÜBS}(MÇ_{x_1}, MÇ_{x_2}, MÇ_{x_3}) \quad (3.64)$$

$$\widetilde{AKL}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} - A_2 \tilde{R} = (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3, \mu_2 - A_2 \bar{r}_2, \mu_3 - A_2 \bar{r}_1) = \text{ÜBS}(AKL_{x_1}, AKL_{x_2}, AKL_{x_3}) \quad (3.65)$$

$$(AKL_{x_1}, AKL_{x_2}, AKL_{x_3}) = \begin{cases} AKL_{x_1} = \begin{cases} \mu_1 - A_2 \bar{r}_3, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) < 0 \end{cases} \\ AKL_{x_2} = \begin{cases} \mu_2 - A_2 \bar{r}_2, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) < 0 \end{cases} \\ AKL_{x_3} = \begin{cases} \mu_3 - A_2 \bar{r}_1, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (3.66)$$

$\tilde{R}$  kontrol grafiği için;

$$\widetilde{ÜKL}_R = \tilde{R} D_4 = (\bar{r}_1 D_4, \bar{r}_2 D_4, \bar{r}_3 D_4) = \text{ÜBS}(\bar{ÜKL}_{r_1}, \bar{ÜKL}_{r_2}, \bar{ÜKL}_{r_3}) \quad (3.67)$$

$$\widetilde{MÇ}_R = \tilde{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) = \text{ÜBS}(MÇ_{r_1}, MÇ_{r_2}, MÇ_{r_3}) \quad (3.68)$$

$$\widetilde{AKL}_R = \widetilde{RD}_3 = (\bar{r}_1 D_3, \bar{r}_2 D_3, \bar{r}_3 D_3) = \dot{UBS}(AKL_r, AKL_r, AKL_{r_3}) \quad (3.69)$$

5) Kontrol grafiklerinin sınır değerleri de hesaplandıktan sonra sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılabilir. Süreç kontrol altında olduğu zaman sürecin yeterliliğinin analizine geçilebilir. Kontrol altında olmayan süreçlerde ise sorunun kaynakları tespit edilerek düzeltme yoluna gidilir. Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar kontrol grafikleriyle sürecin istatistiksel kontrolü yapılır. Sürecin kontrol altında olduğuna karar verildikten sonra yeterlilik analizi yapılabilir.

Sürecin kontrol durumunun belirlenmesi için Kaya ve Kahraman'ın (2011) geliştirdiği bulanık kurallar kullanılır. Bu metod ÜBS' de her  $\tilde{x}$  ve  $\tilde{R}$  grafiği için ayrı ayrı tanımlanan 5 kuraldan oluşmaktadır (Eşitlik 3.70-3.71).

$\tilde{x}$  grafiği için kontrol kuralları;

$$C_{x_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (o_{3i} \leq \dot{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} \geq AKL_{x_3}) \\ 0, & \text{Eğer } (o_{1i} > \dot{ÜKL}_{x_3}) \vee (o_{3i} < AKL_{x_1}) \\ 1 - \frac{(o_{3i} - \dot{ÜKL}_{x_1})}{(o_{3i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{3i} > \dot{ÜKL}_{x_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{x_3} - o_{1i})}{(o_{3i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{1i} < AKL_{x_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(o_{3i} - \dot{ÜKL}_{x_1})}{(o_{3i} - o_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{x_3} - o_{1i})}{(o_{3i} - o_{1i})} \right\}, & \text{Eğer } (o_{3i} > \dot{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} < AKL_{x_3}) \end{cases} \quad (3.70)$$

$\tilde{R}$  grafiği için kontrol kuralları;

$$C_{r_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (g_{3i} \leq \dot{ÜKL}_{r_1}) \wedge (r_{1i} \geq AKL_{r_3}) \\ 0, & \text{Eğer } (g_{1i} > \dot{ÜKL}_{r_3}) \vee (g_{3i} < AKL_{r_1}) \\ 1 - \frac{(g_{3i} - \dot{ÜKL}_{r_1})}{(g_{3i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{3i} > \dot{ÜKL}_{r_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{r_3} - g_{1i})}{(g_{3i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{1i} < AKL_{r_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(g_{3i} - \dot{ÜKL}_{r_1})}{(g_{3i} - g_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{r_3} - g_{1i})}{(g_{3i} - g_{1i})} \right\}, & \text{Eğer } (g_{3i} > \dot{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} < AKL_{r_3}) \end{cases} \quad (3.71)$$

### 3.5.2. Yamuk bulanık sayılar için $\bar{x}$ -R kontrol grafiği

Yamuk bulanık sayılar için;

1) Öncelikle her bir gözlem yamuk bulanık sayılara  $A=(a,b,c,d)$  dönüştürülür.

2) Her bir örneklem grubunun ortalama ve aralık değerleri eşitlik 3.72-3.73'teki gibi hesaplanır (Kaya ve Kahraman, 2011).

$$\tilde{x} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \right) = YBS(o_1, o_2, o_3, o_4) \quad (3.72)$$

$$\tilde{R} = [(a_{max} - d_{min}), (b_{max} - c_{min}), (c_{max} - b_{min}), (d_{max} - a_{min})] = YBS(g_1, g_2, g_3, g_4) \quad (3.73)$$

3) m adet örneklem grubu incelendikten sonra sürecin genel ortalamaları eşitlik 3.74-3.75 ile hesaplanır (Kaya ve Kahraman, 2011).

$$\tilde{\bar{x}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m o_{i1}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{i2}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{i3}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{i4}}{m} \right) = YBS(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) \quad (3.74)$$

$$\tilde{\bar{R}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m g_{i1}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{i2}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{i3}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{i4}}{m} \right) = YBS(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3, \bar{r}_4) \quad (3.75)$$

4) Sürecin genel ortalamalarının hesabından sonra istatistiksel kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi amacıyla - kontrol grafiklerinin kontrol limitleri hesaplanır (Eşitlik 3.76-3.82) (Kaya ve Kahraman, 2011).

$\tilde{x}$  kontrol grafiği için;

$$\widetilde{ÜKL}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} + A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 + A_2 \bar{r}_1, \mu_2 + A_2 \bar{r}_2, \mu_3 + A_2 \bar{r}_3, \mu_4 + A_2 \bar{r}_4) = YBS(\bar{ÜKL}_{x_1}, \bar{ÜKL}_{x_2}, \bar{ÜKL}_{x_3}, \bar{ÜKL}_{x_4}) \quad (3.76)$$

$$\widetilde{MC}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) = YBS(MC_{x_1}, MC_{x_2}, MC_{x_3}, MC_{x_4}) \quad (3.77)$$

$$\widetilde{AKL}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} - A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 - A_2 \bar{r}_4, \mu_2 - A_2 \bar{r}_3, \mu_3 - A_2 \bar{r}_2, \mu_4 - A_2 \bar{r}_1) = YBS(\bar{AKL}_{x_1}, \bar{AKL}_{x_2}, \bar{AKL}_{x_3}, \bar{AKL}_{x_4}) \quad (3.78)$$

$$(\bar{AKL}_{x_1}, \bar{AKL}_{x_2}, \bar{AKL}_{x_3}, \bar{AKL}_{x_4}) = \begin{cases} \begin{cases} \bar{AKL}_{x_1} = \mu_1 - A_2 \bar{r}_4, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) < 0 \end{cases} \\ \begin{cases} \bar{AKL}_{x_2} = \mu_2 - A_2 \bar{r}_3, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) < 0 \end{cases} \\ \begin{cases} \bar{AKL}_{x_3} = \mu_3 - A_2 \bar{r}_2, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) < 0 \end{cases} \\ \begin{cases} \bar{AKL}_{x_4} = \mu_4 - A_2 \bar{r}_1, & \text{Eğer } (\mu_4 - A_2 \bar{r}_4) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_4 - A_2 \bar{r}_4) < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (3.79)$$

$\tilde{R}$  kontrol grafiği için;

$$\widetilde{ÜKL}_R = \tilde{R}D_4 = (\bar{r}_1 D_4, \bar{r}_2 D_4, \bar{r}_3 D_4, \bar{r}_4 D_4) = YBS(\ddot{ÜKL}_{r_1}, \ddot{ÜKL}_{r_2}, \ddot{ÜKL}_{r_3}, \ddot{ÜKL}_4) \quad (3.80)$$

$$\widetilde{MÇ}_R = \tilde{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3, \bar{r}_4) = YBS(MÇ_{r_1}, MÇ_{r_2}, MÇ_{r_3}, MÇ_{r_4}) \quad (3.81)$$

$$\widetilde{AKL}_R = \tilde{R}D_3 = (\bar{r}_1 D_3, \bar{r}_2 D_3, \bar{r}_3 D_3, \bar{r}_4 D_3) = YBS(AKL_r, AKL_r, AKL_{r_3}, AKL_4) \quad (3.82)$$

5) Kontrol grafiklerinin sınır değerleri de hesaplandıktan sonra sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılabilir. Süreç kontrol altında olduğu takdirde sürecin yeterliliğinin analizine geçilebilir. Kontrol altında olmayan süreçlerde ise sorunun kaynakları tespit edilerek hataları düzeltme yoluna gidilmelidir. Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar kontrol grafikleriyle sürecin istatistiksel kontrolü yapılır. Sürecin kontrol altında olduğuna karar verildikten sonra yeterlilik analizi yapılabilir.

Sürecin kontrol durumunun belirlenmesi için Kaya ve Kahraman'ın (2011) geliştirdiği bulanık kurallar kullanılır. Bu metot YBS' de her ve grafiği için ayrı ayrı tanımlanan 5 kuraldan oluşmaktadır (Eşitlik 3.83-3.84).

$\tilde{x}$  grafiği için kontrol kuralları;

$$C_{x_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (o_{4i} \leq \ddot{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} \geq AKL_{x_4}) \\ 0, & \text{Eğer } (o_{1i} > \ddot{ÜKL}_{x_4}) \vee (o_{4i} < AKL_{x_1}) \\ 1 - \frac{(o_{4i} - \ddot{ÜKL}_{x_1})}{(o_{4i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{4i} > \ddot{ÜKL}_{x_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{x_4} - o_{1i})}{(o_{4i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{1i} < AKL_{x_4}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(o_{4i} - \ddot{ÜKL}_{x_1})}{(o_{4i} - o_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{x_4} - o_{1i})}{(o_{4i} - o_{1i})} \right\} & \text{Eğer } (o_{4i} > \ddot{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} < AKL_{x_4}) \end{cases} \quad (3.83)$$

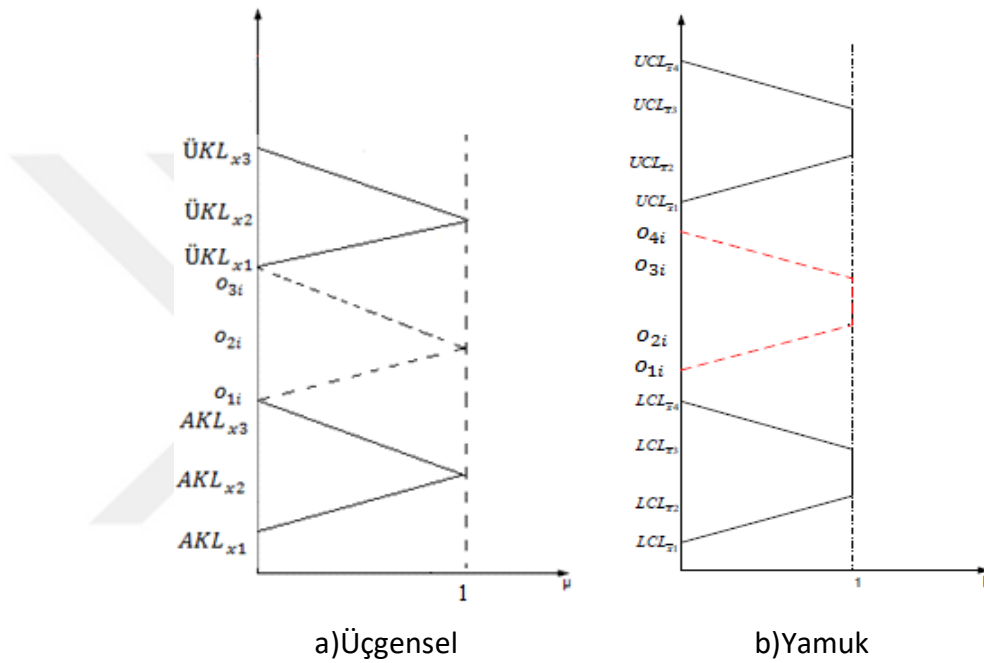
$\tilde{R}$  grafiği için kontrol kuralları;

$$C_{r_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (g_{4i} \leq \ddot{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} \geq AKL_{r_4}) \\ 0, & \text{Eğer } (g_{1i} > \ddot{ÜKL}_{r_4}) \vee (g_{4i} < AKL_{r_1}) \\ 1 - \frac{(g_{4i} - \ddot{ÜKL}_{r_1})}{(g_{4i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{4i} > \ddot{ÜKL}_{r_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{r_4} - g_{1i})}{(g_{4i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{1i} < AKL_{r_4}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(g_{4i} - \ddot{ÜKL}_{r_1})}{(g_{4i} - g_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{r_4} - g_{1i})}{(g_{4i} - g_{1i})} \right\} & \text{Eğer } (g_{4i} > \ddot{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} < AKL_{r_4}) \end{cases} \quad (3.84)$$

### 3.5.3. Bulanık kontrol kurallarının yorumu

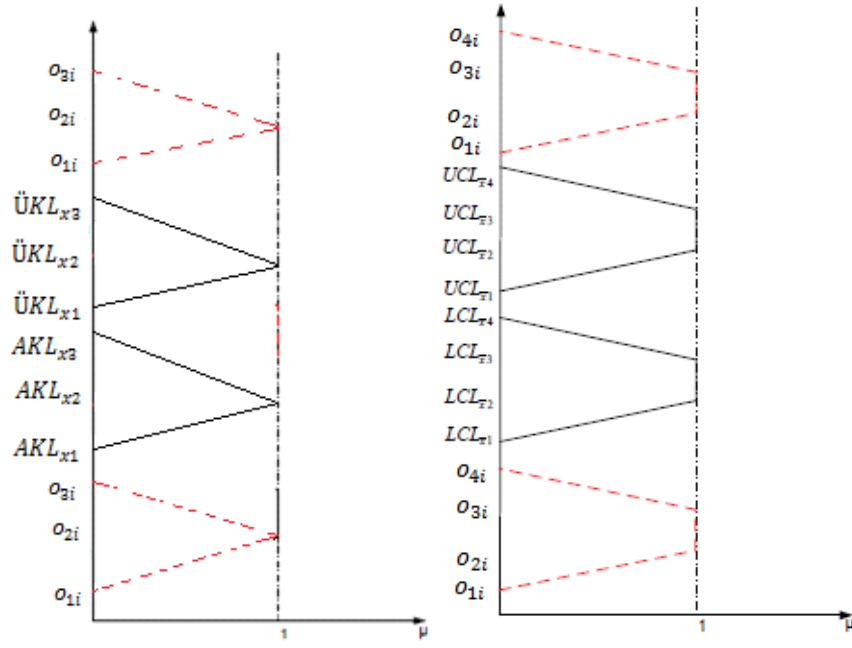
$\tilde{x}$  ve  $\tilde{R}$  kontrol grafikleri için oluşturulan bu 5 kuralın grafiksel olarak gösterimleri Şekil 3.6-3.10 'daki gibidir. Bu grafikler hem  $\tilde{x}$  için hem  $\tilde{R}$  için kullanılacaktır.

Kural-1' de alınan örneklerin ortalamalarının ( $\bar{x}$ ) veya değişim aralığı değerlerinin (R) tümünün alt ve üst kontrol limitleri arasında olma durumu gösterilmiştir. Tüm örnekler limitler içinde kaldığı için Kural-1 sürecin kontrol altında olduğunu belirtmektedir (Şekil-3.6).



Şekil 3.6: Süreç kontrolü için kural-1 (Kaya,2010)

Kural-2' de alınan herhangi bir örneğin  $\bar{X}$  ortalamalarının veya R değişim aralığı değerinin herhangi birinin alt veya üst kontrol limitlerinden birinin dışında bulunma durumu gösterilmiştir. Örneğin limitler dışında kalmasından dolayı bu kural sürecin kontrol dışında olduğunu belirtmektedir (Şekil-3.7).

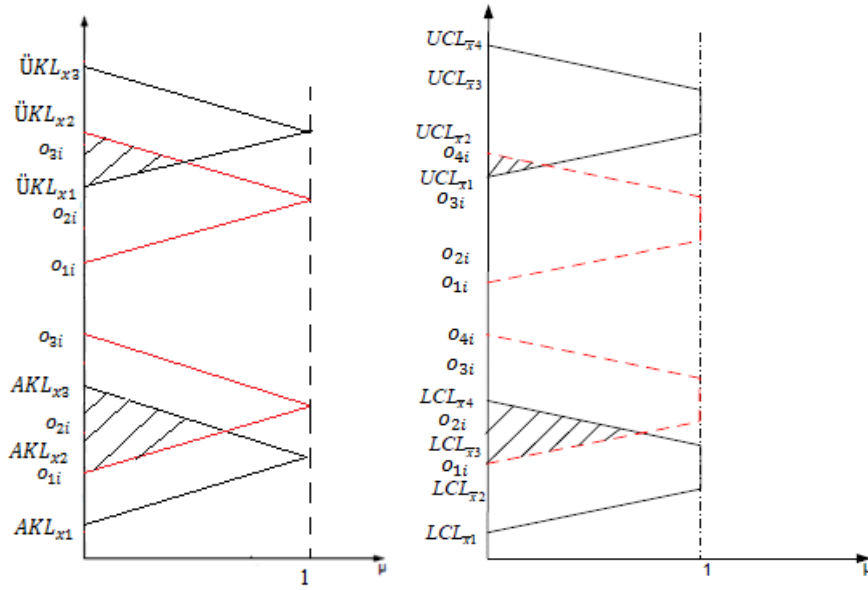


a)Üçgensel

b)Yamuk

Şekil 3.7: Süreç kontrolü için kural-2 (Kaya, 2010)

Kural-3 ve 4'te alınan herhangi bir örneğin ortalama veya değişim aralığı değerinin bir kısmının alt veya üst kontrol limitlerinin dışında bulunması durumu gösterilmiştir. Bu kural, alınan örneğin limitler içinde kalan kısmının örneğin genel genişliğine oranına göre sürecin kısmen kontrol altında veya kısmen kontrol dışında olma durumunu belirtmektedir (Şekil-3.8).

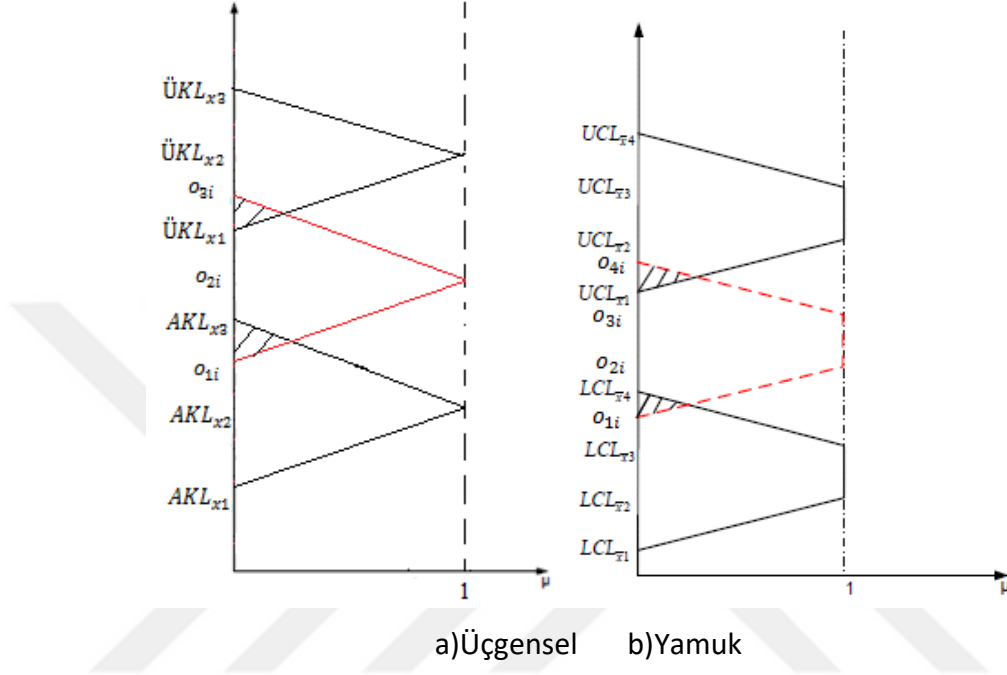


a)Üçgensel

b)Yamuk

Şekil 3.8: Süreç kontrolü için kural-3,4 (Kaya, 2010)

Kural-5'te ise alınan örneğin bir kısmının hem alt kontrol limitinin hem de üst kontrol limitinin bir kısmını aşması durumu gösterilmiştir. Sürecin kontrol altında olup olmaması kısmen kontrol altında ya da kısmen kontrol dışında olarak değerlendirilir (Şekil-3.9).



Şekil 3.9: Süreç kontrolü için kural-5 (Kaya, 2010)

6) (3.85) nolu eşitlikte tanımlanmış bulanık kurallar için sağlanan kontrol ifadeleri kullanılır.  $\beta$  örneklem genişliğinin ne oranda kontrol limiti dahilinde kalması gerektiğini gösteren bir sabittir. Bu oran çalışmaya göre  $0 \leq \beta < 1$  arasında farklılık gösterebilir.

$$Kontrol = \begin{cases} \text{"Kontrol altında",} & \text{Eğer } (=1) \wedge (=1) \\ \text{"Kontrol dışında",} & \text{Eğer } (=0) \vee (=0) \\ \text{"Kısmen kontrol altında",} & \text{Eğer } (\geq \beta) \wedge (\geq \beta) \\ \text{"Kısmen kontrol dışında",} & \text{Eğer } (< \beta) \vee (< \beta) \end{cases} \quad (3.85)$$

Sürecin “kontrol altında” denebilmesi için her iki grafik için de kontrol altında olma durumunu sağlaması gerekmektedir. Sürecin “kontrol dışında” denebilmesi için herhangi bir grafiğin kontrol dışında olması gerekmektedir. Sürecin “kısmen kontrol altında” olması için her iki grafiğin kontrol durumu değerinin önceden belirlenmiş kabul edilebilir oran olan  $\beta$  değerinden büyük veya  $\beta$  değerine eşit olması gerekmektedir. Sürecin “kısmen kontrol dışında” olması için de herhangi bir kontrol grafiğinin kontrol durumu değerinin  $\beta$  değerinden küçük olması yeterlidir.

### 3.6. Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi

Süreçten alınan gözlemlerin, varyansın ve spesifikasyon limitlerinin kesin olarak ifade edilemediği durumlarda geleneksel süreç yeterlilik indekslerinin kullanılması doğru sonuç veremeyebilir. Sürecin analizinde kesin sınırların giderilip esneklik katılması için bulanık süreç yeterlilik indeksleri (BSYİ) geliştirilmiştir. BSYİ aşağıdaki gibi hesaplanır:

1) Öncelikle bulanık süreç yeterlilik indeksi olan değeri hesaplaması için gerekli olan alt ve üst spesifikasyon limitleri “civarında, yaklaşık” olarak tanımlanır ve bu yüzden limitler eşitlik (3.86)-(3.89)’daki gibi ifade edilmiştir.

Üçgensel bulanık sayılar için;

$$\widetilde{USL} = \ddot{ÜBS} (u_1, u_2, u_3) \quad (3.86)$$

$$\widetilde{ASL} = \ddot{ÜBS} (l_1, l_2, l_3) \quad (3.87)$$

Yamuk bulanık sayılar için;

$$\widetilde{USL} = YBS (u_1, u_2, u_3, u_4) \quad (3.88)$$

$$\widetilde{ASL} = YBS (l_1, l_2, l_3, l_4) \quad (3.89)$$

2) Sürecin spesifikasyon limitleri  $\ddot{ÜBS}$  olarak belirlendikten sonra sürecin bulanık ortalaması ve standart sapması Eşitlik 3.90-3.93’teki gibi hesaplanır (Kaya ve Kahraman, 2011). Standart sapma hesaplamasında kullanılan  $d_2$  değeri alt grup büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen geleneksel kontrol grafiği sabitidir.

Üçgensel bulanık sayılarla hesaplama için;

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = \ddot{U}BS(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (3.90)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{R}}{d_2} = \left[ \frac{\bar{r}_1}{d_2}, \frac{\bar{r}_2}{d_2}, \frac{\bar{r}_3}{d_2} \right] = \ddot{U}BS(s_1, s_2, s_3) \quad (3.91)$$

Yamuk bulanık sayılarla hesaplama için;

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = YBS(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) \quad (3.92)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{R}}{d_2} = \left[ \frac{\bar{r}_1}{d_2}, \frac{\bar{r}_2}{d_2}, \frac{\bar{r}_3}{d_2}, \frac{\bar{r}_4}{d_2} \right] = YBS(s_1, s_2, s_3, s_4) \quad (3.93)$$

3) Sürecin ortalama ve standart sapması ÜBS olarak ifade edildikten sonra  $\tilde{C}_p, \tilde{C}_{pk}, \tilde{C}_{pl}, \tilde{C}_{pu}$  süreç yeterlilik indekslerinin hesaplanmasına geçilebilir.

4) İndeksler, eşitlik (3.94) – (3.101)'deki gibi hesaplanınca sonuçlar ÜBS ve YBS olarak bulunmuş olacaktır (Kaya ve Kahraman, 2011).

$$\tilde{C}_p = \frac{\tilde{USL} - \tilde{ASL}}{6\tilde{\sigma}} = \ddot{U}BS\left(\frac{u_1 - l_3}{6s_3}, \frac{u_2 - l_2}{6s_2}, \frac{u_3 - l_1}{6s_1}\right) \quad (3.94)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \frac{\tilde{USL} - \tilde{\mu}}{3\tilde{\sigma}} = \ddot{U}BS\left(\frac{u_1 - \mu_3}{3s_3}, \frac{u_2 - \mu_2}{3s_2}, \frac{u_3 - \mu_1}{3s_1}\right) \quad (3.95)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \frac{\tilde{\mu} - \tilde{ASL}}{3\tilde{\sigma}} = \ddot{U}BS\left(\frac{\mu_1 - l_3}{3s_3}, \frac{\mu_2 - l_2}{3s_2}, \frac{\mu_3 - l_1}{3s_1}\right) \quad (3.96)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{\tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}\} \quad (3.97)$$

$$\tilde{C}_p = \frac{\tilde{USL} - \tilde{ASL}}{6\tilde{\sigma}} = YBS\left(\frac{u_1 - l_4}{6s_4}, \frac{u_2 - l_3}{6s_3}, \frac{u_3 - l_2}{6s_2}, \frac{u_4 - l_1}{6s_1}\right) \quad (3.98)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \frac{\tilde{USL} - \tilde{\mu}}{3\tilde{\sigma}} = YBS\left(\frac{u_1 - \mu_4}{3s_4}, \frac{u_2 - \mu_3}{3s_3}, \frac{u_3 - \mu_2}{3s_2}, \frac{u_4 - \mu_1}{3s_1}\right) \quad (3.99)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \frac{\tilde{\mu} - \tilde{ASL}}{3\tilde{\sigma}} = YBS\left(\frac{\mu_1 - l_4}{3s_4}, \frac{\mu_2 - l_3}{3s_3}, \frac{\mu_3 - l_2}{3s_2}, \frac{\mu_4 - l_1}{3s_1}\right) \quad (3.100)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{\tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}\} \quad (3.101)$$

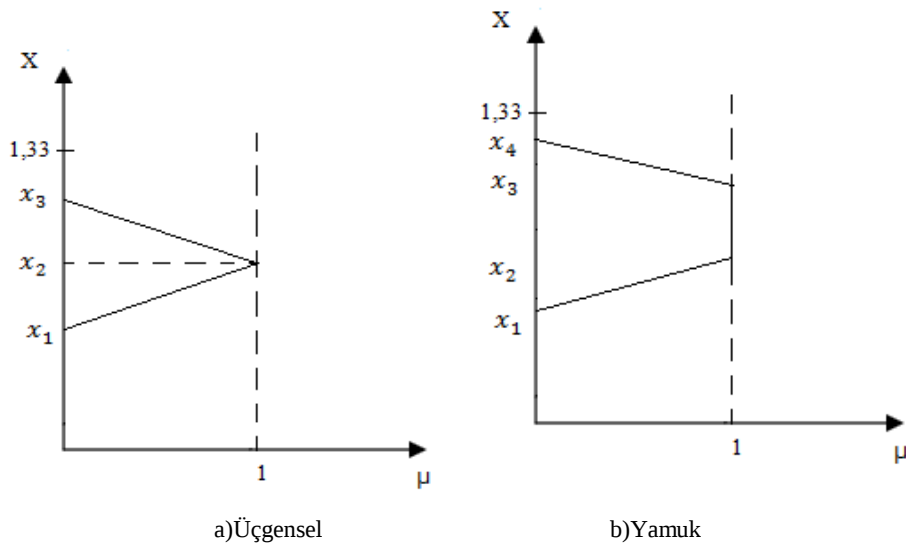
### 3.7. Süreç Yeterliliği İçin Bulanık Kural Metodu

Sürecin hatalı ürün oranı düşük şekilde üretim yapabilmesi ve müşteri beklentilerini karşılamada “tatmin edici” olarak ifade edilebilmesi için geleneksel süreç yeterlilik indeksi değerinin en az 1,33 olması gerekmektedir. Oluşturulan yeni bulanık kurallar da bu değer baz alınarak geliştirilmiştir (Soysal, 2014). Eşitlik 3.102 ve 3.103’te bulanık süreç yeterlilik indeksleri için bulanık kurallar yer almaktadır.  $C_{C_p}$  bu çalışma için yeterlilik indeksini değerlendirmek amacıyla tanımlanmış bir simgedir.

$$C_{C_p} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } x_3 \leq 1,33 \\ 1, & \text{Eğer } x_1 \geq 1,33 \\ \frac{x_3 - 1,33}{x_3 - x_1}, & \text{Eğer } (x_3 > 1,33 \wedge x_1 < 1,33) \end{cases} \quad (3.102)$$

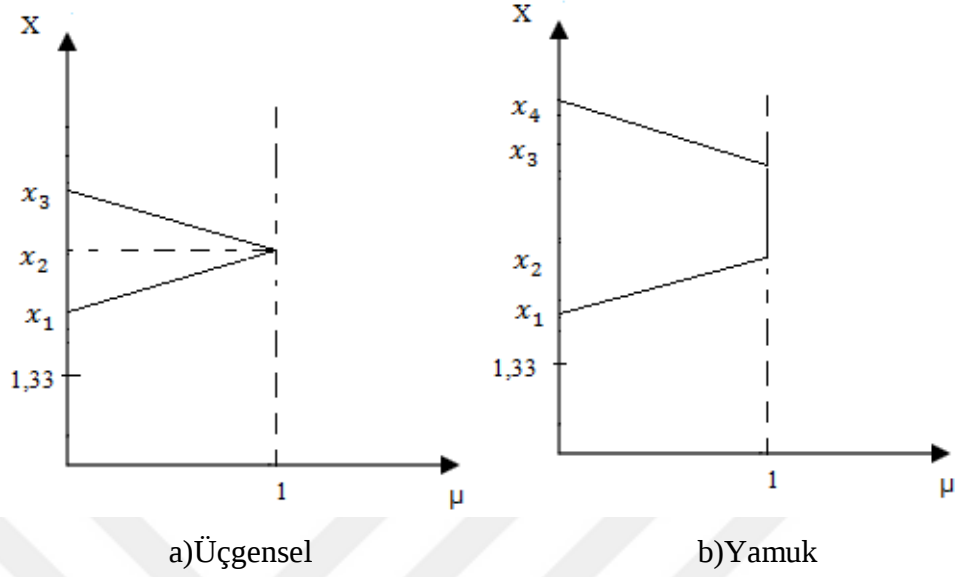
$$C_{C_p} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } x_4 \leq 1,33 \\ 1, & \text{Eğer } x_1 \geq 1,33 \\ \frac{x_4 - 1,33}{x_4 - x_1}, & \text{Eğer } (x_4 > 1,33 \wedge x_1 < 1,33) \end{cases} \quad (3.103)$$

Kural 1’de üçgen ve yamuk bulanık sayı olan süreç yeterlilik indeksinin tamamının 1,33 sınır değerinin altında kaldığı durum gösterilmektedir. Bu durumda süreç “yetersiz” olarak ifade edilir (Şekil-3.10).



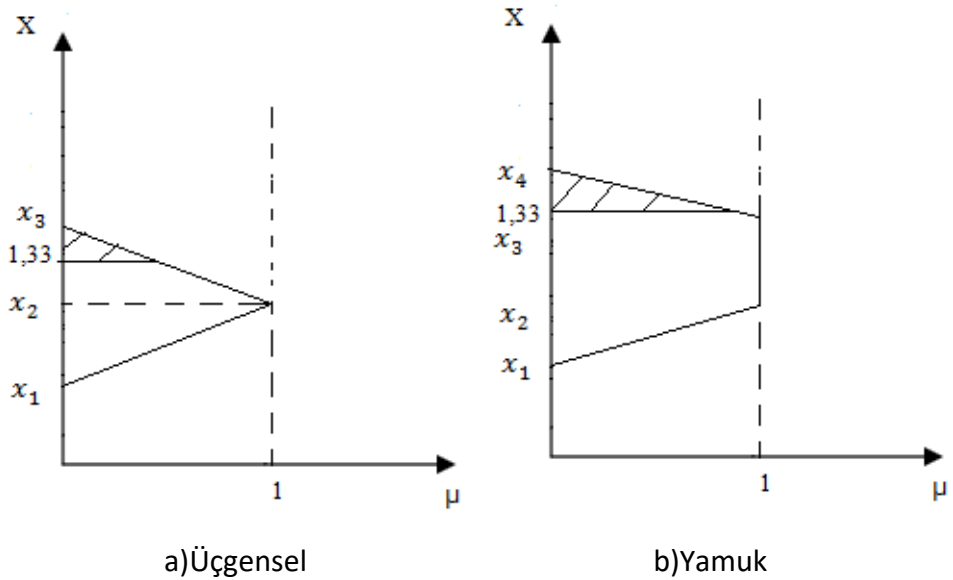
Şekil 3.10: Süreç Yeterliliği İçin Kural-1 (Kaya,2010)

Kural 2’de yeterlilik indeksinin 1,33 sınır değerini aştığı durum gösterilmektedir. Bu durumda süreç “yeterli” olarak ifade edilir (Şekil-3.11).



Şekil 3.11: Süreç Yeterliliği İçin Kural-2 (Kaya, 2010)

Kural 3’te ise yeterlilik değerinin genişliğinin bir kısmının 1,33 sınır değerini aştığı durum gösterilmektedir. Bu durumda sürecin yorumlanması yeterlilik indeksinin 1,33’ü ne oranda aştığına göre “kısmen tatmin edici” ya da “kısmen yetersiz” olarak yorumlanabilir (Şekil-3.12).



Şekil 3.12: Süreç yeterliliği için kural-3 (Kaya, 2010)

Süreç yeterlilik için bulanık kurallar işlendikten sonra sürecin yeterliliğinin yorumlanması Eşitlik 3.104'teki şekilde yapılır.  $\theta$ , yeterlilik değerinin tatmin edici kategorisine dahil olabilmesi için 1,33 değerini ne oranda aşması gerektiğini belirten bir sabittir. Bu oran her çalışmaya göre  $0 < \theta < 1$  arasında farklılık gösterebilir.

$$\text{Yeterlilik} = \begin{cases} \text{"Tatmin edici",} & \text{Eğer } C_{C_p} = 1 \\ \text{"Yetersiz",} & \text{Eğer } C_{C_p} = 0 \\ \text{"Kısmen yetersiz",} & \text{Eğer } C_{C_p} \leq \theta \\ \text{"Kısmen tatmin edici",} & \text{Eğer } C_{C_p} > \theta \end{cases} \quad (3.104)$$

## 4. UYGULAMA

Uygulama yaklaşık gözlem değerleri içeren bulanık sayılar üzerinden yapılacaktır. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak, bulanık kontrol limitlerine sahip bulanık  $\tilde{x}$ - $\tilde{R}$  kontrol grafikleri oluşturulacaktır. Sürecin kontrol altında olup olmadığı bulanık kurallar yardımıyla test edilecektir. Bulanık spesifikasyon limitleri ile bulanık süreç yeterlilik analizi yapılacak, bulanık kurallar aracılığıyla sürecin değerlendirmesi yapılacaktır.

### 4.1. Şirket Tanıtımı

FKK grup şahıs şirketi olarak Samsun'da konumlanmaktadır. İki müteşebbis tarafından 1957 yılında kurulmuş olup; otomotiv, maden, denizcilik, endüstriyel ürünler ve inşaat sektörleri için üretim yapmaktadır. FKK Grup ikisi Samsun'da, biri Çorum'da ve biri de İstanbul'da olmak üzere dört üretim tesisine sahiptir. Firmanın ayrıca Ankara, İstanbul ve İzmir'de pazarlama ofisleri bulunmaktadır. FKK grup otomotiv sektörü için süspansiyon takozları, maden sektörü için kauçuk değirmen astarları, denizcilik sektörü için liman usturmacaları, tekstil ve sanayi sektörü için vulkollanseydel silindirler ve forklift tekerleri, inşaat sektörü içinde köprü mesnetleri üretmektedir.

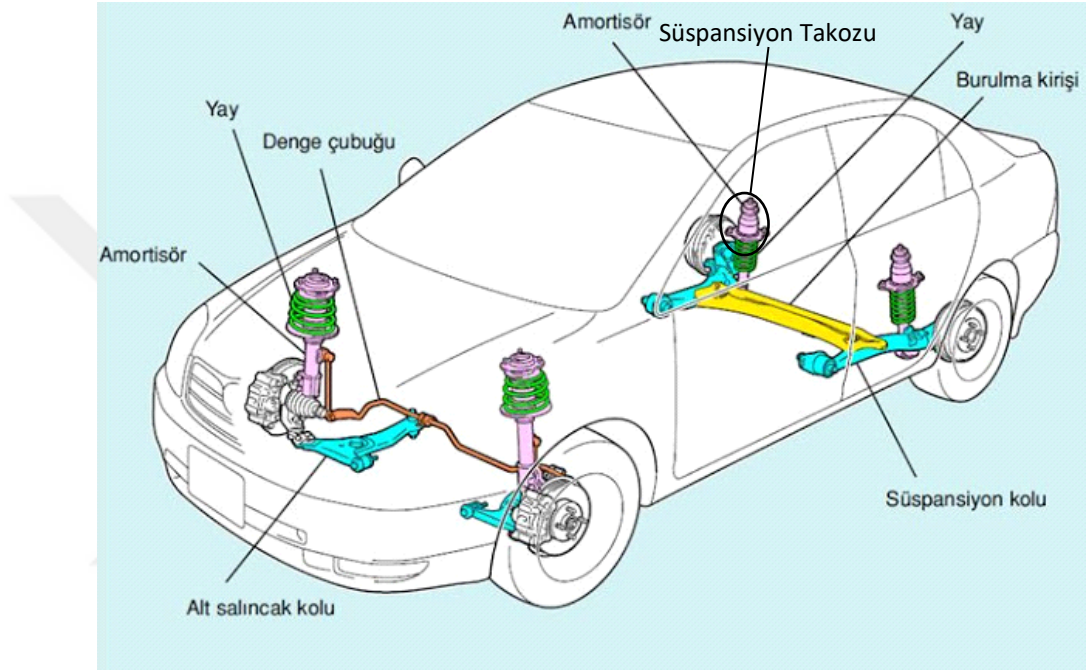
Otomotiv bölümünde toplam çalışan sayısı 105 olmakla birlikte mühendis sayısı 6, teknik eleman sayısı 20'dir. Şu anda şirket ISO 9001, OHSAS 18001, TS 16949, TS ISO 17025 kalite yönetim sistemi belgelerine sahiptir. Şirket yılda yaklaşık olarak toplam 2.000.000 adet süspansiyon takozu üretmektedir.

### 4.2. Ürün Bilgisi

Firma otomotiv sektörüne ağırlıklı olarak süspansiyon takozları üretmektedir. Araç gövdesi ile tekerlekler arasına yerleştirilen süspansiyon sistemi, yolun yapısından kaynaklanan titreşimleri sönmölemek üzere tasarlanır.

Süspansiyon sistemi sürüş konforu ve güvenliği açısından ihtiyaç duyulan bir sistemdir (Şekil-4.1). Direksiyon sistemi, ön düzen geometrisi ve tekerleklerle bir bütünlük içerisinde çalışır.

Süspansiyon sistemi sürüş güvenliği ve sürüş konforu olmak üzere iki temel görevi yerine getirir. Süspansiyon sisteminde, yoldan gelen darbe ve titreşimler yay tarafından emilirken, yay salınımı da amortisörler absorbe etmektedir. Böylece araçtaki yolcuların konforu sağlanmış olur. Ayrıca süspansiyon sistemi (amortisör ve yaylar), her türlü yol ve sürüş şartlarında, tekerleklerin yola maksimum temasını sağlayarak ve araca etki eden dinamik kuvvetleri karşılayarak, aracın yol tutuşunu iyileştirmektedir.



Şekil 4.1: Süspansiyon sistemi parçaları

Süspansiyon sisteminden beklenen konfor ve sürüş güvenliği, sistem açısından bir birine zıt beklentilerdir. Bir aracın yol tutuşunun daha iyi olması için veya ağır yük taşıyabilmesi için, sert süspansiyon sistemi gerekir. Ancak bu durumda konfor azalacaktır. Bir aracın konforlu olması için, yumuşak süspansiyon sistemi gerekir. Bu durumda ise aracın yol tutuşu kötü olacak ve savrulma eğilimi fazla olacaktır, ayrıca ağır yükler taşıyamayacaktır.

Kısaca süspansiyon sisteminin görevlerini şu şekilde sıralanabilir:

- Çekiş yapan tekerlekler tarafından tahrik kuvvetini aktarmak ve aynı zamanda aksın düzgün konumunu sağlarken her bir tekerlek tarafından yaratılan frenleme kuvvetini araç gövdesine iletme.

- Sürüş esnasında lastikler ile birlikte çalışarak yolcuları veya taşınan yükü korumak ve sürüş konforunu iyileştirmek amacıyla yol yüzeyinin yapısından kaynaklanan titreşimleri, salınımları ve ani şokları sönümleyerek yumuşatmak.

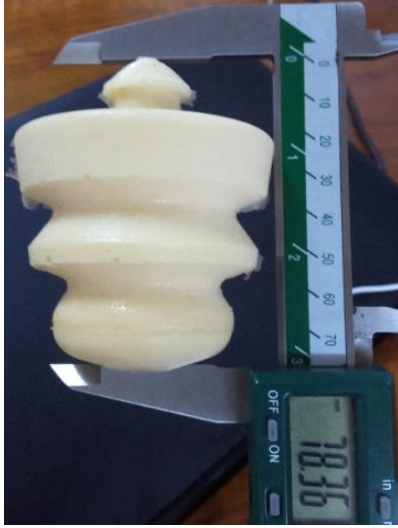
- Direksiyon hâkimiyeti ve yönlenme dengesini geliştirmek için sürekli olarak tekerleklerin yol yüzeyindeki bozuklukları izlemesini sağlayarak sürüş esnasında aracı dengelemek.

- Akslar üzerinde gövdeye destek olarak gövde ile tekerlekler arasında uygun geometrik ilişkiyi korur. Ancak bu görevler birbirleri ile çatışır. Örneğin sürüş konforunu geliştirmek için yumuşak bir yay kullanılırsa direksiyon kararlılığı azalacak ve direksiyon kararlılığını geliştirmek için sert bir yay kullanılırsa sürüş rahatsız olacaktır. Süspansiyon sistemi ile aracın uyumunu sağlamak için bu koşulları eşleştirmek önemlidir. Süspansiyon takozu Şekil 4.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Süspansiyon takozu

Süspansiyon takozu; ham madde eritme, tartı işlemi, sıcak karıştırma, kalıplama (Şekil 4.4) ve ön ısıtma işlemi, fiziki kontrol, son ısıtma işlemi, kalite kontrol ve ardından çapak alma ve final kontrol işlemlerinden geçmektedir. Şekil 4.3' te süspansiyon takozunun en önemli kalite göstergelerinden biri olan boy ölçümü gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Süspansiyon takozu ölçümü



Şekil 4.4: Kalıp görüntüsü

Çizelge 4.1’de süspansiyon takozu için aylık bazda hurda oranları gösterilmektedir.

Söz konusu ölçümlerde bulanık olma durumu; örnek veriden (örneklem grubu), hassas olmayan ölçüm aletlerinden, ölçüm hatalarından, kesin olmayan spesifikasyon limitlerinden, işçi farklılığından veya ölçümde oluşabilecek hata oranlarından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.1: Süspansiyon takozu arıza verileri

| Tarih  | Gözenekli Üretim Kayıtları Arıza Verileri<br>(Adet) |               |       | Hurda Oranı |
|--------|-----------------------------------------------------|---------------|-------|-------------|
|        | Toplam Üretim                                       | Sağlam Üretim | Arıza |             |
| May.18 | 378                                                 | 362           | 16    | 4,23%       |
| Haz.18 | 798                                                 | 771           | 27    | 3,38%       |
| Tem.18 | 579                                                 | 566           | 13    | 2,25%       |
| Ağu.18 | 3455                                                | 3375          | 80    | 2,32%       |
| Eyl.18 | 9420                                                | 9109          | 311   | 3,30%       |
| Eki.18 | 9597                                                | 9351          | 246   | 2,56%       |
| Kas.18 | 9718                                                | 9511          | 207   | 2,13%       |
| Ara.18 | 11186                                               | 10862         | 324   | 2,90%       |
| Oca.19 | 8852                                                | 8518          | 334   | 3,77%       |
| Şub.19 | 7941                                                | 7606          | 335   | 4,22%       |
| Mar.19 | 6478                                                | 6277          | 201   | 3,10%       |
| Nis.19 | 7543                                                | 7306          | 237   | 3,14%       |

#### 4.3. Bulanık $\bar{x}$ - RGrafikleriyle Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi

Süspansiyon takozu boy uzunluğu için yapılan ölçümlerde, işçi farklılıklarından ve ölçüm sistemindeki olası hatalı ölçüm değerlerinden dolayı gözlem sonuçları “yaklaşık” değerler olarak gösterilmiştir.

Belirli zaman aralığında süreçten rastgele olmak üzere, her biri 5 birimden oluşan 25 örnek grubu alınmış ve Çizelge-4.2 ‘deki şekilde kaydedilmiştir.

Bu uygulama, süspansiyon takozlarının örneklemeye dayalı gözlem verilerine dayanmaktadır. Süspansiyon takozu boy uzunluğu için üst spesifikasyon değerleri müşteri ve tasarımcı tarafından 77,90 ile 77,91 mm. arasında, alt spesifikasyon değerleri ile 76,10 ile 76,11 mm. arasında karşılaştırılmıştır.

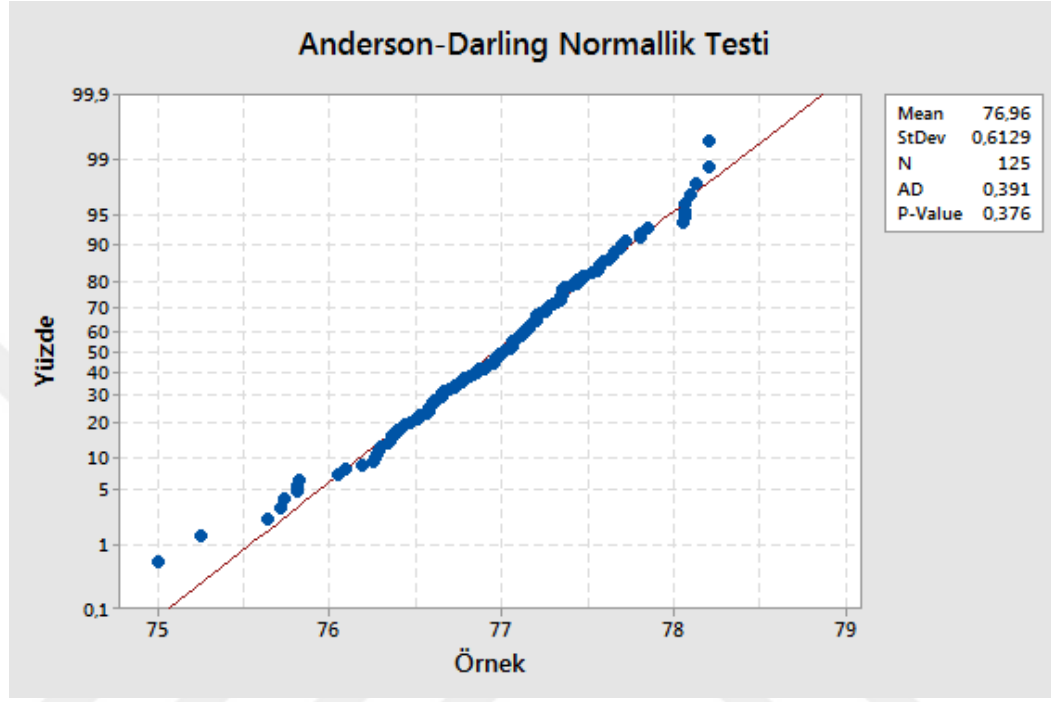
Çizelge 4.2: Süspansiyon takozu boy uzunluğu için ölçüm değerleri (mm)

| ÖRNEK | x1    | x2    | x3    | x4    | x5    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 78,07 | 76,19 | 76,77 | 77,06 | 77,20 |
| 2     | 76,30 | 76,57 | 76,95 | 76,73 | 77,01 |
| 3     | 77,47 | 76,73 | 76,60 | 76,78 | 77,41 |
| 4     | 76,65 | 77,16 | 76,61 | 77,28 | 77,20 |
| 5     | 77,69 | 76,79 | 76,96 | 73,95 | 77,04 |
| 6     | 76,20 | 77,12 | 76,51 | 77,26 | 77,08 |
| 7     | 77,36 | 76,97 | 77,34 | 77,06 | 77,13 |
| 8     | 77,35 | 75,81 | 77,16 | 76,34 | 77,10 |
| 9     | 76,44 | 77,20 | 77,70 | 77,06 | 76,91 |
| 10    | 76,47 | 77,47 | 73,60 | 77,59 | 76,99 |
| 11    | 76,28 | 76,75 | 77,44 | 77,44 | 78,13 |
| 12    | 77,85 | 75,82 | 76,86 | 76,27 | 77,27 |
| 13    | 77,20 | 77,15 | 77,18 | 77,32 | 76,78 |
| 14    | 76,84 | 77,57 | 77,30 | 75,81 | 76,36 |
| 15    | 76,90 | 75,74 | 76,99 | 77,72 | 77,53 |
| 16    | 77,17 | 77,26 | 76,66 | 76,87 | 77,56 |
| 17    | 77,12 | 77,62 | 77,22 | 78,20 | 76,92 |
| 18    | 74,09 | 76,52 | 75,01 | 77,64 | 76,59 |
| 19    | 76,36 | 77,57 | 76,39 | 77,81 | 78,06 |
| 20    | 75,64 | 78,20 | 76,25 | 77,66 | 75,25 |
| 21    | 76,29 | 76,65 | 76,82 | 76,51 | 76,58 |
| 22    | 77,01 | 76,39 | 77,05 | 78,07 | 75,72 |
| 23    | 76,65 | 76,09 | 76,70 | 78,05 | 76,60 |
| 24    | 76,05 | 78,10 | 76,95 | 77,81 | 77,34 |
| 25    | 76,35 | 76,58 | 73,27 | 76,43 | 76,63 |

Sürecin kontrol altında olup olmadığını analiz etmeden önce verilerin normal dağıldığı varsayımı test edilmiştir. Bu aşamada Minitab17 istatistiksel paket programı kullanılmıştır. Normal dağılıma uygunluğu test etmek için Minitab

programında güvenilirliği yüksek olan Anderson-Darling normallik testi uygulanmıştır (Şekil-4.5).

p değeri 0,05'ten büyük olduğundan verilerin normal dağıldığını varsayan sıfır hipotezi kabul edilmiştir.



Şekil 4.5: Anderson- Darling normallik testi

Çizelge 4.2'deki “yaklaşık” olarak kaydı tutulan gözlem sonuçları, 0,01 mm. bulanıklık değerine göre bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Bulanıklık değeri, ölçümler yapılırken işçi farklılığı ve ölçümde oluşabilecek hata oranı gibi nedenlere bağlı olarak oluşan farklılık değeridir. Yapılan çalışmalara göre farklılık gösterir.

Çizelge 4.3, Çizelge 4.2'deki gözlem değerlerinin 0,01 bulanıklık değerine göre YBS'ye dönüştürülmüş halini göstermektedir. Bu aşamadan sonraki tüm işlemler YBS olarak ve bu tablodaki veriler kullanılarak yapılacaktır.

Çizelge 4.3: Süspansiyon takozu boy uzunluğu için YBS olarak gözlem değerleri (mm)

| ÖRNEK | x1                           | x2                           | x3                           | x4                           | x5                           |
|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1     | (78,06; 78,07; 78,08; 78,09) | (76,18; 76,19; 76,20; 76,21) | (76,76; 76,77; 76,78; 76,79) | (77,05; 77,06; 77,07; 77,08) | (77,19; 77,20; 77,21; 77,22) |
| 2     | (76,29; 76,30; 76,31; 76,32) | (76,56; 76,57; 76,58; 76,59) | (76,94; 76,95; 76,96; 76,97) | (76,72; 76,73; 76,74; 76,75) | (77,00; 77,01; 77,02; 77,03) |
| 3     | (77,46; 77,47; 77,48; 77,49) | (76,72; 76,73; 76,74; 76,75) | (76,59; 76,60; 76,61; 76,62) | (76,77; 76,78; 76,79; 76,80) | (77,40; 77,41; 77,42; 77,43) |
| 4     | (76,64; 76,65; 76,66; 76,67) | (77,15; 77,16; 77,17; 77,18) | (76,60; 76,61; 76,62; 76,63) | (77,27; 77,28; 77,29; 77,30) | (77,19; 77,20; 77,21; 77,22) |
| 5     | (77,68; 77,69; 77,70; 77,71) | (76,78; 76,79; 76,80; 76,81) | (76,95; 76,96; 76,97; 76,98) | (73,94; 73,95; 73,96; 73,97) | (77,03; 77,04; 77,05; 77,06) |
| 6     | (76,19; 76,20; 76,21; 76,22) | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (76,50; 76,51; 76,52; 76,53) | (77,25; 77,26; 77,27; 77,28) | (77,07; 77,08; 77,09; 77,10) |
| 7     | (77,35; 77,36; 77,37; 77,38) | (76,96; 76,97; 76,98; 76,99) | (77,33; 77,34; 77,35; 77,36) | (77,05; 77,06; 77,07; 77,08) | (77,12; 77,13; 77,14; 77,15) |
| 8     | (77,34; 77,35; 77,36; 77,37) | (75,80; 75,81; 75,82; 75,83) | (77,15; 77,16; 77,17; 77,18) | (76,33; 76,34; 76,35; 76,36) | (77,09; 77,10; 77,11; 77,12) |
| 9     | (76,43; 76,44; 76,45; 76,46) | (77,19; 77,20; 77,21; 77,22) | (77,69; 77,70; 77,71; 77,72) | (77,05; 77,06; 77,07; 77,08) | (76,90; 76,91; 76,92; 76,93) |
| 10    | (76,46; 76,47; 76,48; 76,49) | (77,46; 77,47; 77,48; 77,49) | (73,59; 73,60; 73,61; 73,62) | (77,58; 77,59; 77,60; 77,61) | (76,98; 76,99; 77,00; 77,01) |
| 11    | (76,27; 76,28; 76,29; 76,30) | (76,74; 76,75; 76,76; 76,77) | (77,43; 77,44; 77,45; 77,46) | (77,43; 77,44; 77,45; 77,46) | (78,12; 78,13; 78,14; 78,15) |
| 12    | (77,84; 77,85; 77,86; 77,87) | (75,81; 75,82; 75,83; 75,84) | (76,85; 76,86; 76,87; 76,88) | (76,26; 76,27; 76,28; 76,29) | (77,26; 77,27; 77,28; 77,29) |
| 13    | (77,19; 77,20; 77,21; 77,22) | (77,14; 77,15; 77,16; 77,17) | (77,17; 77,18; 77,19; 77,20) | (77,31; 77,32; 77,33; 77,34) | (76,77; 76,78; 76,79; 76,80) |
| 14    | (76,83; 76,84; 76,85; 76,86) | (77,56; 77,57; 77,58; 77,59) | (77,29; 77,30; 77,31; 77,32) | (75,80; 75,81; 75,82; 75,83) | (76,35; 76,36; 76,37; 76,38) |
| 15    | (76,89; 76,90; 76,91; 76,92) | (75,73; 75,74; 75,75; 75,76) | (76,98; 76,99; 77,00; 77,01) | (77,71; 77,72; 77,73; 77,74) | (77,52; 77,53; 77,54; 77,55) |
| 16    | (77,16; 77,17; 77,18; 77,19) | (77,25; 77,26; 77,27; 77,28) | (76,65; 76,66; 76,67; 76,68) | (76,86; 76,87; 76,88; 76,89) | (77,55; 77,56; 77,57; 77,58) |
| 17    | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,61; 77,62; 77,63; 77,64) | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (78,19; 78,20; 78,21; 78,22) | (76,91; 76,92; 76,93; 76,94) |
| 18    | (74,08; 74,09; 74,10; 74,11) | (76,51; 76,52; 76,53; 76,54) | (75,00; 75,01; 75,02; 75,03) | (77,63; 77,64; 77,65; 77,66) | (76,58; 76,59; 76,60; 76,61) |
| 19    | (76,35; 76,36; 76,37; 76,38) | (77,56; 77,57; 77,58; 77,59) | (76,38; 76,39; 76,40; 76,41) | (77,80; 77,81; 77,82; 77,83) | (78,05; 78,06; 78,07; 78,08) |
| 20    | (75,63; 75,64; 75,65; 75,66) | (78,19; 78,20; 78,21; 78,22) | (76,24; 76,25; 76,26; 76,27) | (77,65; 77,66; 77,67; 77,68) | (75,24; 75,25; 75,26; 75,27) |
| 21    | (76,28; 76,29; 76,30; 76,31) | (76,64; 76,65; 76,66; 76,67) | (76,81; 76,82; 76,83; 76,84) | (76,50; 76,51; 76,52; 76,53) | (76,57; 76,58; 76,59; 76,60) |
| 22    | (77,00; 77,01; 77,02; 77,03) | (76,38; 76,39; 76,40; 76,41) | (77,04; 77,05; 77,06; 77,07) | (78,06; 78,07; 78,08; 78,09) | (75,71; 75,72; 75,73; 75,74) |
| 23    | (76,64; 76,65; 76,66; 76,67) | (76,08; 76,09; 76,10; 76,11) | (76,69; 76,70; 76,71; 76,72) | (78,04; 78,05; 78,06; 78,07) | (76,59; 76,60; 76,61; 76,62) |
| 24    | (76,04; 76,05; 76,06; 76,07) | (78,09; 78,10; 78,11; 78,12) | (76,94; 76,95; 76,96; 76,97) | (77,80; 77,81; 77,82; 77,83) | (77,33; 77,34; 77,35; 77,36) |
| 25    | (76,34; 76,35; 76,36; 76,37) | (76,57; 76,58; 76,59; 76,60) | (73,26; 73,27; 73,28; 73,29) | (76,42; 76,43; 76,44; 76,45) | (76,62; 76,63; 76,64; 76,65) |

Gözlem değerlerinin YBS olarak ifade edilmesinden sonra kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle her bir örneklem grubunun ortalama ve değişim aralığı değerleri eşitlik 3.72 ve 3.73'e göre Çizelge 4.4'teki şekilde hesaplanır.

Toplam satırında gösterilen  $\tilde{\bar{x}} = \text{YBS}(76,81; 76,82; 76,83; 76,84)$  ve  $\tilde{\bar{R}} = \text{YBS}(1,86; 1,88; 1,90; 1,92)$  eşitlik 3.74 ve 3.75'ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra grafiklerin alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanmasına geçilir (Eşitlik 3.74-3.82) (Örneklem büyüklüğü 5 olduğu için  $A_2 = 0,577$  ;  $D_3 = 0$  ;  $D_4 = 2,114$  tür.).

$$\widetilde{\bar{U}KL}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} + A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 + A_2 \bar{r}_1, \mu_2 + A_2 \bar{r}_2, \mu_3 + A_2 \bar{r}_3, \mu_4 + A_2 \bar{r}_4) = \text{YBS}(77,88; 77,90; 77,92; 77,94)$$

$$\widetilde{M\bar{C}}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) = \text{YBS}(76,81; 76,82; 76,83; 76,84)$$

$$\widetilde{\bar{A}KL}_{\bar{x}} = \tilde{\bar{x}} - A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 - A_2 \bar{r}_4, \mu_2 - A_2 \bar{r}_3, \mu_3 - A_2 \bar{r}_2, \mu_4 - A_2 \bar{r}_1) = \text{YBS}(75,70; 75,72; 75,74; 75,76)$$

$$\widetilde{\bar{U}KL}_R = \tilde{\bar{R}} D_4 = (\bar{r}_1 D_4, \bar{r}_2 D_4, \bar{r}_3 D_4, \bar{r}_4 D_4) = \text{YBS}(3,93; 3,97; 4,01; 4,05)$$

$$\widetilde{M\bar{C}}_R = \tilde{\bar{R}} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3, \bar{r}_4) = \text{YBS}(1,86; 1,88; 1,90; 1,92)$$

$$\widetilde{\bar{A}KL}_R = \tilde{\bar{R}} D_3 = (\bar{r}_1 D_3, \bar{r}_2 D_3, \bar{r}_3 D_3, \bar{r}_4 D_3) = \text{YBS}(0; 0; 0; 0)$$

Çizelge 4.4: Ortalama ve değişim aralığı değerleri

| Örnek  | $\tilde{\bar{x}}$            | $\tilde{R}$              | $\tilde{\bar{x}}$<br>Kontrol Sonucu | $\tilde{R}$<br>Kontrol Sonucu |
|--------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1      | (77,05; 77,06; 77,07; 77,08) | (1,85; 1,87; 1,89; 1,91) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 2      | (76,70; 76,71; 76,72; 76,73) | (1,45; 1,47; 1,49; 1,51) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 3      | (76,65; 76,66; 76,67; 76,68) | (0,86; 0,88; 0,90; 0,92) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 4      | (76,97; 76,98; 76,99; 77,00) | (0,64; 0,66; 0,68; 0,70) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 5      | (76,47; 76,48; 76,49; 76,50) | (3,71; 3,73; 3,75; 3,77) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 6      | (76,82; 76,83; 76,84; 76,85) | (1,03; 1,05; 1,07; 1,09) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 7      | (77,16; 77,17; 77,18; 77,19) | (0,36; 0,38; 0,40; 0,42) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 8      | (76,97; 76,98; 76,99; 77,00) | (1,94; 1,96; 1,98; 2,00) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 9      | (77,13; 77,14; 77,15; 77,16) | (1,23; 1,25; 1,27; 1,29) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 10     | (76,15; 76,16; 76,17; 76,18) | (3,84; 3,86; 3,88; 3,90) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 11     | (76,98; 76,99; 77,00; 77,01) | (1,82; 1,84; 1,86; 1,88) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 12     | (76,96; 76,97; 76,98; 76,99) | (2,00; 2,02; 2,04; 2,06) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 13     | (77,08; 77,09; 77,10; 77,11) | (0,51; 0,53; 0,55; 0,57) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 14     | (76,77; 76,78; 76,79; 76,80) | (1,73; 1,75; 1,77; 1,79) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 15     | (76,97; 76,98; 76,99; 77,00) | (1,95; 1,97; 1,99; 2,01) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 16     | (77,10; 77,11; 77,12; 77,13) | (1,95; 1,97; 1,99; 2,01) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 17     | (77,41; 77,42; 77,43; 77,44) | (1,25; 1,27; 1,29; 1,31) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 18     | (75,97; 75,98; 75,99; 76,00) | (3,52; 3,54; 3,56; 3,58) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 19     | (77,23; 77,24; 77,25; 77,26) | (1,67; 1,69; 1,71; 1,73) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 20     | (76,71; 76,72; 76,73; 76,74) | (2,92; 2,94; 2,96; 2,98) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 21     | (76,56; 76,57; 76,58; 76,59) | (0,50; 0,52; 0,54; 0,56) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 22     | (76,84; 76,85; 76,86; 76,87) | (2,32; 2,34; 2,36; 2,38) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 23     | (76,63; 76,64; 76,65; 76,66) | (2,20; 2,22; 2,24; 2,26) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 24     | (77,24; 77,25; 77,26; 77,27) | (2,02; 2,04; 2,06; 2,08) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 25     | (75,84; 75,85; 75,86; 75,87) | (3,33; 3,35; 3,37; 3,39) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| TOPLAM | (76,81; 76,82; 76,83; 76,84) | (1,86; 1,88; 1,90; 1,92) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |

#### 4.4. Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi

Bulanık kontrol grafikleri ile sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu tespit edildikten sonra bulanık süreç yeterlilik analizine geçilmiştir.

Kontrol grafikleri için oluşturulan bulanık kurallar örneklemelere uygulandığında sürecin kontrol altında olduğu Çizelge 4.4'deki gibi belirlenmiştir (Eşitlik 3.83-3.85).

Bulanık süreç yeterlilik analizi yapılırken gerekli olan alt ve üst spesifikasyon limitleri uygulama içerisinde “yaklaşık” olarak ifade edilmiş ve YBS olarak gösterilmiştir.

$$\widetilde{USL} = \text{YBS } (77,89; 77,90; 77,91; 77,92)$$

$$\widetilde{ASL} = \text{YBS } (76,09; 76,10; 76,11; 76,12)$$

Bulanık yeterlilik değerlerinin hesaplanabilmesi için sürecin bulanık ortalama ve standart sapmasının bilinmesi gereklidir.  $\tilde{\bar{x}}$ -  $\tilde{R}$  kontrol grafikleri için bulanık ortalama ve standart sapma değerleri eşitlik 3.92 ve 3.93'e göre hesaplanmıştır. (Örneklem büyüklüğü 5 için  $d_2=2,326$ 'dır.)

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = \text{YBS} (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) = \text{YBS} (76,81; 76,82; 76,83; 76,84)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{R}}{d_2} = \frac{\frac{r_1}{d_2}, \frac{r_2}{d_2}, \frac{r_3}{d_2}, \frac{r_4}{d_2}}{d_2} = \text{YBS}(s_1, s_2, s_3, s_4) = \text{YBS} (0,80; 0,81; 0,82; 0,83)$$

Sürecin spesifikasyon limitleri, ortalama ve standart sapması artık bilindiğine göre, bulanık süreç yeterlilik indeksleri eşitlik 3.98-3.101'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\tilde{C}_p = \text{YBS} (0,3574; 0,3652; 0,3732; 0,3814)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \text{YBS} (0,4240; 0,4367; 0,4495; 0,4627)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \text{YBS} (0,2786; 0,2897; 0,3011; 0,3126)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \text{YBS} (0,2786; 0,2897; 0,3011; 0,3126)$$

Analiz sonucunda yeterlilik indekslerinin temsili değerlere dönüştürülmeden yorumlanabilmesi için, süreç yeterliliği için önerilen bulanık kural yöntemi uygulanmıştır (Eşitlik 3.102-3.103).

Bu kurallara göre yeterlilik indeksleri yorumlanacak olursa bütün değerlerin “yetersiz” olduğu anlaşılır. Bulanık yeterlilik indeksi  $\text{YBS} (x_1, x_2, x_3, x_4)$  olarak varsayılırsa,  $\tilde{C}_p = \text{YBS} (0,3574; 0,3652; 0,3732; 0,3814)$  sayısında  $x_4$  değeri (yani 0,3814) 1,33'ten küçük olduğu için süreç “yetersiz” kabul edilir.  $\tilde{C}_{pk} = \text{YBS} (0,2786; 0,2897; 0,3011; 0,3126)$  değerinde de  $x_4$  değeri (yani 0,3126) 1,33'ten küçük olduğu için süreç “yetersiz” kabul edilir. Son durumda ise sürecin yetersiz olduğuna karar verilmiştir. Süreç spesifikasyonlar içinde orantılı dağılmamıştır. Özellikle alt spesifikasyon limitini kullanma oranı çok yüksek olduğu için  $\tilde{C}_{pl}$  değeri daha düşük çıkmıştır.

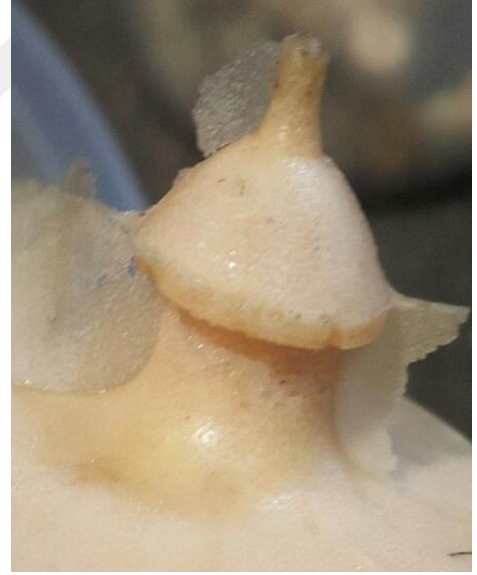
## 5. SÜREÇ İYİLEŞTİRMELERİ

Yapılan gözlemlere ve hesaplamalara göre üretilen süspansiyon takozları için süreç kontrol altında olmasına rağmen, süreç yeterliliği istenilen düzeyde değildir.  $\tilde{C}_p$  ve  $\tilde{C}_{pk}$  değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda üretim sürecinde köklü bazı değişikliklere ihtiyaç duyulduğu söylenebilir. Ortaya çıkan uygunsuzluklardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- a) Gövde oluklarında yırtılmalar,
- b) Füze kısmında kalıptan çıkartılırken oluşan yırtılmalar,
- c) Ürünün alt kısmında oluşan boşluklar,
- d) Ürünün genelinde meydana gelen hava kabarcığı boşlukları



Şekil 5.1: a uygunsuzluğu



Şekil 5.2: b uygunsuzluğu



Şekil 5.3: c ve d uygunsuzluğu

Bu uygunsuzlukların tamamı boyda değişimlere sebebiyet verebilmektedir. Bu belirtilen uygunsuzluklara çözüm olarak alternatif üretim yolları denendi ve aşağıda sayılan çözüm yolları sürece entegre edildi ve böylece sorunların büyük bir kısmına çözüm getirilmiş olundu.

- Süspansiyon takozunun füze gövdesi çapı artırıldı.
- Daha yüksek gramajla üretime geçildi.
- Ürün kapağındaki hava kanalları genişletildi.
- Füze uç kısmına ayrı bir hava kanalı açıldı.
- Kalıp ters çevrilerek tasarlandı.
- Kalıbın üst kısmındaki koniklik değerleri değiştirildi.

Süreçte yapılan bu değişiklik ve iyileştirmeler sonucunda ürün içindeki hava boşlukları en aza indirildi ve üründeki çatlamların önüne geçildi. Süreç iyileştirmeleri ayrıca ürün tabanının büyük bölümünde hava boşluğundan kaynaklı boy uygunsuzluğunu da giderdiği görüldü ve procesten alınan örneklerle ikinci bir ölçüm yapıldı.

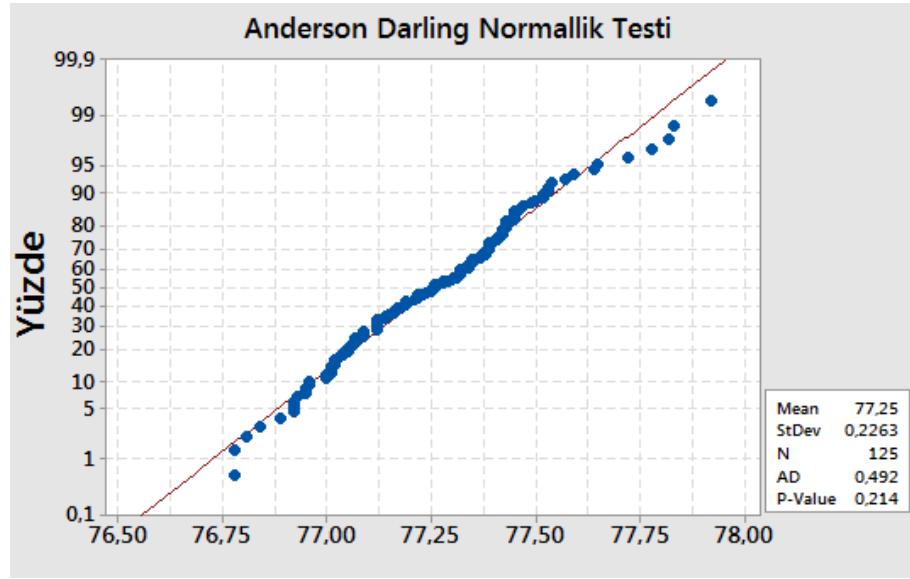
## 6. İYİLEŞTİRME SONRASI ÖLÇÜMLER

Yapılan süreç iyileştirmelerinden sonra elde edilen ölçüm değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge-6.1).

Çizelge 6.1: Süspansiyon takozu boy uzunluğu için ölçüm değerleri (mm)

| ÖRNEK | x1    | x2    | x3    | x4    | x5    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 77,22 | 77,45 | 76,78 | 77,83 | 77,47 |
| 2     | 76,92 | 77,42 | 76,95 | 77,04 | 77,17 |
| 3     | 77,39 | 77,54 | 77,21 | 77,12 | 77,12 |
| 4     | 77,41 | 77,04 | 77,39 | 77,12 | 77,28 |
| 5     | 77,19 | 76,89 | 77,38 | 77,78 | 77,19 |
| 6     | 77,01 | 77,32 | 77,02 | 77,46 | 77,28 |
| 7     | 77,09 | 76,92 | 77,34 | 77,09 | 77,18 |
| 8     | 77,32 | 77,00 | 77,22 | 77,22 | 77,16 |
| 9     | 77,17 | 77,57 | 77,35 | 77,06 | 77,26 |
| 10    | 76,96 | 77,43 | 77,64 | 77,25 | 77,14 |
| 11    | 77,12 | 77,39 | 77,25 | 77,09 | 77,23 |
| 12    | 77,01 | 76,92 | 76,96 | 77,26 | 77,15 |
| 13    | 77,52 | 77,05 | 77,31 | 77,82 | 77,45 |
| 14    | 76,84 | 77,01 | 77,39 | 77,30 | 77,09 |
| 15    | 77,12 | 77,31 | 77,29 | 77,72 | 77,17 |
| 16    | 77,07 | 77,16 | 77,12 | 77,26 | 77,37 |
| 17    | 77,42 | 77,38 | 77,49 | 77,00 | 77,92 |
| 18    | 77,42 | 77,43 | 77,14 | 77,43 | 77,19 |
| 19    | 77,41 | 77,59 | 77,02 | 76,81 | 77,06 |
| 20    | 77,52 | 77,02 | 77,53 | 77,42 | 77,43 |
| 21    | 77,45 | 77,65 | 77,35 | 77,37 | 77,38 |
| 22    | 77,34 | 77,50 | 77,53 | 77,07 | 77,35 |
| 23    | 77,24 | 77,40 | 76,78 | 77,34 | 77,32 |
| 24    | 77,32 | 77,12 | 77,03 | 77,07 | 77,05 |
| 25    | 77,39 | 77,45 | 77,33 | 76,93 | 76,95 |

Sürecin tekrar normal dağılıma uygunluk testi Anderson-Darling yardımıyla test edilir. Grafikte verilerin dağılış şeklinin ve p olasılık değerinin yorumlanmasıyla verilerin normal dağılıma uygunluğu tespit edilmiştir. p değeri belirlenen güvenilirlik düzeyinden, yani  $\alpha = 0,05$ 'ten (%95 güvenilirlik düzeyi), büyük olduğu takdirde hipotez kabul edilip normallik testini geçecektir. Minitab'da yapılan testin sonucunda p değeri,  $\alpha$  değerinden büyük olduğu için sürecin normal dağılıma uygun olduğu söylenir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: AndersonDarling normallik testi

Çizelge 6.2: Süspansiyon takozu boy uzunluğu için YBS olarak gözlem değerleri (mm)

| ÖRNEK | x1                           | x2                           | x3                           | x4                           | x5                           |
|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1     | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (77,44; 77,45; 77,46; 77,47) | (76,77; 76,78; 76,79; 76,80) | (77,82; 77,83; 77,84; 77,85) | (77,46; 77,47; 77,48; 77,49) |
| 2     | (76,91; 76,92; 76,93; 76,94) | (77,41; 77,42; 77,43; 77,44) | (76,94; 76,95; 76,96; 76,97) | (77,03; 77,04; 77,05; 77,06) | (77,16; 77,17; 77,18; 77,19) |
| 3     | (77,38; 77,39; 77,40; 77,41) | (77,53; 77,54; 77,55; 77,56) | (76,20; 76,21; 76,22; 76,23) | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) |
| 4     | (77,40; 77,41; 77,42; 77,43) | (77,03; 77,04; 77,05; 77,06) | (77,38; 77,39; 77,40; 77,41) | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,27; 77,28; 77,29; 77,30) |
| 5     | (77,18; 77,19; 77,20; 77,21) | (76,88; 76,89; 76,90; 76,91) | (77,37; 77,38; 77,39; 77,40) | (77,76; 77,77; 77,78; 77,79) | (77,18; 77,19; 77,20; 77,21) |
| 6     | (77,00; 77,01; 77,02; 77,03) | (77,01; 77,02; 77,03; 77,04) | (77,01; 77,02; 77,03; 77,04) | (77,45; 77,46; 77,47; 77,48) | (77,27; 77,28; 77,29; 77,30) |
| 7     | (77,08; 77,09; 77,10; 77,11) | (76,91; 76,92; 76,93; 76,94) | (77,33; 77,34; 77,35; 77,36) | (77,08; 77,09; 77,10; 77,11) | (77,17; 77,18; 77,19; 77,20) |
| 8     | (77,31; 77,32; 77,33; 77,34) | (76,99; 77,00; 77,01; 77,02) | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (77,15; 77,16; 77,17; 77,18) |
| 9     | (77,16; 77,17; 77,18; 77,19) | (77,56; 77,57; 77,58; 77,59) | (77,34; 77,35; 77,36; 77,37) | (77,05; 77,06; 77,07; 77,08) | (77,25; 77,26; 77,27; 77,28) |
| 10    | (76,95; 76,96; 76,97; 76,98) | (77,42; 77,43; 77,44; 77,45) | (77,63; 77,64; 77,65; 77,66) | (77,24; 77,25; 77,26; 77,27) | (77,13; 77,14; 77,15; 77,16) |
| 11    | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,38; 77,39; 77,40; 77,41) | (77,24; 77,25; 77,26; 77,27) | (77,08; 77,09; 77,10; 77,11) | (77,22; 77,23; 77,24; 77,25) |
| 12    | (77,00; 77,01; 77,03; 77,04) | (76,91; 76,92; 76,93; 76,94) | (76,95; 76,96; 76,97; 76,98) | (77,25; 77,26; 77,27; 77,28) | (77,14; 77,15; 77,16; 77,17) |
| 13    | (77,51; 77,52; 77,53; 77,54) | (77,04; 77,05; 77,06; 77,07) | (77,30; 77,31; 77,32; 77,33) | (77,81; 77,82; 77,83; 77,84) | (77,44; 77,45; 77,46; 77,47) |
| 14    | (76,83; 76,84; 76,85; 76,86) | (77,00; 77,01; 77,03; 77,04) | (77,38; 77,39; 77,40; 77,41) | (77,29; 77,30; 77,31; 77,32) | (77,08; 77,09; 77,10; 77,11) |
| 15    | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,30; 77,31; 77,32; 77,33) | (77,28; 77,29; 77,30; 77,31) | (77,71; 77,72; 77,73; 77,74) | (77,16; 77,17; 77,18; 77,19) |
| 16    | (77,06; 77,07; 77,08; 77,09) | (77,15; 77,16; 77,17; 77,18) | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,25; 77,26; 77,27; 77,28) | (77,36; 77,37; 77,38; 77,39) |
| 17    | (77,41; 77,42; 77,43; 77,44) | (77,37; 77,38; 77,39; 77,40) | (77,48; 77,49; 77,50; 77,51) | (76,99; 77,00; 77,01; 77,02) | (77,91; 77,92; 77,93; 77,94) |
| 18    | (77,41; 77,42; 77,43; 77,44) | (77,42; 77,43; 77,44; 77,45) | (77,13; 77,14; 77,15; 77,16) | (77,42; 77,42; 77,44; 77,45) | (77,18; 77,19; 77,20; 77,21) |
| 19    | (77,40; 77,41; 77,42; 77,43) | (77,58; 77,59; 77,60; 77,61) | (77,01; 77,02; 77,03; 77,04) | (76,80; 76,81; 76,82; 76,83) | (77,05; 77,06; 77,07; 77,08) |
| 20    | (77,51; 77,52; 77,53; 77,54) | (77,01; 77,02; 77,03; 77,04) | (77,52; 77,53; 77,54; 77,55) | (77,41; 77,42; 77,43; 77,44) | (77,42; 77,43; 77,44; 77,45) |
| 21    | (77,44; 77,45; 77,46; 77,47) | (77,64; 77,65; 77,66; 77,67) | (77,34; 77,35; 77,36; 77,37) | (77,36; 77,37; 77,38; 77,39) | (77,37; 77,38; 77,39; 77,40) |
| 22    | (77,33; 77,34; 77,35; 77,36) | (77,49; 77,50; 77,51; 77,52) | (77,52; 77,53; 77,54; 77,55) | (77,06; 77,07; 77,08; 77,09) | (77,34; 77,35; 77,36; 77,37) |
| 23    | (77,23; 77,24; 77,25; 77,26) | (77,39; 77,40; 77,41; 77,42) | (76,77; 76,78; 76,79; 76,80) | (77,33; 77,34; 77,35; 77,36) | (77,31; 77,32; 77,33; 77,34) |
| 24    | (77,31; 77,32; 77,33; 77,34) | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (77,02; 77,03; 77,04; 77,05) | (77,06; 77,07; 77,08; 77,09) | (77,04; 77,05; 77,06; 77,07) |
| 25    | (77,38; 77,39; 77,40; 77,41) | (77,44; 77,45; 77,46; 77,47) | (77,32; 77,33; 77,34; 77,35) | (76,92; 76,93; 76,94; 76,95) | (76,94; 76,95; 76,96; 76,97) |

Gözlem değerlerinin YBS olarak ifade edilmesinden sonra kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle her bir örneklem grubunun ortalama ve değişim aralığı değerleri eşitlik 3.72 ve 3.73'e göre Çizelge 6.3'teki şekilde hesaplanır.

Toplam satırında gösterilen  $\tilde{\bar{x}} = \text{YBS}(77,11; 77,12; 77,13; 77,14)$  ve  $\tilde{\bar{R}} = \text{YBS}(0,53; 0,55; 0,57; 0,59)$  eşitlik 74 ve 75'ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra grafiklerin alt ve üst kontrol limitlerinin hesaplanmasına geçilir (Eşitlik 3.74-3.82) (Örneklem büyüklüğü 5 olduğu için  $A_2 = 0,577$  ;  $D_3 = 0$  ;  $D_4 = 2,114$  tür.).

$$\widetilde{ÜKL}_{\bar{x}} = \text{YBS}(77,42; 77,44; 77,46; 77,48)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\bar{x}} = \text{YBS}(77,11; 77,12; 77,13; 77,14)$$

$$\widetilde{AKL}_{\bar{x}} = \text{YBS}(76,77; 76,79; 76,81; 76,83)$$

$$\widetilde{ÜKL}_R = \text{YBS}(1,12; 1,16; 1,20; 1,24)$$

$$\widetilde{MÇ}_R = \text{YBS}(0,53; 0,55; 0,57; 0,59)$$

$$\widetilde{AKL}_R = \text{YBS}(0; 0; 0; 0)$$

Çizelge 6.3: Ortalama ve değişim aralığı değerleri

| Örnek  | $\bar{\tilde{x}}$            | $\tilde{R}$              | $\bar{\tilde{x}}$<br>Kontrol Sonucu | $\tilde{R}$<br>Kontrol Sonucu |
|--------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1      | (77,34; 77,35; 77,36; 77,37) | (1,02; 1,04; 1,06; 1,08) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 2      | (77,09; 77,10; 77,11; 77,12) | (0,47; 0,48; 0,49; 0,50) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 3      | (77,07; 77,08; 77,09; 77,10) | (1,30; 1,32; 1,34; 1,36) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 4      | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (0,34; 0,36; 0,38; 0,40) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 5      | (77,27; 77,28; 77,29; 77,30) | (0,85; 0,87; 0,89; 0,91) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 6      | (77,15; 77,16; 77,17; 77,18) | (0,42; 0,44; 0,46; 0,48) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 7      | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (0,39; 0,40; 0,42; 0,44) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 8      | (77,17; 77,18; 77,19; 77,20) | (0,29; 0,31; 0,33; 0,35) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 9      | (77,27; 77,28; 77,29; 77,30) | (0,48; 0,50; 0,52; 0,54) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 10     | (77,27; 77,28; 77,29; 77,30) | (0,65; 0,67; 0,69; 0,71) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 11     | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (0,27; 0,29; 0,31; 0,33) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 12     | (77,05; 77,06; 77,08; 77,09) | (0,31; 0,33; 0,35; 0,37) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 13     | (77,42; 77,43; 77,44; 77,45) | (0,74; 0,76; 0,78; 0,80) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 14     | (77,12; 77,13; 77,14; 77,15) | (0,53; 0,54; 0,56; 0,58) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 15     | (77,31; 77,32; 77,33; 77,34) | (0,57; 0,59; 0,61; 0,63) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 16     | (77,19; 77,20; 77,21; 77,22) | (0,27; 0,29; 0,31; 0,33) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 17     | (77,43; 77,44; 77,45; 77,46) | (0,89; 0,91; 0,93; 0,95) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 18     | (77,31; 77,32; 77,33; 76,34) | (0,26; 0,28; 0,30; 0,32) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 19     | (77,17; 77,18; 77,19; 77,20) | (0,75; 0,77; 0,79; 0,81) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 20     | (77,37; 77,38; 77,39; 77,40) | (0,48; 0,50; 0,52; 0,54) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 21     | (77,43; 77,44; 77,45; 77,46) | (0,27; 0,29; 0,31; 0,33) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 22     | (77,35; 77,36; 77,37; 77,38) | (0,43; 0,45; 0,47; 0,49) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 23     | (77,21; 77,22; 77,23; 77,24) | (0,59; 0,61; 0,63; 0,65) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 24     | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (0,26; 0,28; 0,30; 0,32) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| 25     | (77,20; 77,21; 77,22; 77,23) | (0,40; 0,51; 0,53; 0,55) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |
| TOPLAM | (77,11; 77,12; 77,13; 77,14) | (0,53; 0,55; 0,57; 0,59) | Kont. Altında                       | Kont. Altında                 |

Kontrol grafikleri için oluşturulan bulanık kurallar örneklemelere uygulandığında sürecin kontrol altında olduğu Çizelge 6.3'teki gibi belirlenmiştir (Eşitlik3.83-3.85).

Bulanık süreç yeterlilik analizi yapılırken gerekli olan alt ve üst spesifikasyon limitleri uygulama içerisinde “yaklaşık” olarak ifade edilmiş ve YBS olarak gösterilmiştir.

$$\widetilde{USL} = \text{YBS} (77,89; 77,90; 77,91; 77,92)$$

$$\widetilde{ASL} = \text{YBS} (76,09; 76,10; 76,11; 76,12)$$

Bulanık yeterlilik değerlerinin hesaplanabilmesi için sürecin bulanık ortalama ve standart sapmasının bilinmesi gereklidir.  $\bar{x}$  - R kontrol grafikleri için bulanık ortalama ve standart sapma değerleri eşitlik3.92 ve 3.93'e göre hesaplanmıştır. (Örneklem büyüklüğü 5 için =2,326'dır.)

$$\tilde{\mu} = \text{YBS} (77,11; 77,12; 77,13; 77,14)$$

$$\tilde{\sigma} = \text{YBS} (0,2278; 0,2364; 0,2450; 0,2536)$$

Sürecin spesifikasyon limitleri, ortalama ve standart sapması artık bilindiğine göre, bulanık süreç yeterlilik indisleri Eşitlik 3.98 -3.101 'e göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tilde{C}_p = \text{YBS} (1,1632; 1,2179; 1,2761; 1,3389)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \text{YBS} (0,9595; 1,0476; 1,1139; 1,1852)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \text{YBS} (1,3012; 1,3741; 1,4523; 1,5364)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \text{YBS} (0,9595; 1,0476; 1,1139; 1,1852)$$

Görüldüğü üzere  $\tilde{C}_p$  'deki  $x_4$  değeri 1,33'ten büyük çıkmıştır. Fakat  $x_1$  değeri 1,33'ten küçük çıkmıştır. Bu aşamada yeterlilik indeksinin 1,33'ü ne oranda aştığına bakmamız gerekir.

$$\frac{x_4 - 1,33}{x_4 - x_1} = \frac{1,33 - 1,3389}{1,3389 - 1,1632} = 0,0506$$

Sürecimiz yetersiz olmaktan çıkmış ve yukarıda çıkan 0,0506 değerinden anlaşıldığı gibi kısmen tatmin edici duruma gelmiştir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstatistiksel teknikler süreç kalite kontrolünde oldukça etkin bir rol oynamaktadırlar. Süreç, istenilen kalite seviyesinde çıktı üretebilmesi için istatistiksel teknikler ile kontrol edilmelidir. Süreç çıktılarının istenilen seviyede olmaması durumunda ise yine bu teknikler yardımıyla analizler gerçekleştirilmekte ve kaliteyi olumsuz etkileyen faktörler belirlenerek ortadan kaldırılmaktadır. Süreç çıktılarının kalitesi kontrol edilirken kullanılan en etkin tekniklerden biri kontrol diyagramlarıdır. Kalite karakteristiğine ait nicel veya nitel değerler için hazırlanan kontrol diyagramları sürece ait değişkenliği ortaya koymakta ve bu değişkenlikte meydana gelen hareketlilikleri izlemektedir. Eğer sürecin sahip olduğu değişkenlik sürecin doğasında var olan değişkenlik nispetinde belirlenen limitler arasında ise süreç kontrol altında kabul edilmekte aksi takdirde ise sürecin kontrol dışında olmasına yol açan sebepler araştırılmaktadır. Böylece sürecin kalitesi sürekli bir iyileştirmeye tabi tutulmaktadır.

Süreç çıktılarının kalitesi analiz edilirken kullanılan diğer bir önemli teknik ise süreç yeterlilik analizidir. Süreç yeterlilik analizi özellikle son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılan ve süreç performansını özetleyen bir istatistiksel analizdir. Bu analiz süreç içerisinde gerçekleşen değişimin miktarını ortaya koymaktadır. Bu analiz sonucunda elde edilen ve süreç yeterlilik indeksleri olarak adlandırılan istatistiksel değerler, sürecin dağılımı, yerleşimi, genişliği, ürettiği kusurlu ve kusursuz çıktı yüzdesi gibi sürece ait oldukça yararlı bilgileri bir özet istatistik olarak sunmaktadır. Aynı zamanda bu değerler, ürün tasarımında da kullanılarak tasarım mühendislerinin ortaya koydukları tasarımların, müşteri beklentilerini daha fazla karşılamalarına imkân sağlarlar. Elde edilen bu istatistiksel değerlerden hareketle, sürecin spesifikasyonları karşılamada ki başarısı veya başarısızlığı tanımlanabilmekte ve sürecin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Süreç yeterlilik indekslerinin periyodik olarak hesaplanması süreç kalitesinin sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesine de imkân tanımaktadır.

Süreç çıktılarının istenilen kalite seviyesinde olabilmesi için, sürecin en uygun kontrol diyagramı ile kontrol edilmesi, doğru bir şekilde yorumlanması ve istatistiksel olarak kontrol altında olduktan sonra süreç yeterlilik değerlerinin

hesaplanarak süreç değişkenliğinin kontrol edilmesi gerekir. Kontrol diyagramları süreç içerisinde gerçekleşen değişim ile ilgilenirken, süreç yeterlilik indeksleri ise belirlenen spesifikasyon limitlerine göre bu değişimin büyüklüğünü ortaya koyarak süreç kalitesinin geliştirilmesine imkân sağlarlar. Bu anlamda işletmelerin istenilen kalite seviyesinde çıktı üretebilmeleri için süreç yeterlilik analizini uygulamaları ve sürece ait yeterlilik değerlerini elde ederek doğru bir şekilde yorumlamaları ve belli periyotlar dâhilinde bu işlemleri yinelemeleri önemlidir.

Süreç yeterlilik indeksleri süreç kalitesinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için çok etkin teknikler olmalarına rağmen özellikle parametrelerinin tanımlanmasından kaynaklanan bazı kısıtları vardır. Özellikle süreç yeterlilik analizinin en temel parametreleri olan spesifikasyon limitleri, ortalama, varyans ve kalite karakteristiğine ait ölçümlerin daha esnek tanımlanması süreç yeterlilik indekslerinin etkilerini arttıracaktır. Ayrıca bazı durumlarda bu parametreleri tam olarak kesin bir değer olarak ifade etmekte mümkün olamamaktadır. Ölçüm sistemi, örnek alma zorluğu, hassas ölçüm aletleri, ölçüm hataları, zaman, maliyet gibi kısıtlardan dolayı kesin bir değer elde etmektense yaklaşık bir değer kullanmak daha avantajlı olabilmektedir. Bu tür durumlar için süreç yeterlilik analizinin verdiği sonuçların bazı düzenlemeler yapılarak daha etkin ve esnek olması mümkündür. Tanımlamadaki bu zorlukların üstesinden gelebilmek için kullanılabilecek en etkin teknik bulanık küme yaklaşımıdır.

Klasik kümelerdeki kesinlik kavramı, hem tanımlama hem de modelleme açısından pek çok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için, 1965 yılında Zadeh tarafından “bulanık mantık” kavramı ortaya konulmuştur. Bulanık mantık felsefesi ile ortaya konulan bu yaklaşım kısa sürede istatistik, kalite kontrol, karar verme, optimizasyon, maliyetlendirme... v.b. birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımının süreç yeterlilik analizi ile beraber kullanılması, yukarıda bahsedilen süreç yeterlilik indeksleri için kısıtlamalar yaratan durumların ortadan kaldırılmasına, süreç yeterlilik indekslerinin bilgi içeriğinin ve hassasiyetinin artmasına imkân sağlayacaktır. Örneğin spesifikasyon limitleri bulanık olarak yani kesin bir değer yerine, daha hassas bir aralığı kapsayacak şekilde, “arasında”, “yaklaşık olarak” şeklindeki ifadelerle tanımlanabilir. Ayrıca sürece ait ortalamanın ve varyansın istatistiksel karakteristiklerinden yararlanılarak bu değerler için bulanık üyelik fonksiyonları da

elde etmek mümkündür. Bu değerlerin ve spesifikasyon limitlerinin bulanık olarak değerlendirilmesi yeterlilik indekslerinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına imkân sağlayacaktır. Geleneksel analizden farklı olarak bulanık analiz sonuç olarak tek bir değer vermeyecek, süreç yeterlilik indekslerinin sahip olabileceği tüm değerleri belli olabilirlik değerleri ile verecek ve böylece daha geniş bir değerlendirme imkânı sunacaktır.

Süreç yeterlilik indekslerinin bulanık olarak analiz edilmesi sırasında karşılaşılabilecek bir diğer durum ise kalite karakteristiğine ait gözlem değerlerinin bulanık olarak ifade edilmesidir. Gözlenen değerler gerek ölçüm sisteminden gerekse zaman, maliyet gibi diğer bazı sebeplerden dolayı bulanık olarak ifade edilebilir. Bulanık olarak ifade edilen bu gözlem değerleri için süreç yeterlilik analizi gerçekleştirilirken ilk aşamada sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup/olmadığının analiz edilmesi gerekir. Bunun içinde klasik kontrol diyagramları yerine bulanık kontrol diyagramları kullanılmalıdır. İstatistiksel kontrol için bulanık kontrol diyagramının kullanılması da sürecin kontrol durumlarının daha geniş ve esnek bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağlayacaktır. Süreç kontrol altında olduktan sonra, bulanık gözlem değerlerinden elde edilen bulanık ortalama, bulanık standart sapma değerleri bulanık spesifikasyon limitleri ile beraber dikkate alınarak bulanık yeterlilik indeksleri elde edilebilir. Elde edilen bu yeterlilik değerleri klasik değerlerden farklı olarak tek bir değer içermeyecek, tüm olası değerleri belli olabilirlik değerleri ile ortaya koyacaktır. Böylece daha fazla bilgi içeren, daha esnek ve hassas yeterlilik indeksleri elde edilecektir. Bu sonuçlar yorumlama ve değerlendirme aşamasında önemli avantajlar sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abdolshah, M.2013. A Fuzzy Taguchi loss-based process capability index. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 303-318.
- Chen, K.S. and Chen, T.W. 2008. Multi-process capability plot and fuzzy inference evaluation, *International Journal of Production Economics*, 111(1), 70-79.
- Chen, C., Chen, K. and Lin, J. 2003. Fuzzy Evaluation of Process Capability for Bigger-the-Best Type Products, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 820-826.
- Chen, T.W., Lin, J.Y. and Chen, K.S. 2003b. Selecting a supplier by fuzzy evaluation of capability indices Cpm, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22, 534-540.
- Chen, C. C., Lai, C. M. and Nien H.Y. 2010. Measuring Process Capability Index Cpm with Fuzzy Data. *Quality ve Quantity*, 162-175.
- Chou, T. Y. and Liang, G. S. 2001, “Application of A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Shipping Company Performance Evaluation”, *Maritime Policy ve Management*, Vol. 28, No : 4, pp.375-392.
- Elevli, S. 2015. Kalite Kontrol, 53
- Glbay, M., Kahraman, C and Ruan, D. 2004. A-Cuts Fuzzy Control Charts For Linguistic Data. *International Journal of Intelligent Systems*, 19, 1173–1195.
- Hsu, B.M. and Shu, M.H. 2008. Fuzzy inference to asses smanufacturing process capability with imprecise data, *European Journal of Operational Research*, 186(2), 652-670.
- Kahraman, C. ve Kaya, İ. 2009. Fuzzy process capability indices for quality control of irrigationwater, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(4), 451–462.
- Kahraman, C. ve Kaya, İ. 2007b. Fuzzy process capability indices for quality control of irrigation water, *The First International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, September 25–26, 2007, Shanghai, China, 144–149.
- Kane, V. E.1986. Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, 41-52.
- Kaya, İ. 2010. Altı Sigma Yaklaşımında Bulanık Süreç Yeterliliği Analizleri. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, İ. 2017. An Overview of The Fuzzy Sets on Process Capability Analysis, 10th Research/Expert Conference with International Participations.
- Kaya, İ. ve Kahraman, C. 2007. Air pollution control using six sigma approach, *The First International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, September 25–26, 2007, Shanghai, China, 110–115.
- Kaya, İ. ve Kahraman, C. 2010. Fuzzy Process Capability Analyses: An application to Teaching Process. *Journal of Intelligent ve Fuzzy Systems*, 259-272.

- Kaya, İ. ve Kahraman, C. 2009. Fuzzy robust process capability indices for risk assessment of airpollution, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(4), 529–541.
- Kaya, İ. ve Kahraman, C. 2011. Process Capability Analyses Based on Fuzzy Measurements and Fuzzy Control Charts. *Expert Systems with Applications*, 3172-3184.
- Kaya, İ.,ve Kahraman, C. 2011. Process capability analyses with fuzzy parameters. *Expert Systems with Applications*,11918-11927.
- Kaylan, A. 2017. Endüstri Mühendisliğine Giriş. *Papatya Yayıncılık Eğitim*, 189, Türkiye
- Kosko, B. 1993, Fuzzy Thinking: The New Science of FuzzyLogic, *Reason Papers*.
- Lee, H.T. and Chen, S.H. 2002. Using Cpk index with fuzzy numbers to evaluate service quality, *International Transactions in Operations Research*, 9, 719–730.
- Lee, H. T. 2001. Cpk Estimation Using Fuzzy Numbers. *European Journal of Operational Research*, 683-688.
- Lee, H. ,Wei, C. and Chang, C. 1999. Fuzzy Design of Process Tolerances to Maximise Process Capability, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 655-659.
- Moeti, M.T., Mashinchi, M. and Parchami, A. 2007. One-sided process capability indices and fuzzy lower confidence bounds for them, *First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems*, Ferdowsi University of Mashhad, , 1-8, Iran.
- Montgomery, D.C. 2005. *Introduction to statistical quality control*, Wiley, New York.
- Parchami, A. and Mashinchi, M. 2007. Fuzzy estimation for process capability indices, *Information Sciences*, 177, 1452-1462.
- Parchami, A.,Mashinchi, M. and Maleki, H. R. 2006. Fuzzy Confidence Interval for Fuzzy Process Capability Index. *Journal of Intelligent ve Fuzzy Systems*, 287-295.
- Parchami, A., Mashinchi, M., Yavari, A.R. and Maleki, H.R. 2005. Process capability indices as fuzzy numbers, *Austrian Journal of Statistics*, 34 (4), 391–402.
- Ramezani, Z., Parchami, A. and Mashinchi, M. 2007. Fuzzy confidence regions for the Taguchi index in fuzzy process, *First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems Ferdowsi University of Mashhad*, Iran, 29-31 Aug 2007, 1-6.
- Sanchez, J. and Gomez, A. T. 2003. “Applications of Fuzzy Regression in Actuarial Analysis”, *The Journal of Risk and Insurance*, Vol. 70, No : 4, pp. 665-699.
- Soysal, H. 2014. Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi ve Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, H., Aydoğan, H., Özcan, S. ve Eti, S. 2018. Fazi Kontrol Grafikleri ile Klasik Kontrol Grafiklerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Deneme. *Journal of Research in Business*, 150-173.

- Tsai, C.C. and Chen, C.C. 2006. Making decision to evaluate process capability index  $C_p$  with fuzzy numbers, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30, 334–339.
- Wu, C.W. 2009. Decision-making in testing process performance with fuzzy data, *European Journal of Operational Research*, 193(2), 499-509.
- Xie, M., Tsui, K.L., Goh, T.N. and Cai, D.Q. 2002. Process capability indices for a regularly adjusted process, *International Journal of Production Research*, 40(10), 2367-2377.
- Yongting, C. 1996. Fuzzy quality and analysis on fuzzy probability. *Fuzzy Sets Systems*, 83, 283-290.
- Zadeh, L., A. 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 338-353.
- Zadeh, L., A. 1999. Fuzzy Sets as A Basis for a theory of Possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 9-34



## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Burçe Selçukoğlu  
Doğum Yeri : Meram/ Konya  
Doğum Tarihi : 08.10.1988  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Samsun Atatürk Anadolu Lisesi (2006)  
Lisans : Selçuk Üniversitesi (2010)  
Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi (2019)

### Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

İş Bankası (2011)  
Thy (2013)  
Giacomini Unival (2015)