

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ASKERİ ARAÇLARDA SÜSPANSİYON SİSTEMİ KROM KAPLAMA
ÇAP ÖLÇÜMÜ BULANIK SÜREÇ KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

YEŞİM AKALIN

ANKARA-2020

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KALİTE MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ASKERİ ARAÇLARDA SÜSPANSİYON SİSTEMİ KROM KAPLAMA
ÇAP ÖLÇÜMÜ BULANIK SÜREÇ KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

YEŞİM AKALIN

TEZ DANIŐMANI

DOÇ. DR. KUMRU DİDEM ATALAY

ANKARA-2020

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Yeşim AKALIN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 10 / 01 / 2020

Tez Adı: ASKERİ ARAÇLARDA SÜSPANSİYON SİSTEMİ KROM KAPLAMA ÇAP ÖLÇÜMÜ BULANIK SÜREÇ KONTROLÜ

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Doç. Dr. Canan HAMURKAROĞLU, Karabük Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER, Başkent Üniversitesi



Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY, Başkent Üniversitesi



ONAY

Prof. Dr. ÖMER FARUK ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: .. / .. / 2020

Öğrencinin Adı, Soyadı: Yeşim AKALIN

Öğrencinin Numarası: 21720561

Anabilim Dalı: Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY

Tez Başlığı: ASKERİ ARAÇLARDA SÜSPANSİYON SİSTEMİ KROM KAPLAMA
ÇAP ÖLÇÜMÜ BULANIK SÜREÇ KONTROLÜ

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 43 sayfalık kısmına ilişkin, 27 / 01 / 2020 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %3'dür.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

Tarih: ... / ... / 2020

Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY



Bu tezi Sevgili ailem Hayri & Sevda AKALIN ve biricik kardeşim Hazal AKALIN'a ithaf ediyorum.

Yeşim AKALIN

Ankara – 2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi çalışmamın her aşamasında, her ders döneminde olduğu gibi benden her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, değerli katkı ve eleştirileriyle çalışmama yön veren, teknik bilgi ve tecrübeleriyle kalite mühendisliği alanında kendimi geliőtirmemi sağlayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY'A

Tez savunmama katılarak değerli yorum ve değerlendirmeleri ile çalışmama katkıda bulunan jüri üyeleri Doç. Dr. Canan HAMURKAROĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER'E

Her koşulda sabırla ve sevgiyle yanımda olan değerli ailem Hayri & Sevda AKALIN ve biricik kardeşim Hazal AKALIN'A teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Yeşim AKALIN

ASKERİ ARAÇLARDA SÜSPANSİYON SİSTEMİ KROM KAPLAMA ÇAP ÖLÇÜMÜ BULANIK SÜREÇ KONTROLÜ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

Askeri araçların kullanım alanları bakımından zorlu arazi koşullarına dayanıklı olabilmeleri için etkili, kullanışlı ve aracı yol şartlarında aldığı darbelerden koruyabilecek yağ içeren süspansiyon sistemlerine sahip olmaları gerekmektedir. Kullanılan bu endüstriyel yağ zaman zaman paslanma ve korozyona sebep olmaktadır. Bunu önlemek için amortisör millerine krom kaplama uygulanmaktadır. Bu krom kaplama sürecinin ardından, silindirik parçaların çap ölçümleri yapılmakta ve alınan sonuçlar spesifikasyon limitlerine göre büyük olursa, silindirlerin mekanizmasına geçmemesinden, küçük olursa da mekanizma içinde boşluklu yapı oluşmasından dolayı, süspansiyon sistemi mekanizmasında sorunlar meydana getirmektedir. Silindirik parçaların çaplarının spesifikasyon limitleri içinde bulunması ve bu limitlerin etkin ve doğru bir şekilde belirlenmesi önemli bir sorundur. Alınan ölçüm değerlerinin uygunluk seviyesini inceleyebilmek, mümkünse artırabilmek ve sürecin sonraki aşamalarda iyileştirilebileceğini göz ardı etmemek için daha esnek sonuçlar elde edebilmek adına bulanık mantık kavramından yararlanılmıştır. Bu çalışmada, bulanık kontrol kartları kullanılarak çözümlenmeler yapılmış ve uygun değerler üyelik fonksiyonlarıyla saptanmıştır. Bu sayede gereksiz yeniden işleme ve gecikme maliyetlerinden kaçınılmıştır. Sürecin gidişatı bulanık kontrol kartından izlenmiş ve olası durumlar incelenerek, iyileştirmeler planlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Bulanık Mantık, Üyelik Fonksiyonu, Kalite Kontrol Grafiği, Üçgensel Bulanık Sayı, Süreç Kontrol

ABSTRACT

Yeşim AKALIN

MILITARY VEHICLES SUSPENSION SYSTEM CHROME PLATED DIAMETER MEASUREMENT FUZZY PROCESS CONTROL

Başkent University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Quality Engineering

2020

In order to be able to, withstand tough terrain conditions, military vehicles must have effective, useful and oil-containing suspension systems that can protect the vehicle from impacts in road conditions. This industrial oil used occasionally causes corrosion. To prevent this, chrome plating process is applied to the shock absorber shafts. After this chrome plating process, diameter measurements are made. As a result of this measurements if the diameter of the cylindrical part is large according to the specifications limit, it does not exceed the cylinder assembly, and if it is small, it forms a hollow structure within the mechanism. This previous cases are causes problems in the suspension systems. However, these specifications limits need to be determined effectively and accurately in accordance with process requirements. This fuzzy logic study was carried out to examine the tolerability level of the measured values, to increase if possible and to improve the process in later stages. In this study, tolerable values were determined by membership functions and unnecessary reprocessing and delay costs were avoided. The course of the process was monitored from the fuzzy quality control chart and possible situations were not ignored and improvements were planned.

KEYWORDS: Fuzzy Logic, Membership Functions, Quality Control Chart, Triangular Fuzzy Number, Process Control

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında askeri araçlarda süspansiyon sisteminde krom kaplama çap ölçümleri için bulanık süreç kontrolü çalışması yapılmıştır. Tez çalışmasında alınan veriler ölçülebilen ve sayılar ile ifade edilebilen türden oldukları için sürekli değişkenler için kullanılan kalite kontrol kartları kullanılmıştır. Bu çalışmada kartlar üçgensel üyelik kullanılmıştır.

Bu çalışmanın her aşamasında yardımını, desteğini ve değerli eleştirilerini esirgemeyen Başkent Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY tezin geliştirilmesi sürecinde ve mesleki ilerlememde büyük katkı sağlamıştır kendisine teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|------|
| TEŞEKKÜR | |
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| ÖNSÖZ | iii |
| İÇİNDEKİLER..... | iv |
| TABLOLAR LİSTESİ | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | viii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Araçlarda Süspansiyon Sistemleri | 1 |
| 1.1.1 Süspansiyon sistemi silindirik parça (amortisör mili) ve krom kaplama ... | 3 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI..... | 5 |
| 3. ÖLÇME TEKNİKLERİ VE ÖLÇÜM ESASLARI | 7 |
| 3.1. Ölçme..... | 7 |
| 3.2. Ölçüm Esasları | 8 |
| 3.3. Ölçme Çeşitleri | 8 |
| 3.4. Ölçmede Hatalar | 9 |
| 3.4.1. Cihaz ya da sistem içi hatalar | 10 |
| 3.4.2. Cihaz ya da sistem dışı hatalar | 11 |
| 3.4.3. Rastlantı hataları | 11 |
| 4. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL | 12 |
| 4.1. İstatistiksel Süreç Kontrol Teknikleri..... | 12 |
| 4.2. Süreç Yeterlilik Analizi | 12 |
| 5. KONTROL KARTLARI | 14 |
| 5.1. Sürekli Değişkenler İçin Kontrol Kartları..... | 15 |
| 5.1.1. \bar{X} ve R kontrol kartları | 16 |
| 5.1.2. $\bar{X} - S$ kontrol kartları | 16 |
| 5.2. Kesikli Değişkenler İçin Kontrol Kartları | 17 |
| 5.2.1. p kontrol kartları..... | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2.2. <i>np</i> kontrol kartları | 18 |
| 5.2.3. <i>c</i> kontrol kartları | 18 |
| 5.2.4. <i>u</i> kontrol kartları..... | 19 |
| 6. BULANIK MANTIK..... | 20 |
| 6.1. Bulanık Mantık Tarihçe ve Uygulama Alanları..... | 21 |
| 6.2. Bulanık Kümeler | 22 |
| 6.2.1. Üyelik fonksiyonları..... | 23 |
| 7. BULANIK KONTROL KARTLARI | 28 |
| 7.1. Kontrol Kartları İçin Direkt Bulanık Yaklaşım | 28 |
| 8. UYGULAMA | 32 |
| 9. SONUÇ | 42 |
| KAYNAKLAR..... | 44 |
| EKLER | |

EK 1: Kontrol Kartları Katsayıları (Faktörleri)

TABLULAR LİSTESİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Tablo 8.1. Süspansiyon Sistemi Amortisör Mili Çap Ölçümleri. | 32 |
| Tablo 8.2. Amortisör Mili Çap Ölçümleri Üçgensel Bulanık Sayı Gözlem Değerleri. | 34 |
| Tablo 8.3. Amortisör Mili Çap Ölçüm Değerleri Bulanık X Kontrol Kartı..... | 35 |
| Tablo 8.4. Amortisör Mili Çap Ölçümleri İçin Bulanık Maksimum ve Minimum Değerleri | 36 |
| Tablo 8.5. Amortisör Mili Çap Ölçüm Değerleri Bulanık R Kontrol Kartı..... | 37 |
| Tablo 8.6. Amortisör Mili Çap Ölçümleri Ortalama ve Değişim Aralığı Değerleri ile Kontrol Sonuçları..... | 38 |
| Tablo 8.7. Amortisör Mili Çap Ölçüm Değerleri Bulanık $X - R$ Kontrol Kartı Karar Tablosu..... | 39 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 1.1. Paletli Araç Modeli | 2 |
| Şekil 1.2. Silindiriklik Toleransı | 3 |
| Şekil 4.1. Süreç Yeterlilik Analizi Durum Tipleri. | 12 |
| Şekil 5.1. Kontrol Kartı ve Noktaların Dağılıma Yüzdeleri..... | 15 |
| Şekil 6.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu. | 24 |
| Şekil 6.2. Simetrik Üçgensel Üyelik Fonksiyonu | 24 |
| Şekil 6.3. Yamuk Üyelik Fonksiyonu | 25 |
| Şekil 6.4. Gaussian Üyelik Fonksiyonu | 25 |
| Şekil 6.5. Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu | 26 |
| Şekil 6.6. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu..... | 27 |
| Şekil 6.7. S Üyelik Fonksiyonu..... | 27 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-----|--------------------------|
| AKL | Alt Kontrol Limit |
| ASL | Alt Spesifikasyon Limiti |
| MÇ | Merkezi Çizgi |
| ÜKL | Üst Kontrol Limit |
| ÜSL | Üst Spesifikasyon Limiti |

1. GİRİŞ

Askeri araçların süspansiyon sistemlerindeki amortisör mili adlı silindirik parçanın krom kaplama işleminde, uygulanan kaplamanın ardından alınan çap ölçümü değerleri, kontrol ve spesifikasyon limitleri dışında olursa sorunlar oluşur. Bu sorunlar, silindirin mekanizmasına geçmemesinden dolayı veya mekanizma içinde boşluklu yapı oluşmasından kaynaklanır. Belirtilen durumların meydana gelmesi, yeniden işleme süreçlerine ve ek maliyetlere sebep olabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı ise, bu silindirik parçaya uygulanan krom kaplama işleminin ardından yapılan çap ölçümlerinde kontrol dışı görünen ölçüm değerlerinin, bulanık kontrol kartları kullanılarak uygunluk seviyesini inceleyebilmek, sürecin sonraki aşamalarda iyileştirilebileceğini göz ardı etmemek ve gereksiz yeniden işleme süreçleriyle birlikte ek maliyetlerden kaçınmaktır.

Çap ölçümlerinde kullanılan kontrol kartlarının zamana ve sürecin gereksinimlerine uyum sağlaması gerekmektedir. Gerçek hayat problemlerinde karşılaşılan ölçüm eksiklikleri ve belirsizliklerini gideren bulanık mantık yaklaşımı üyelik fonksiyonları yardımıyla oluşturulan süreç analizi daha uygun sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, bulanık kontrol kartları kullanılarak çap ölçümlerinin bulanık süreç kontrolü yapılmıştır.

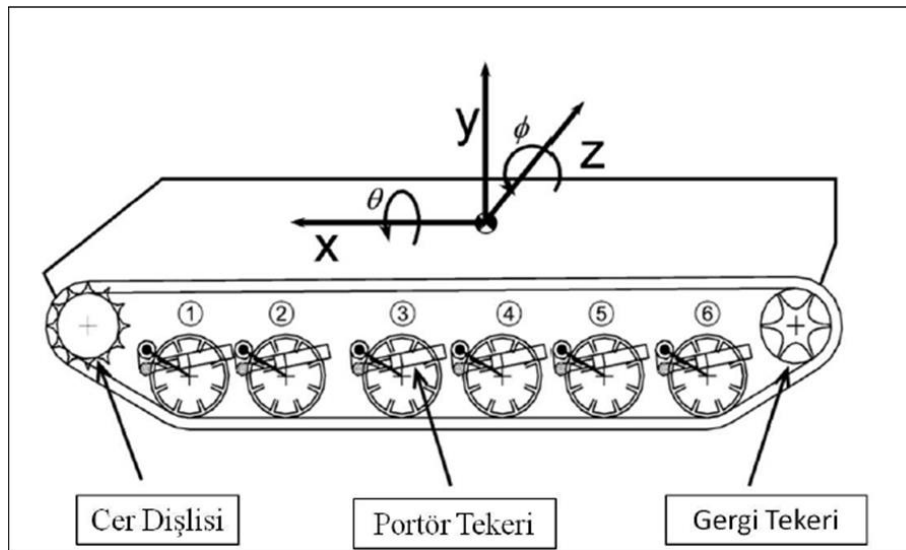
1.1. Araçlarda Süspansiyon Sistemleri

Süspansiyon sistemi araçlarda yoldan gelecek olan darbeleri sönmüleme ve araç manevraları sonucunda ortaya çıkan kuvvetleri doğru yönlendirerek sürüş kalitesini ve konforunu arttırma amacıyla kullanılan sistemlere verilen isimdir. Süspansiyon sistemleri, yoldan gelen darbeleri titreşime dönüştürerek sönmümler, araç manevrası sırasında savrulmayı engeller ve bunun yanında araçların yol tutuş kapasitelerini lastiklerde bulunan sürtünme oranını arttırarak sağlar. Süspansiyon sistemleri tekerlek ile şasi arasına yerleştirilmiştir. Bu yapıların sistemsel fonksiyonları, sürüş esnasında lastiklerle birlikte çalışarak yoldan lastiğe iletilen yükleri, salınımları, ani şokları sönmümlerle yumuşatır. Böylece, yolcu, taşıyan yükü, şasiyi ve kaportayı çevresel etkilerden korumuş olur. Aks üzerindeki gövde ile tekerlek arasındaki uygun geometrik ilişkiyi koruyarak, aracın istenen sürüş pozisyonunda durmasını ve yol ile tekerlek arasındaki temasın kaybolmadan güvenli sürüş yapılmasını sağlar. Tekerlek sürtünmesine bağlı meydana gelen fren ve sürüş kuvveti gövdeye aktarılır. Bunun sonucunda da lastiklerin düzgün aşınması sağlanır. Süspansiyon

sistemi parçalarının fonksiyonlarından ilki yayların yükü taşıması ikincisi ise lastikten gelen ani yükü içinde depolayarak yoldan gelen darbelerin doğrudan şasiye aktarılmasını engellemesidir. Amortisörlerin görevi titreşim hareketini sönmekken, viraj denge çubukları araçta yalpa hareketini dengeleyerek iki lastiğin de yere basmasını sağlar (Sayılğan, [36]).

Süspansiyon sistemleri içerisinde karmaşık yapıları ve performans değerleri bakımından en üst kademedeki bulunan sistemler aktif sistemlerdir. Aktif sistemlerin maliyetleri yapılarının karmaşık olması sebebiyle yüksektir. Bu sistemler asılı kütle ile asılı olmayan kütle arasına yerleştirilen bir kuvvet servo mekanizması yardımıyla sistem performansını optimum yapmaya çalışırlar. Bu kuvvet servo mekanizmasının çalışabilmesi için dışarıdan bir güç sağlanması gereklidir. Servo mekanizması tarafından uygulanan kuvvet bazı sistem değişkenlerinin ölçülerek geri beslenmesi ve bir kontrol algoritmasının uygulanmasıyla belirlenir. Daha sonra bir servo mekanizma tarafından kontrol kuvvetinin uygulanması gereklidir. Bunlar ise sistemi karmaşıklaştıran elemanlardır. Aktif askı sistemleri, asılı olan kütlenin ivme değerlerini pasif askı sistemine göre çok düşük değerlere getirmelerine ve bu alanda birçok çalışma yapılmasına rağmen, yüksek maliyetleri ve sistem karmaşıklığı dolayısıyla çok az kullanım alanı bulmuştur.

Aşağıdaki şekilde aracın sağında ve solunda altışar adet istasyon bulunmaktadır. Bir başka deyişle araçta toplam 12 adet süspansiyon ünitesi ve 24 adet portör tekeri bulunmaktadır. Bunun yanında her bir süspansiyon ünitesine 2 adet portör tekeri monte edilebilmektedir.



Şekil 1.1. Paletli Araç Modeli (Çoban, [17])

1.1.1. Süspansiyon sistemi silindirik parça (amortisör mili) ve krom kaplama

Silindiriklik Toleransı (Cylindricity)

Silindiriklik bir yüzeyin merkez etrafında döndürülmesiyle üzerindeki tüm noktaların bir eksenenden aynı uzaklıkta olduğu durum olarak tanımlanır. Silindiriklik toleransında parçanın yüzey elemanlarının tolerans mesafesinde ve eş merkezli iki silindir arasında olması koşulu aranır.



Şekil 1.2. Silindiriklik Toleransı

Silindiriklik Toleransı;

1. Sadece silindirik yüzeylere uygulanır.
2. Çap özelliğinden bağımsızdır. Sadece silindiriklik ölçümü için parça eksenine ilişki halindedir.
3. Aynı zamanda parça yüzeyinin dairesellik, doğrusalık ve paralellik toleranslarını da kontrol eder.
4. Çap ölçüsü sınırları içerisinde bulunmalıdır. Bu tolerans parça tolerans sınırını aşamaz.
5. Genel olarak parça tolerans mesafesinin yarısından az olmalıdır (Töre, [44]).

Silindirik parçalarda (amortisör milli) krom kaplama

Silindirik parçalarda krom kaplama uygulamalarından mat kaplama, yüksek mikron, düşük mikron gözetilmeden sürtünme katsayısını büyük oranda azaltır. Bundan dolayı hareketli parçaların kavramaları minimum düzeye iner. Bununla birlikte bazı silindir ve makine parçalarında, diğer endüstriyel kalıplarda ve plastik enjeksiyon kalıplarında yüzeydeki sertlik düzeyini artırır, korozyon ve fiziksel sürtünmeleri önleyerek yüzeyi korur. Kaplanmış olan metal üzerinde bulunan krom tabaka kalınlık ölçüsü korozyon ve sertlik ile doğrudan ilişkilidir. Krom kaplanmış olan metaldeki tutunma kat sayısı da önemli noktalardan biridir. Tutunma katsayısını kaplanan metaller değiştirmekte ve artırmaktadır. İşlenen metalin yüzeyindeki temizlik de kaplamanın tutunma şiddetini

artıran diğerk faktörlerden biridir. Tutunma kuvvetinin 15000 PSI'yı aşması önem taşımaktadır ve kuvvet değerinin 45000 PSI'ya kadar artış gösterebildiğı bilinmektedir.

Krom elektro-kaplamalar, otomotiv sektöründeki araçlarda fark yaratmak ve değer katmak adına uzun süreli bir geleceğe sahiptir. Bu tür kaplamalar, yüksek korozyon ve darbe dayanımı, nispeten düşük uygulama maliyetleri ile çoğıu tasarım mühendisinin tercihi haline gelmiştir. Krom trioksitli elektrolit bazlı krom kaplama, yıllardır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Oluşan katman; estetik, dayanım ve ekonomik özellikler gibi pek çok talebi karşılamaktadır. Fakat krom trioksit kanserojen bir madde olarak sınıflandırılmakta ve ayrıca süreçte duman önleyici olarak kullanılan diğerk madde Perflorooktan Sülfonik Asit (PFOS)'nin de biyobirikimli maddelerden biri olduğı bilinmektedir (Müftüoğlu, [30]).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür incelendiğinde, bulanık kontrol kartlarının tekstil, üretim ve daha birçok endüstriyel alanda kullanıldığı gözlemlenebilir.

Garrity, istatistiksel kontrol kartları ile yapılan yeterlik analizlerinde spesifikasyonları karşılamada kontrol altındaki süreçlerin her zaman yeterli olmadığını ifade etmiştir. Ayrıca süreçlerin farklı durumlarını da belirtilmiştir (Garrity, [21]). Süreç analizinde, çıkan kararları, süreçlerin kontrolde olup spesifikasyonları karşılamak için yeterli ve yetersiz olduğu durumlar, sürecin kontrol dışında ve yalnız spesifikasyonları karşılamak için yeterli ve yetersiz olduğu durumlar olarak sıralayabiliriz (Garrity, [21]).

Montgomery'e göre süreçlerin güvenilir ve ekonomik olarak kontrol edilebilmesi için W.E. Shewhart tarafından oluşturulan kontrol kartlarının kullanıldığını belirtmiştir. İstatistiksel süreç kontrolünde kullanılan bu kartlarda üç esas hat bulunmaktadır, bunlardan birincisi süreç ortalamasını temsil eden merkez çizgi ($M\check{C}$), diğerleri sürecin istatistiki güven sınırlarını gösteren alt kontrol limit (AKL) ve üst kontrol limit ($\check{U}KL$) (Montgomery, [29]).

Nelson çalışmasında, kontrol durumu analiz edilmesi gereken sürece ait belirlenen kalite karakteristiği uzunluk, genişlik, çap ve benzeri gibi ölçülebilen ve sayılarla ifade edilebilen bir veri türüyse, bu süreci kontrol edebilmek için sürekli değişkenler için kullanılan kontrol kartlarının seçilmesi gerektiğini belirtmiştir (Nelson, [31]).

Pekmezci çalışmasında, sürekli değişkenler için kullanılan kontrol kartlarından \bar{X} kontrol kartının ortalamayı kontrol etmek için kullanıldığını, R ve S kontrol kartlarının ise kalite karakteristiğinin yayılımını, süreçte alınan ölçümlerin kontrol altında olup olmadığını incelediğini belirtmiştir (Pekmezci, [34]). Yine bu çalışmada, sadece \bar{X} kontrol kartı kullanılırsa değişim aralığındaki, standart sapmadaki değişkenliğin anlaşılamayacağı ve hatalı ürünlerin fark edilemeyeceği veya diğer türlü R veya S kontrol kartının da tek başına kullanımı durumunda süreç ortalamasındaki değişkenliğin anlaşılamayacağı ve yine aynı şekilde hatalı ürünlerin saptanamayacağı belirtilmiştir (Pekmezci, [34]).

Bulanık mantık teorisi ilk olarak Zadeh tarafından 1962 yılında tanımlanmıştır. 1965 yılına gelindiğinde ise, bulanık mantığın bir bilim dalı olarak gelişmesine yardım etmiş ve çok değerli küme teorisini geliştirmiştir (Klir and Yuan, [23]).

Mendel'e göre uzman kişilerin bulanık mantık hakkındaki görüşlerinden ve tecrübelerinden yararlanılmalı ve bu mantığa göre gerçek hayat problemlerinin analizinde ve ifade edilmesinde dilsel değişkenler kullanılmalıdır (Mendel, [28]).

Bulanık mantık gerçek hayattaki karmaşık problemlerin ve sistemlerin modellenmesinde ve bu sistemlere hızlı çözümler getirilmesinde kullanılmaktadır. Bunun sebepleri, bilgiler yetersiz ve eksik kaldığında da uygulanabilen işlemler olması, karmaşık sistemler ve yöntemlerle birleşip yeni bir bulanık model oluşturulabilmesi, kullanılan matematiksel teoremlerin kolay anlaşılır ve zor olmaması olarak açıklanabilir (Aytaç, [9]).

Altaş çalışmasında, bulanık kümelerde üyelik dereceli fonksiyonlardan bahsetmiş, bu kümeler üyeliğinin 0 ile 1 aralığında atanabildiğinden, bu üyelik derecesinin fonksiyonun analizinde kullanıldığından ve 0'ın kümenin üyesi olmaması, 1'in ise tam üyeliği ifade ettiğinden bahsetmiştir (Altaş, [4]).

Lai ve Hwang'a göre üyelik fonksiyonlarının çok fazla çeşidi bulunmaktadır. Mühendislik alanındaki uygulamalarda ise çoğunlukla, üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, gaussian üyelik fonksiyonu, sigmoidal üyelik fonksiyonu, çan eğrisi üyelik fonksiyonu ve S üyelik fonksiyonu kullanılmakta olduğunu belirtmiştir. Bulanık mantığın anlaşılabilir ve uygulanabilir olması sebebiyle endüstriyel uygulamalarda sistemlerin tanımlanmasında kullanıldığını da açıklamıştır (Lai and Hwang, [24]).

Cheng'in çalışmasında ise bulanık kontrol kartlarının oluşturulabilmesi için, işlem ortalaması hakkında önceden bilgi sahibi olunması gerektiği, süreç ortalamasının ise işlem içinde olduğu düşünülürse örneklem kullanılarak tahmin yapılabileceği bilgisi verilmiştir (Cheng, [14]).

Bu çalışmada bulanık kontrol kartlarıyla, savunma sanayii için tasarlanan askeri araçların süspansiyon sistemlerindeki kaplama süreci analiz edilmiştir. Endüstriyel sektörlerin yanı sıra savunma sanayii alanında yapılacak mekanik-kaplama üretim faaliyetlerinde de bulanık kontrol kartlarının kullanılmasının önü açılmıştır.

3. ÖLÇME TEKNİKLERİ VE ÖLÇÜM ESASLARI

3.1. Ölçme

Bilinen standart bir büyüklüğü temel alarak bilinmeyen bir büyüklüğün değerinin tespit edilmesi işlemine ölçme denilir. Herhangi bir iş ya da makine parçalarının işlem yapabilmesi için belirlenen standart bir büyüklüğü taşıması veya referans alması gerekmektedir. Belirlenen amacın gerçekleştirilmesi için üretim aşamasında ve üretim tamamlandığında üretilen parçaların ölçümünün yapılması gerekmektedir. Ortak dil veya anlaşma için tercih edilen ölçüm işlemlerine aşağıda bulunan nedenlerden dolayı gereksinim duyulmaktadır:

- ✓ Yapılan ya da üretilen parçalar için ölçü sınırını tespit etmek,
- ✓ Üretilen parçanın oranlarını bilimsel açıdan belirlemek,
- ✓ Geliştirilme aşamasında bulunan üretimin yöntemini kontrol etmektir.

Üretimi yapılan boyutsal ölçülerin ana prensibi mamullerin planlanan sınırlar içerisinde üretilip üretilmediğinin kontrol edilmesidir. Bundan dolayı sanayinin her alanında kaliteyi iyileştirmek, maliyeti düşürmek ve seri üretimi arttırmak için kalite kontrol ve ölçmenin referans alınan standartları sağlandığının gösterilmesi gerekmektedir. Endüstri kuruluşlarının ekonomik mamul üretmek, maliyeti düşürmek için standart ölçüm sistemlerine bağlı kalmaları gerekmektedir. Bu kuruluşların ayakta durabilmesinin ön koşulu ölçüme bağlı kalmalarıdır. Ölçü birliğinin evrensel hale getirilmesi için, teknisyen ve tasarımcı mühendisleri hazırlamak, kuruluşlar arasındaki ölçü birliğini sağlamak ve diğer koşulların tamamlanması gerekmektedir. Endüstride standart ölçü alet ve sistemlerinin önemi aşağıda belirtilmiştir:

- 1- Malzeme kaybını önlemeyi amaçlar.
- 2- Üretimi tamamlanan mamullerin tamamı ya da bir kısmındaki ölçüm oranlarının detaylı kontrolünün azaltılmasını sağlar.
- 3- Hassasiyet düzeyi fazla olan yatak, bilya, dişli vb parçalar için ölçüm kontrolünde kolaylık sağlamaktadır.
- 4- Sistemik ayarlamalar için istenen ölçüm sınırlarını belirlerken kolaylık sağlamaktadır.
- 5- Uluslararası güvenilirlik üretimi tamamlanan parçaların standartlara uygun olmasıyla sağlanır. Ölçüm, sistem için temel oluşturan birim tanımlamasını yaparak teknoloji ve bilime sunar, böylece tamamlanan tüm ölçümlerin doğruluk ve güvenilirliğini sağlamış olur.

3.2. Ölçüm Esasları

Ölçülecek miktarın sınırlarının tespit edilmesi ölçmenin amacıdır. Başarının sağlanması için büyüklük yapısı bilinmelidir. Ölçümü yapılacak büyüklükler genel olarak fiziksel büyüklükler ve fiziksel olmayan büyüklükler olarak iki kısma ayrılır:

Fiziksel Büyüklükler: Fiziksel büyüklüklere sıcaklık, kütle, uzunluk, basınç ve kuvvet örnek olarak verilebilir.

Fiziksel Olmayan Büyüklükler: Yüzeyin pürüzlülüğü, sertlik vb. kapsamdaki büyüklükler örnektir. Bu büyüklüklere aynı zamanda endüstriyel büyüklükler de denir.

Fiziksel büyüklükler ile fiziksel olmayan büyüklükler arasında birtakım farklılıklar bulunmaktadır, bu kanunlar, fiziksel büyüklüklerin temelinde bulunmaktadır. Fiziksel büyüklükler yine bu kanunlar yolu ile türetilmiştir. Bununla birlikte fiziksel olmayan büyüklükler herhangi bir kanun ya da yasa içermezler. Bu büyüklüklerde ölçüm yöntemi değişse bile sonuç değişmemektedir fakat yöntemden bağımsız olan fiziksel büyüklükler tüm yöntemlerde aynı sonucu verir. Örnek vermek gerekirse ölçme bloklarında bulunan iki mesafe arasındaki ölçümün sonucu hangi yöntem tercih edilirse edilsin değişmez, ancak sertliğin ölçümünde yöntemler değiştikçe sonuçlar da değişir. Vickers, Brinell ve Rockwell gibi yöntemlerin her birinde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle fiziksel büyüklüklerin tüm ölçümlere temel oluşturduğu bir gerçektir. Örnek olarak bir miktar sıvının terazi yardımıyla kütlesi tespit edilebilir, yoğunluk değerleri hacim formülündeki eşitlik yolu ile belirlenebilir ya da hacmi ölçekli bir kap sayesinde doğrudan ölçülebilir. Fakat ölçümler aynı sonucu verse bile seçilen yöntemin amaca uygun, pratik ve zaman kaybına neden olmamasına da dikkat edilmelidir. Ölçüm değerinin tespit edilebilmesi için ölçüm yapılacak büyüklük ve nesne belirlendikten sonra ölçüm yöntemi belirlenmelidir. Ölçümün tespit edilmesinde zaman, doğruluk vb. kıstaslar dikkate alınarak seçimler yapılmalıdır. Yöntemin tespitinden sonra ölçüm için kullanılacak aparat ve cihazlar belirlenir. Ölçme işlemi cihazlar seçildikten sonra yapılabilir. Ölçüm sonuçlarının elde edilmesinden sonraki aşama sonuçların değerlendirilip kontrol edilmesidir.

3.3. Ölçme Çeşitleri

Ölçüm çeşitleri; doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

- *Doğrudan Ölçme:* Ölçü takımlarıyla gerçekleştirilen ölçümdür. Doğrudan ölçmede ölçü doğrudan okunmaktadır. Doğrudan ölçmeye mikrometre, cetvel ya da kumpas ile verilen boyut ve uzunluğun ölçülmesi örnek olarak verilebilir.

- *Dolaylı Ölçme:* Dolaylı ölçme işleminde ölçü aleti bir kıyaslama parçasına göre yapılmaktadır. Yapılan bu yöntemde nesneye ait boyut ölçülmez; fakat içinde ya da üzerinde çizgiler bulunan elektrikli, optik vb. aletlerin kullanımıyla nesneye ait boyut büyüklüğü ölçüm aletinin hassasiyeti ile kıyaslanarak ölçülür. Masterlar, dış çap kumpasları ve pergellerle ölçüm yapmak vb. örnek olarak verilebilir. Optikli ölçü aletleri küçük ebatlı parçaların kontrol edilmesi ve ölçülmesinde kullanılmalıdır. Dolaylı ölçme metotları da büyük boyutlu parçaların kontrolü ve seri üretiminde kullanılır ve yine uygulanan ölçü aleti yardımıyla parçanın ölçü büyüklüğü belirlenir. Dolaylı ölçme sadece fiziksel büyüklük ölçümünde kullanılabilir. Bunun nedeni temel ve fiziksel büyüklükler arasında fiziksel kanunların bulunmasıdır. Dolaylı ölçüm sonuçları da bu yasalara göre tespit edilir.

Örneğin, bir kuvvetin ölçümü aşamasında, Newton'a ait 2. kanun geçerlidir ($F = W = m \cdot g$) ya da ($F = m \cdot a$) formülüne göre dolaylı bir ölçüm aracılığıyla sonuca ulaşılır. İvme ve kütle birbirinden bağımsız ölçülmesi ile ona denk gelen kuvvet hesap yapılarak tespit edilir. Fiziksel olmayan büyüklüklerin ölçülmesinde dolaylı ölçme yöntemleri kullanılamaz. Dolaylı ölçmeye verilecek örnekler arasında genleşme katsayıları, malzemelerin ısı iletim katsayıları gösterilebilir.

3.4. Ölçmede Hatalar

Fiziksel büyüklüklerin ölçüm sonuçları tek bir sayıyla ifade edilemez. Ölçme üzerinde, ne kadar doğru alet kullanılsa da ölçme üzerinde ne kadar durulsa da hatasız bir ölçmenin gerçekleşmesi imkânsızdır; yalnız hatanın bilinmesi durumunda ölçüm bir anlam taşır. Ölçüm değerinin gerçekliğe yakınlığını bazı faktörler etkilemektedir. Bu faktörler arasında deney yapanın psikolojik ve bilimsel durumu, cihaz kalitesi, kullanılan yöntemler bulunmaktadır. Yapılacak hatalar iki grupta ele alınabilir. Bu hatalar; tayin edilemeyen, değişik etkenlere göre hesaplanamayan, zamana ve kişiye göre değişen hatalar ile tayin edilebilir, hesaplanabilir, kaynakları belli olan hatalardan oluşmaktadır.

Hata türleri hangi kaynakları kapsarsa kapsasın, belli başlı nedenlerden dolayı oluşurlar. Bu nedenlerin ilki kullanılan cihazların üretiminden kaynaklanan hatalardır. Üretilen her cihazın standart olmadığı söylenebilir. Bu nedenle yapım hataları gerçekleşebilir. İkincisi de cihazın kullanımı arttıkça doğruluğunda azalma ve özelliklerinde değişme olmasıdır. Bu nedenle bu gibi cihazlarda ölçümlemenin yapılması

hataları azaltacaktır. Ölçüm sonuçları analiz edilirken yapılan hatanın çeşit ve miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Hatalar gerçek değer ile ölçülen değer arasındaki farktan oluşmaktadır. Fark arttıkça hatanın arttığı söylenebilir. Fark ne kadar azalırsa ölçüm o kadar doğru yapılmış demektir. Daha doğru ve yeni cihazlar ile yapılan ölçümler gerçek değere daha yakın olur. Hatalar genel olarak üç farklı sınıflandırmaya alınabilir. Bunlar;

- Cihaz ya da sistem içi hatalar
- Cihaz ya da sistem dışı hatalar
- Rastlantı hatalarıdır.

3.4.1. Cihaz ya da sistem içi hatalar

Cihaz ya da sistem içi hatalar değişmeyen hatalar olup ölçüm tekrarlanırsa da aynı sonucu verir. Bu hatalar arasında ölçümleme, ayar, referans, fabrika yapım ve imalat esnasındaki hatalardır. Cihaz ya da sistem içi hatalar, cihazdaki elektriksel ve mekanik özellikler nedeni ile de oluşabilir. Bu hatalar, lineersizlik, histerezis ve sürtünmedir. Hataların azaltılması ya da tekrar edilmemesi için cihazın belirlenen standartlar kapsamında sürekli ölçümlemesinin yapılması gerekmektedir. Bu hatalı ölçümlerlerden bazıları aşağıda gösterilmiştir:

- Sıfır Hatası:** Ölçüm aletine ait sıfır ayarı yapılmamışsa ölçüm hata verir. Örnek vermek gerekirse bir voltmetre tüm ölçümlerde 0.5V az ölçüm yaptığı takdirde sıfır ayarı hatalı demektir.
- Skala Hatası:** Skala hatası, skalanın lineer olmaması, ölçüm yapılacak işaretin genişmesiyle uygun kademenin seçilememesi nedeniyle oluşur. Lineer olmayan skala düzeltilmelidir. Düzeltilememesi durumunda noktalardaki hataların belirlenerek ölçüm sonuçlarından çıkarılması ya da ölçüm sonuçlarına eklenmesi gerekir.
- Cevap Zamanı Hatası:** Ölçüm yapılan büyüklük hızla değişir ve cihaz bu değişimi takip edemezse hatalar oluşabilir. Ölçü aletinin mekanik ataleti bu hatanın yaşanmasına neden olur.
- Yükleme Hatası:** Ölçü aleti devreye bağlandığında devre tarafından bir enerji gönderilmektedir. Bu nedenle ölçüm aleti ölçülen parametreye ve devreye etki etmektedir.
- Yapım Hatası:** Cihazın üretimi aşamasında yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır.

3.4.2. Cihaz ya da sistem dışı hatalar

Cihaz ya da sistem dışı hatalar, birey ve dış kaynaklı hatalar olarak ikiye ayrılabilir. Bireyden kaynaklanan hatalar; hatalı hesaplama, yanlış uygulama, hatalı skala seçimi, hatalı okuma vb hatalardır. Bu hataların sebepleri arasında bireyin dikkatsizliği, fiziksel ya da psikolojik yorgunluğu, yetersiz bilgi gösterilebilir. Kişiden kişiye değişen bu hatalar arasında elektrik ve manyetik alan gibi dış etkilere oluşan hatalar, rutubet, yüksek sıcaklık da bulunmaktadır. Cihazın hatalı kullanımı da bireyden kaynaklanan hatalar arasındadır. Bunların önüne geçebilmek için cihazın uygun yerde kullanılması, dış etkenlerden korunması, sonuçların kontrol edilmesi ile operatörün dikkatli ve bilgili olması gösterilebilir.

3.4.3. Rastlantı hataları

Hataların belirsiz sebeplerden oluşması ile ortaya çıkmaktadır. Genlik ve polaritenin ne kadar, nasıl ve ne zaman değişeceği belli olmadığında gerçekleşmektedir. Tekrarlı ölçüm yapılması durumunda bu hatalar ile karşılaşılabilir. Bu hataların tespit edilmesi çok zordur. İstatistiksel yolla belirlenen bu hatalardan bazıları, okuma yapılması aşamasında en yakın bir alt ya da üst değere kaydırılırken yapılan hatalar, ibrenin ara değerlere sapması ile oluşan hatalar ve yuvarlaklaştırma hatası gibi hatalardan oluşmaktadır. Bu hatalara ek olarak ibre gerçek değer civarında dalgalandığında iyi bir okuma yapılamadığında ortaya çıkar. Dış kaynaklı hatalar manyetik alan, elektrik, rutubet, yüksek sıcaklık ve gürültüden oluşsa bile değer ve zamanlarının ne zaman oluşacağını bilinmemesi onları rastlantı hataları sınıfına sokar. Rastlantı hatalarına ek olarak cihazın elektriksel ve mekanik özelliklerinden oluşan lineersizliklerde belirsizlik, histerezis ve sürtünme bulunmaktadır.

4. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL

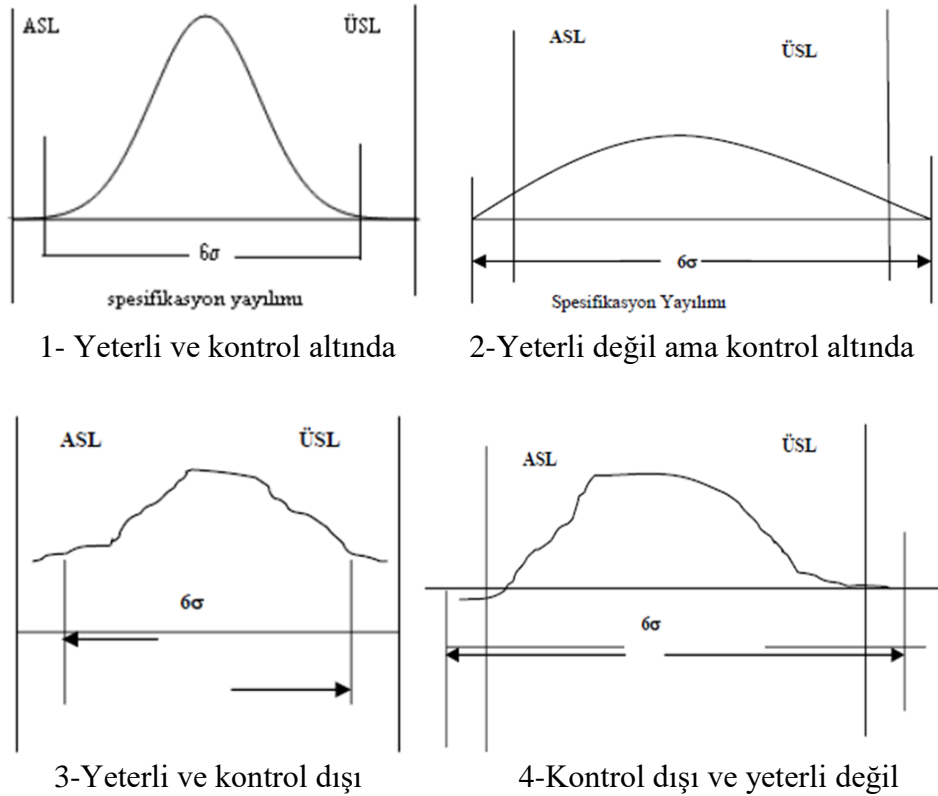
4.1. İstatistiksel Süreç Kontrol Teknikleri

İstatistiksel süreç kontrol teknikleri, herhangi bir mamulün yararlı ve düşük maliyetli olarak üretimini tamamlamak için istatistiksel teknik ve prensiplerin üretimin her safhasında kullanılabilir (Akın, [2]). İstatistiksel süreç kontrol, kusurlu ürün üretimini en aza indiren, standartlara bağlılığı amaçlayan ve önceden belirlenen kalite spesifikasyonlarına uygunluk sağlayan bir vasıtaadır.

4.2. Süreç Yeterlilik Analizi

Verileri normal dağılımlı ve istatistiksel kontrol içindeki süreçler için yeterlik analizleri yapılabilmektedir. Spesifikasyonları karşılamada kontrol altındaki süreçler her zaman yeterli değildir. Süreçlerin farklı durumları aşağıda belirtilmiştir.

- 1-Süreç kontrolde olup spesifikasyonları karşılamak için yeterlidir.
- 2-Süreç kontrolde olup spesifikasyonları karşılamak için yetersizdir.
- 3-Süreç kontrol dışındadır; yalnız spesifikasyonları karşılamak için yeterlidir.
- 4-Süreç kontrol dışında olup spesifikasyonları karşılamak için yetersizdir (Garrity, [21]).



Şekil 4.1. Süreç Yeterlilik Analizi Durum Tipleri.

Sürecin yeterlilik durumlarına ilişkin analiz sonuçlarındaki durum tipleri Şekil (4.1)'de verilmiştir. Sürecin spesifikasyon durumunun belirlenmesinde yeterlilik indisleri kullanılmaktadır. Spesifikasyon, mamulün ya da hizmetin oluşturulması için alıcılar tarafından belirlenen ya da standartların belirlediği kıstaslardır. Bunlar standart ya da değişken olabilir. Standartlar herkes tarafından kabul edilen birtakım belgeler olup ulusal ya da uluslararası statüdeki kurumlar tarafından meydana getirilmektedir. Yani spesifikasyonlar hizmet ve üretim sınırlarını belirlemektedir (Baskan, [10]).

Alıcılar ürünün spesifikasyonları karşılama düzeyini bilmek isteyebilir, bundan dolayı yeterlilik indisleri aracılığıyla sürece ait süreç yeterliliği bir sayı olarak ifade edilerek sunulabilir (Garrity, [21]).

5. KONTROL KARTLARI

Ürün veya hizmet üretim aşamasında iken oluşabilecek durumların, sürecin belirlenen sınırları içerisinde kalma durumunu kontrol altında tutmayı, sınırların dışına çıktığı takdirde uyarı vermeyi amaçlayan istatistiksel analiz yöntemidir (Besterfield, [11]).

Teorik yapısı 1926'da W.E. Shewhart tarafından oluşturulmuştur. Sürecin istatistiksel yöntemlerle güvenilir biçimde ve ekonomik olarak kontrolünün sağlanmasında etkili bir yöntemdir. Tesadüfen beliren bir takım farklılıklar üretimi olumsuz etkileyebilir, bu sebeplerin araştırılmaları, tanımlanmaları ve izlenmeleri gerekmektedir (Dengizler Kayaalp, [18]). Kontrol kartları, üretim aşamasında oluşabilen farklılıkların nedenlerini belirlemeye yarar. Bir kontrol grafiği; Alt Kontrol Limit (AKL), Merkez Çizgi (MÇ) ve Üst Kontrol Limit (ÜKL) olmak üzere üç esas çizgi içermektedir. MÇ kalite özelliğinin ortalama değerini temsil eder ve kontrol limitleri ile orta çizgi zaman eksenine paralel doğrularla gösterilir (Montgomery, [29]).

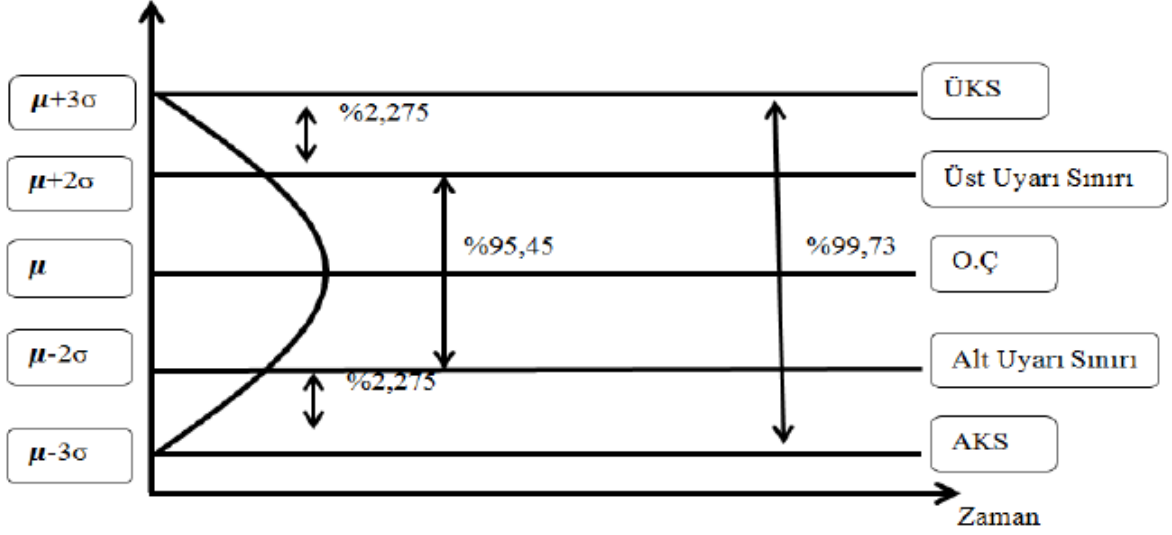
Kontrol limitleri istatistiki güven sınırlarını ifade eder. İlgili kalite niteliğine ait ölçüm değerinin, örnek istatistiğinin standart sapması σ ve ortalaması μ ise alt kontrol limiti, merkezi çizgisi ve üst kontrol limiti Eşitlik (5.1-5.3) ile hesaplanmaktadır (Montgomery, [29]).

$$\text{ÜKL} = \mu + k\sigma \quad (5.1)$$

$$\text{MÇ} = \mu \quad (5.2)$$

$$\text{AKL} = \mu - k\sigma \quad (5.3)$$

Burada k , orta çizgiden kontrol limitlerine olan aralığı tespit etmede yararlanılan katsayıdır, örneğin, $k = 5$ ise kontrol limitleri orta çizgiden 5σ uzaktadır, $k = 3$ ise kontrol limitleri orta çizgiden 3σ uzaktadır. Örnek olarak, Şekil (5.1)'deki grafiğe kontrol limitleri için $k = 2$ değeri belirlenmiştir. $k = 3$ değerine göre noktaların %99,73'ünün kontrol limitleri dahilinde, $k = 2$ değerine göre ise %95,45'inin de uyarma limitleri aralığında bulunması gerekir. Temelleri Shewhart tarafından atılan ve geliştirilen kontrol kartlarının yapısı normal dağılıma dayanmaktadır. Dağılıma yüzdeleri Şekil (5.1)'de gösterilmiştir (Patır, [32]).



Şekil 5.1. Kontrol Kartı ve Noktaların Dağılıma Yüzdeleri

Şekil (5.1) ile verilen kontrol kartı, sürecin kontrolünde ortak bir dil kullanımı yaratması sayesinde iletişim kolaylığı ve anlaşılabilirliği sağlamaktadır. Süreç içerisindeki sorunların kolay tespit edilmesine ve çözümünün en kısa sürede sağlanmasına da olanak sağlamaktadır (Burr, [13]).

5.1. Sürekli Değişkenler İçin Kontrol Kartları

Sürekli değişkenler için kontrol kartı kalite karakteristiğinin ölçülebildiği durumlar için kullanılır. Bu gruba ağırlık, sertlik, çap, genişlik, uzunluk vb. değişkenler için oluşturulan kalite kontrol kartları da girmektedir. Çeşitli ve farklı kalite karakteristikleri de uygulamalarda ölçülebilmektedir. Bundan dolayı çok çeşitli kalite karakteristikleri ölçülebilir, bu nedenle sürekli değişkenlerde kontrol kartları sıklıkla kullanılmaktadır (Nelson, [31]).

\bar{X} kontrol kartı, ortalamayı kontrol etmek için yaygın olarak kullanılırken, sürecin değişkenliğini kontrol etmek için R veya S kartları ile ölçümlerin kontrol altında olup olmadığı araştırılır. Bu iki ölçüden hareketle ortalaması aynı olan iki örnekten standart sapması veya değişim aralığı küçük olan ölçünün daha kaliteli olduğu söylenebilir. Hesaplanmasındaki kolaylıktan dolayı R kartları, S kartlarına göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortalamaların aynı olmasıyla beraber standart sapmaların büyük olup sürecin kontrol dışında olmaması için grafiğin, S veya R kartı ile birlikte kullanılması tercih edilir. Eğer sadece \bar{X} kartı kullanılırsa, değişim aralığında veya standart sapmadaki değişkenlik anlaşılabilir ve hatalı malların varlığı fark edilemez. Sadece S veya R kartı

düzenlenirse bu defa da ortalamadaki değişme anlaşılabilir ve hatalı üretimin varlığı fark edilemez (Pekmezci, [34]).

$\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - S$ kontrol kartları oluşturulurken standartların (μ ve σ) bilindiği ve bilinmediği durumlar göz önünde bulundurulmalıdır.

5.1.1. \bar{X} ve R kontrol kartları

Değişkenlerin yayılımlarının ve ortalamalarının çizilmesine sürekli değişkenler için kontrol kartlarında gereksinim duyulmaktadır. Yayılım istatistiği olarak genişlik $R = (x_{max} - x_{min})$ merkezi eğilim istatistiği olarak genellikle örneklem ortalaması kullanılır.

Standart sapması σ , ortalaması μ olan bir dağılıma sahip kalite karakteristiğinde, ortalaması μ ve standart sapması σ olan bir dağılıma sahipse, n büyüklüğünde olan bir örneklemin ortalamasına ait dağılım da σ/\sqrt{n} ve μ ve parametreleri ile normal dağılıma sahiptir. Uygulamada σ ve μ değerleri genel olarak bilinmediği için belirtilen parametreler R veya \bar{X} ve S istatistikleri ile tahmin edilmektedir (Akdeniz, [1]).

$\bar{X} - R$ kontrol kartında, üretim sürecinden alınan örneklem büyüklüklerinin 10'dan küçük ($n < 10$) olması öngörülmektedir. Bunun nedeni ise R değerlerinin belirlenme kolaylığıdır. Standartların (μ ve σ) bilindiği ve bilinmediği durumda \bar{X} ve R kontrol limitleri Tablo (5.1)'deki gibi belirlenir. EK 1 de verilen $A, A_2, D_1, D_2, D_3, D_4, d_2$ değerleri (n)örneklem büyüklüğüne göre değişmektedir (Montgomery, [29]).

Tablo 5.1. \bar{X} ve R Kontrol Kartı Hesaplama Denklemleri (Çelik, [16])

| Kontrol Kartı Tipi | Standartların Bilindiği Durumlarda | Standartların Bilinmediği Durumlarda |
|-------------------------|---|---|
| \bar{X} Kontrol Kartı | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu + A \sigma \\ M\check{C} &= \mu \\ \text{AKL} &= \mu - A \sigma \end{aligned}$ | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{X} + A_2 \bar{R} \\ M\check{C} &= \bar{X} \\ \text{AKL} &= \bar{X} - A_2 \bar{R} \end{aligned}$ |
| R Kontrol Kartı | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= D_2 \sigma \\ M\check{C} &= D_2 \sigma \\ \text{AKL} &= D_1 \sigma \end{aligned}$ | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= D_4 \bar{R} \\ M\check{C} &= \bar{R} \\ \text{AKL} &= D_3 \bar{R} \end{aligned}$ |

5.1.2. $\bar{X} - S$ kontrol kartları

$\bar{X} - S$ kontrol kartları, alınan örneklem büyüklüklerinin 10 veya daha fazla ($n \geq 10$) olduğu durumlarda kullanılır. Bu durumda R kontrol kartının güvenilirliği düştüğünden

standart sapma dağılma ölçüsü olarak kullanılır. S kontrol kartı ($n < 10$) olduğu durumlarda da kullanılabilir, fakat R kontrol kartı hesaplama kolaylığı bakımından tercih edilmelidir. S kontrol kartı üretimden alınan örnekler farklı büyüklüklerde olduğu zaman kullanılmaktadır (Dengizler Kayaalp, [18]).

Standartların (μ ve σ) bilindiği ve bilinmediği durumda $\bar{X} - S$ kontrol kartlarının kontrol limitleri Tablo (5.2)'deki gibi belirlenir. Tablo (5.2)'de verilen $A_3, B_3, B_4, B_5, B_6, C_4$ değerleri örneklem büyüklüğüne göre değişmektedir.

Tablo 5.2. \bar{X} ve S Kontrol Kartı Hesaplama Denklemleri (Çelik, [16])

| <i>Kontrol Kartı Tipi</i> | <i>Standartların Bilindiği Durumlarda</i> | <i>Standartların Bilinmediği Durumlarda</i> |
|---|--|--|
| <i>\bar{X} Kontrol Kartı</i> | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu + A \sigma \\ \text{MÇ} &= \mu \\ \text{AKL} &= \mu - A \sigma \end{aligned}$ | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{X} + A_3 \bar{S} \\ \text{MÇ} &= \bar{X} \\ \text{AKL} &= \bar{X} - A_3 \bar{S} \end{aligned}$ |
| <i>S Kontrol Kartı</i> | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= B_6 \sigma \\ \text{MÇ} &= C_4 \sigma \\ \text{AKL} &= B_5 \sigma \end{aligned}$ | $\begin{aligned} \text{ÜKL} &= B_4 \bar{S} \\ \text{MÇ} &= \bar{S} \\ \text{AKL} &= B_3 \bar{S} \end{aligned}$ |

5.2 Kesikli Değişkenler İçin Kontrol Kartları

Ürünlerin sınırlar dâhilindeki üretim kıstaslarında olup olmadığına sürekli bakılamamaktadır. Kalite karakteristiği *kusur sayıları veya ürünlerin hatalı olup olmadıkları olarak tanımlanmaktadır. Geliştirilmiş kesikli değişkenler ve bozuk, sağlam, kötü, iyi vb. sayılan veriler için kalite kontrol kartları arasında p, np, c ve u kartları bulunmaktadır.*

5.2.1 p kontrol kartları

Kalitenin alt grupta bulunan kusur oranıyla ölçülebildiği kontrol kartlarıdır. Bu kartlar Binom dağılımına dayanmaktadır. Örnekleme bulunan her alt grubun kusur oranı p_i ile ifade edilmektedir. m adet alt grubun her birinde n adet ürün bulunduğu kusurlara ait ortalama p olur ve \bar{p} kontrol kartlarındaki kusur oranı(ortalama) hesaplamasına da Eşitlik (5.4)'de yer verilmiştir.

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{D}_i}{mn} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{p}_i}{m} \quad (5.4)$$

Burada D_i i. alt grupta bulunan kusurlara ait toplamdır. Alt gruplarda bulunan ürün sayıları sabit olduğu zaman p grafiğinin alt, üst ve merkezi çizgi kontrol limitleri Eşitlik (5.5)-(5.7)'deki gibi bulunabilir.

$$\text{ÜKL} = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (5.5)$$

$$M\check{C} = \bar{p} \quad (5.6)$$

$$\text{AKL} = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (5.7)$$

n sayısı sabit değilse, farklı bir ifade ile alt gruplarda bulunan ürün adedi eşit olmadığında alt grubun her birindeki örneklem büyüklüğü n_i , ortalama örneklem büyüklüğü (\bar{n}) ve alt grupların ortalama kusurlu oranı (\bar{p}) olarak gösterilirse, p kontrol kartı hesaplamaları Eşitlik (5.8)-(5.9)'daki denklemlere göre yapılabilir (Smith, [38]).

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (5.8)$$

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m} \quad (5.9)$$

5.2.2. np kontrol kartları

np kontrol kartı örneklem büyüklüğü sabit, alt gruplardaki kusurlu sayıların gösterildiği kontrol kartıdır. Bu kartın temeli binom dağılımına dayanmaktadır. Bu kontrol kartları teorikte p kusurlu oranı kontrol kartını yansıtmaktadır; fakat p kontrol kartından farkı alt grup büyüklükleri sabittir. Süreçte bulunan kusurlu oranı yerine kusurlu sayısı ile ilgilenilmişse, bu durumda p kontrol kartının değerlerinin n ile çarpılması yoluyla bulunan değerlerden kurulu np kontrol kartı kullanılmaktadır.

np kontrol kartlarının merkez çizgisi ve kontrol sınırları Eşitlik (5.10)-(5.12) ile hesaplanır.

$$M\check{C} = n\bar{p} \quad (5.10)$$

$$\text{ÜKL} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (5.11)$$

$$\text{AKL} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (5.12)$$

5.2.3. c kontrol kartları

Ürünün kusuru veya uygun olmaması üretim süreçlerinde ürünün kullanılmasına engel değildir. Bununla birlikte ürünlerde uygun olmayan fazla kalite karakteristiği veya kusur görülebilmektedir. Bu tür hallerde c ya da u kartları kullanılmaktadır. c kontrol kartı,

Üründe tespit edilen az veya çok kusur sayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır ve poisson dağılımının ilkelerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. c değeri bir alt grupta bulunan ürünlerin kusur sayısını temsil eder. Alt grupta bulunan ürün sayısı sabit olduğu zaman birikimdeki hata sayıları c kontrol kartı ile gösterilmektedir. c kontrol kartında, üst, alt ve merkezi çizgi kontrol limitleri Eşitlik (5.13)-(5.15) ile hesaplanır (Smith, [38]).

$$M\check{C} = \bar{c} \quad (5.13)$$

$$\check{U}KL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (5.14)$$

$$AKL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (5.15)$$

5.2.4. u kontrol kartları

Kusur oranı kontrol kartında, u adet başına düşen kusur sayılarını ifade etmektedir. Genelde c kontrol kartına benzer; fakat fark ise u kontrol kartındaki alt grup büyüklüğünün p kontrol kartındaki gibi sabit olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Farklı bir ifadeyle, u kontrol kartındaki alt grupların büyüklüğü değişken olabilir. Alt grupların her birindeki ürün sayısı n , sabitse kusur sayıları kontrol kartı u kontrol limitleri Eşitlik (5.16)-(5.19) ile hesaplanır (Smith, [38]).

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m} \quad (5.16)$$

$$M\check{C} = \bar{u} \quad (5.17)$$

$$\check{U}KL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (5.18)$$

$$AKL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (5.19)$$

Eğer n sayısı sabit değil ise alt grup örneklem büyüklüklerine ait ortalama Eşitlik (5.20) ile bulunabilir.

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m} \quad (5.20)$$

Buna bağlı olarak kontrol sınırları için n , \bar{n} ile değiştirilebilir (Smith, [38]).

6. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık “Fuzzy Logic” kelimesinin karşılığıdır. Bulanık mantık yöntemi belirsiz olan, netliği tamamen sağlanamayan, mantıksal değerlendirmeler yapıldıktan sonra incelemelerin yapıldığı bir yöntem olarak literatürde yer almaktadır (Mazlum, [27]).

Esnek yapıda karar verilebilen, Aristo yaklaşımı olarak da bilinen klasik küme yöntemindeki doğru/yanlış veya var/yok biçiminde anlatım olanağı bulunan değerleri artıran Bulanık Mantık, gerçek hayatta uygulama olanağının oldukça yaygın olduğu bir yöntemdir (Ülker, [45]). Diğer bir tabirle, bulanık mantığa matematiğin gerçek yaşam uygulanması denilebilir (Ardam, [6]).

Bulanık mantık; bir küme elemanı olma ya da olmama arasındaki, diğer bir deyişle o kümenin üyesi olma ve olmama durumları arasında kademe-kademe geçişe olanak sağlayarak kısmi üyeliğe izin veren bir teoridir (Anderson, [5]). Bu teoriye göre, küme içerisinde verilen bir eleman üyeliğinin oluşmasıyla birlikte bu elemanın kümenin dışında olmasının da kısmi olarak başlaması anlamına gelmektedir. Bunun nedeni bulanık küme teorisinin, tam üyeliğe izin verirken, kısmi üyeliklere ve aynı zamanda da hiç üye olmamaya da izin veren bir teori olmasıdır. Bu nedenle bulanık küme teorisi, klasik küme yaklaşımının genel halidir (Sattarov, [35]).

Uzun-kısa, yaşlı-genç gibi kavramlarda belirsizlik durumları söz konusu olduğu için dilsel değişkenleri matematiksel olarak ifade etmemiz ikili mantıkla mümkün olmamaktadır (Karakaşoğlu, [22]). Bilgisayarlar ve insan beynini kıyasladığımızda, bilgisayarlar “0” ve “1” kodlarına indirgenmiş, kesin yargılar doğru - yanlış, iyi - kötü vb. gibi önermeler kullanarak akıl yürütürken, insan beyni ise sağduyu sayesinde serin hava ya da alçak hız, yaşlı kadın gibi belirsizlik içeren önermeler ve bulanık anlatımlarla mevcut durumu açıklayıcı tanımlar yapabilir (Alcı ve Karatepe, [3]).

Giderek artan teknoloji ile birlikte gelişen dünyamızda mühendislik dalları, endüstriyel ve modern üretim, bilgisayar teknolojileri, yönetim, pazarlama ve kontrol sistemleri vb. birçok alandaki sorunların çözüme kavuşturulmasında kullanılmak üzere toplanan, objektif, subjektif olarak iki çeşit veri türü mevcuttur. Objektif veri mühendislik problemlerinde ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılır; subjektif veri ise uzman bilgisi, kurallar ya da dizayn ihtiyaçları gibi klasik matematiğin eksik kaldığı ya da tanımlayamadığı durumlarda kullanılmaktadır (Mendel, [28]).

Belirsizlikler işletmeler açısından istenmeyen durumlardır ve sorunlara neden olurlar. Klasik yöntemlerde sözel olan verilere, önyargılardan ve algılardan kolaylıkla etkilenen bilgilere kesin çözüm bulunamamaktadır (Çakıroğlu, [15]). Bu sebeple belirsizlik ve karmaşıklık barındıran, matematiksel olmayan verilerin sorunlarının kolayca çözülmesi için bilgisayarlardan yardım alınmaktadır. Bu yöntem günümüzde yapay zekâ olarak adlandırılır. Yapay zekanın birçok yöntemi bulunmaktadır. Bu kullanılan yöntemlerden bir tanesi de bulanık mantıktır (Aytaç, [9]).

Bulanık mantık problemlerinde çoğunlukla alanında uzman kişinin görüşlerinden, tecrübelerinden faydalanılır. Uzman kişiler dilsel değişkenler kullanırlar (Mendel, [28]). Dilsel değişkenler; değişken adı olarak günlük yaşamda kullanılan kelimelerden seçilip kullanılabilir. Böylece bu değişkenlerde belirsiz ve net olmayan ifadelerde kullanılan kavramların yaklaşık olarak anlatılmakta olduğu belirlenmiştir [8, 37].

6.1. Bulanık Mantık Tarihçe ve Uygulama Alanları

Bulanık mantığın temeli Yunan felsefesinden esinlenilerek atılmıştır. Bulanık sistemler Yapay Zeka'nın yön vericilerindedir. Aristoteles ve aynı fikirde olan düşünürlerin çalışmaları sayesinde "Düşüncenin Yasaları" oluşturulmuştur. Bu yasalarda önermelerin "doğru" veya "yanlış" olması gerekliliği iddia edilmiştir. Fakat bu düşünceye zıt görüşlerin oluşması zaman almamıştır (Terzi, [42]).

"Olası" kavramından ilk kez bahseden kişi Polonyalı olan mantıkçı Jan Lukasiewicz'dir. Bu olası kavramıyla birlikte Bulanık Mantık'ın temelleri atılmış ve doğru ile yanlış arasında sınırsız farklı değer olduğunu söylemiştir. İlk üç değerli mantık sistemi de 1930'lu yıllarda bu bilim adamı tarafından geliştirilmiştir. Bununla birlikte Lukaziewicz, doğruluğa ait küme değerlerini genelleştirerek tüm sayılara uygulamıştır (Tosun, [43]).

Heisenberg tarafından 1920'li yıllarda elektronların hız ve konumlarına dair hesaplamalar yapılırken klasik mantıkta bulunan yanlış ve doğru kavramlarına alternatif ekleyerek "belirlenemezlik" ilkesini de getirmiştir. Bu çalışmalarla da doğru ve yanlış kümesinin aralığında bulunan bir kavram ortaya atılmış oldu. Bulanık küme tanımı, özellikleri, kavramları, temel işlemleri, Information and Control dergisinin "Bulanık Kümeler" adlı makalesinde Lotfi A. Zadeh tarafından açıklanmıştır. Zadeh'e göre günlük hayatta karşılaşılan problemlerin detayına inildiği sürece çözüm daha da bulanık hale gelecektir. Zadeh bunun nedenini bilgi kaynaklarının tamamının birey tarafından etkileşimli olarak ve aynı anda kavranamayacağına bağlamaktadır. Bireylerin sözel

düşünme yeteneklerinin varlığı ve bilinenleri diğer bireylere sözel ifadelerle aktarabildiği düşünüldüğünde, aktarılan ifadelerin kesinliği hakkında bir yargıya varmanın olanaksızlığı kavranmış olacaktır (Dubois, [20]).

Gerçek hayat problemlerinde belirsizliklerin ve bulanıklıkların modellenmesine ihtiyaç duyulur. Fakat bu problemler her zaman deterministik değildir. Pratikteki bu problemlerden yola çıkılarak bulanık mantık ilk yıllarda şüpheyle karşılanmış ve eleştirilmiştir. Batı dünyasından önce doğuda özellikle Japonya'da kabul görmüştür. Daha sonraki yıllarda çeşitli alanlara yayılmış ve uygulamaları yapılmıştır (Klir and Yuan [23]).

1972 yılında Londra'da Mamdani bulanık mantık kullanarak uzman sistem ile bir buhar türbininin hız ve performansının denetlemeye alınabileceğini ortaya koymuştur. İlk olarak Danimarka'daki bir çimento fabrikasındaki sıcaklık ve oksijen ayarının yapılmasında ve su arıtma sistemlerinin uygulamalarında kullanılan bulanık mantık 1980'lerden sonra asansör, metro işletimi, trafik lambaları ve beyaz eşyalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Son 30 yılda bulanık mantık birçok alana yayılmış ve çok çeşitli yönleri geliştirilmiştir. Bulanık mantığın kullanıldığı alanların belli başlı olanları: tıp ve biyoloji, karar destek ve yönetim sistemi, finans ve ekonomi, mühendislik, çevre ve bilgisayar bilimleri, psikoloji, yöneylem araştırması, uzman sistemler, güvenilirlik ve kalite kontrolü, otomatik kontrol sistemleri, istatistik, bilgi sistemleri ve görüntü tanımlamadır. Günümüzde bulanık mantık elektrikli ev aletlerinde, beyaz eşyalarda, akıllı sistemlerin tasarımında, fren sistemlerinde, savunma sanayii üretim alanlarında kullanılmaktadır (Klir and Yuan [23]).

6.2. Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi Zadeh tarafından şu şekilde tanımlanmıştır: "Sürekli dereceli üyelik barındıran objelerin oluşturduğu sınıf bulanık kümedir. Elemanların kümeye ait olma durumları, üyelik fonksiyonları ile karakterize edilmektedir. Bulanık kümede bulunan elemanların her birinin bulanık küme üyelik değerleri üyelik fonksiyonu tarafından gösterilir. Üyelik değerlerinin aralığı 0 ve 1 arasındadır. Konvekslik, değişme, tümleme, birleşme, kesişme, altküme gibi klasik kümelere ait kavramlar bulanık küme ile genişletilir ve klasik küme kavramlarına ait özellikler bulanık kümelerde uygulama alanı bulabilir."

Günlük yaşamda fiziki objeler üyelik fonksiyonları aracılığıyla tanımlanamamaktadır. Örnek vermek gerekirse aslan, tilki, keçi, boğa, tavşan hayvanlar kümesinin elemanları iken

bu kümeye sınırlar, bitkiler ve kayalar eklenemez. Bununla birlikte 1 rakamından büyük sayıların oluşturduğu kümeler tanımlandığında bu kümenin içinde 10, 100, 1000 de olabilir. Bulanık küme belirtildiği gibi değişik üyelik ve ait olma derecelerine sahiptir. Bu küme 0 ile 1 aralığında üyelik değerlerinin atanabildiği, üyelik fonksiyonlarıyla karakterize edilebilmektedir (Altaş, [4]).

Bu üyelik derecelerini örneklendirecek olursak, bir elemana ait üyelik değeri 0 ise bu eleman belirtilen kümenin değildir ya da üyelik değeri 1 ise %100 o kümeyle aittir, benzer olarak bir elemanın üyelik değeri 0,36 ise elemanın %36 oranında o kümeyle ait olduğu sonucuna varılabilir (Aydın, [7]).

Bununla birlikte küme ve sınıfların oluşturulmasında insanların düşünme sistemlerinden faydalandığı da bir gerçektir; çünkü bireylerin çıkarım yapması, bilginin iletilmesi, algılanması, yorumlanması gibi noktalarda olaylar durumlar ile ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla bulanık kümelerde, klasik kümelerde yapılan bütün işlemler yapılabilir. Yalnız bunun tersi doğru değildir. Klasik kümelerde keskin ayrımlar bulunur ve yoruma yer yoktur, bulanık kümelerde ise olabirliğe de yer vermektedir (Şen, [40]).

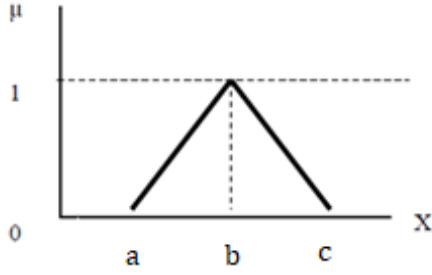
6.2.1. Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonları ile yapılan tanımlamalar, sistemlere ya da olaylara ait olma dereceleridir. Üyelik fonksiyonu, küme değerlerinin üyeliklerini belirten eğridir. Bu fonksiyonların birçok türü geliştirilerek sistemlere ya da olaylara uygulanmıştır. Üyelik fonksiyonuna ait değer bulanık kümedeki sisteme uygunluk derecesini belirtmektedir. Bir sistemin bulanık mantık aracılığıyla modellenmesinde alanında yetkin bireylerin tecrübeleri ve bilgilerinden faydalanılır. Üyelik fonksiyonunun çok fazla çeşidi bulunmaktadır, bunlardan yoğunlukla kullanılanlar Üçgensel Üyelik Fonksiyonu, Yamuk Üyelik Fonksiyonu, Gaussian Üyelik Fonksiyonu, Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu, Çan Eğirisi Üyelik Fonksiyonu ve S Üyelik Fonksiyonudur (Lai and Hwang, [24]). Bulanık kontrol kartlarının oluşturulması, işlem ortalaması hakkında önceden bilgi sahibi olmayı gerektirir. Süreçteki ortalamanın işlemin içinde olduğu düşünülürse işlemde alınan bir örneklem kullanılarak tahmin yapılabilir (Cheng, [14]). Üyelik fonksiyonuna ait grafik incelendiğinde X eksenini bulanık kümenin elemanlarını; Y eksenini de bu elemanların üyelik derecelerini belirtir.

Üçgensel Üyelik Fonksiyonları

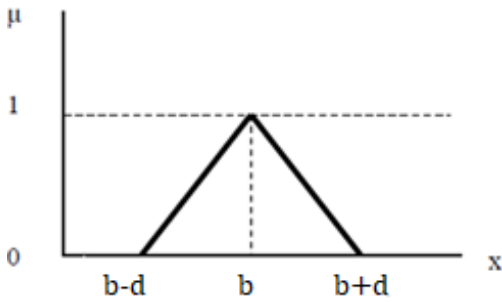
$$\mu_{\tilde{A}}(X; a, b, c) = \begin{cases} (X - a)/(b - a) & , a \leq X \leq b \\ (c - X)/(c - b) & , b \leq X \leq c \\ X \geq c & , 0 \end{cases} \quad (6.1)$$

Bu fonksiyonlar simetrik olmak zorunda değildir. Şekil (6.1), Eşitlik (6.1)'de üyelik fonksiyonunun grafiği verilmiştir. Oluşturulan grafikte üçgensel üyelik fonksiyonlarına ait bileşenler (a, b, c) olup, μ üyelik derecelerini gösterir.



Şekil 6.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu.

Şekil (6.1)'de üyelik fonksiyonları aracılığıyla, X değişkenine ait a alt ve c üst sınırları arasında bulunan her noktaya farklı bir üyelik derecesi atanmıştır (Şen, [40]). Üçgensel üyelik fonksiyonunda, öz olarak tanımlanan kısım, $\mu(X) = 1$ 'dir. Alt ve üst sınırlarda bulunan, sol ve sağa doğru olan kısımlar sol yayılım ve sağ yayılım olarak adlandırılır. Bu fonksiyonların simetrik olması durumunda sağ ve sol yayılım ifadelerine gerek kalmadan bu ifadelerin yerine yarı yayılım ya da yarıçap ifadeleri kullanılmaktadır. Sol yayılım ile sağ yayılım, simetrik üçgen üyelik fonksiyonlarında eşit olmaktadır. Şekil (6.2)'de her bir bulanık sayının simetrik üçgen üyelik fonksiyonlarında, " b " merkez, " d " de yarı yayılım değerlerini göstermektedir (Tanaka, [41]).



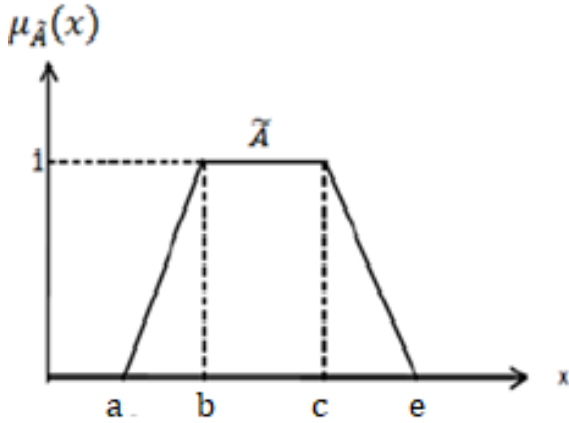
Şekil 6.2. Simetrik Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

Yamuk Üyelik Fonksiyonları

Dört çeşit parametre (a, b, c, e) ile tanımlanan yamuk üyelik fonksiyonlarından b ve c arasındaki doğru birden çok eleman barındırır ve kümenin özünü belirtir. Yamuk üyelik fonksiyonu \tilde{A} bulanık kümesi için Eşitlik (6.2)'de belirtilmiştir:

$$\mu_{\tilde{A}}(X) = \begin{cases} 0 & , X < a \\ (X - a) / (b - a) & , a \leq X \leq b \\ 1 & , b \leq X \leq c \\ (e - X) / (e - c) & , c \leq X \leq e \\ 0 & , X > e \end{cases} \quad (6.2)$$

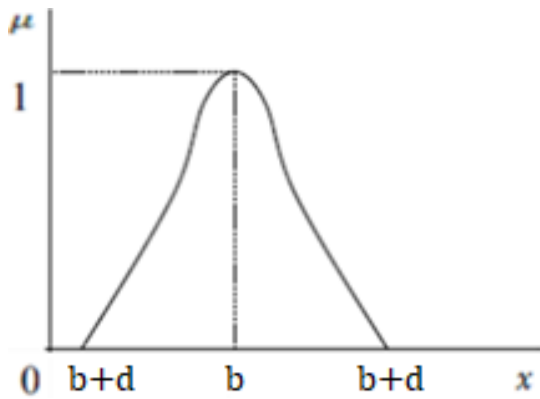
Şekil (6.3)'de Eşitlik (6.2)'deki yamuk üyelik fonksiyonunun grafiği verilmiştir.



Şekil 6.3. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Gaussian Üyelik Fonksiyonları

Gaussian üyelik fonksiyonu iki parametre içerir. Bu parametrelerden " b " merkezi ve " d " sapmayı gösterir. Matematiksel gösterimi $\mu_A(x) = \exp(-(x - b)^2 / 2 d^2)$ biçimindedir. Şekil (6.4)'te Gaussian Üyelik Fonksiyonunun grafiği görülmektedir.



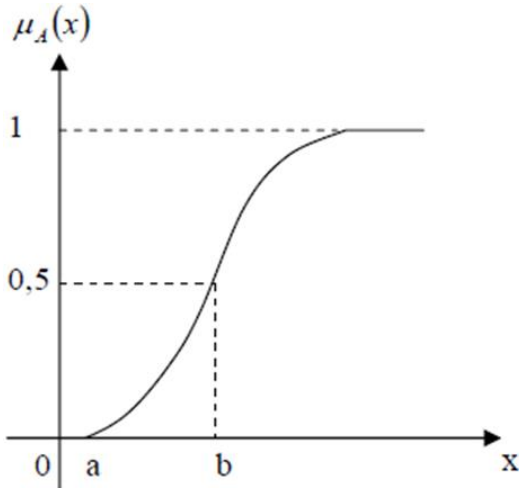
Şekil 6.4 Gaussian Üyelik Fonksiyonu (Tanaka, [41])

Sigmoidal Üyelik Fonksiyonları

İki parametresi bulunan sigmoidal üyelik fonksiyonunda, a , sigmoidal eğrinin X eksenini ile kesiştiği nokta iken, b ise $\mu_A(b) = 0,5$ (eğrinin orta noktası) değerini gösterir. Eşitlik (6.3) ile sigmoidal üyelik fonksiyonu verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(X) = \exp\left\{\frac{1}{1+e^{-a(x-b)}}\right\} \quad (6.3)$$

Bu üyelik fonksiyonuna ait grafik Şekil (6.5)'te gösterilmiştir [12, 19, 23, 24]:



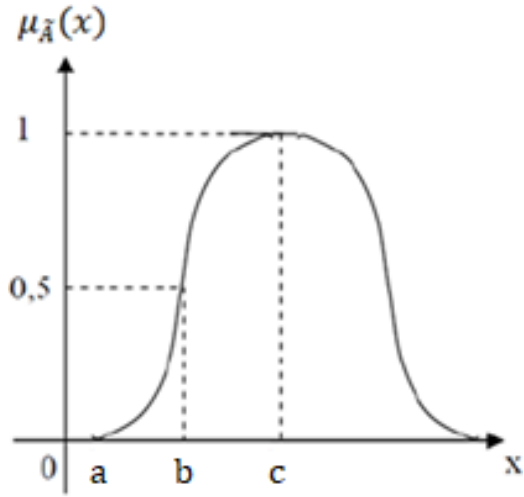
Şekil 6.5. Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonları

Üç parametresi (a, b, c) tanımlanan çan eğrisi üyelik fonksiyonunda parametrelerden a , grafiğin destek kümesinin alt sınırını ifade ederken b eğrinin orta noktasını (0,5 üyelik derecesi) göstermektedir (Pekin Alakoç, [33]).

Eşitlik (6.4)'te ve Şekil (6.6)'da çan eğrisi üyelik fonksiyonunun \tilde{A} bulanık kümesi için sırasıyla, eşitliği ve grafiği gösterilmiştir:

$$\mu_{\tilde{A}}(X) = \exp\left\{\frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^b}\right\} \quad (6.4)$$



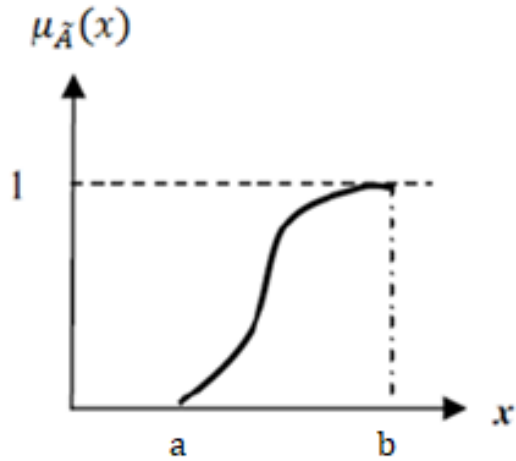
Şekil 6.6. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu

S Üyelik Fonksiyonları

S üyelik fonksiyonunda, a ve b olmak üzere iki çeşit parametre bulunmaktadır.

S üyelik fonksiyonu Eşitlik (6.5)'de gösterilmiş ve grafiği Şekil (6.7) ile verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(X) = \begin{cases} 0 & , X \leq a \\ 2 [(X - a) / (b - a)]^2 & , a \leq X \leq [(a + b)/2] \\ 1 - 2 [(X - b) / (b - a)]^2 & , [(a + b)/2] \leq X \leq b \\ 1 & , b \leq X \end{cases} \quad (6.5)$$



Şekil 6.7. S Üyelik Fonksiyonu

7. BULANIK KONTROL KARTLARI

Bulanık kontrol kartları, bulanık sayıların dönüştürülmesi ya da sözel ifadelerin dönüştürülmesi yoluyla ya da herhangi bir dönüşüm yapılmadan doğrudan kullanılabilir. Bulanık kontrol kartları verileri temsili değerlere dönüştürerek oluşturulur ve bu oluşumda farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Literatürde yoğunlukla tercih edilen yöntemler arasında, Direkt Bulanık Yaklaşım, α -Seviyesinde Bulanık Medyan Yaklaşımı, α -Seviyesinde Bulanık Orta Aralık Yaklaşımı ve Bulanık Mod (Tepe Değeri) Yaklaşımıdır. Bu çalışmada Direkt Bulanık Yaklaşım Metodu kullanılmış olup bu metot aşağıda detaylı olarak incelenmiştir (Kaya ve Kahraman, [25]).

7.1. Kontrol Kartları İçin Direkt Bulanık Yaklaşım

Verilerin hiçbir şekilde dönüştürülmemesi direkt bulanık yaklaşımı diğer yaklaşımlardan farklı kılan temel özelliğidir. Bu sayede bilgi kayıplarının önüne geçilmektedir. Direkt bulanık yaklaşıma göre alanların değerlendirilmesi yoluyla süreçler kontrol altında tutulabilir. Veriler tamamen sınırları belirtilen alanlar içerisinde ise sürecin kontrol altında olduğu söylenebilir. Alan yüzdesinin gösterimi β olarak ifade edilmektedir. β alınan değerlere bağlı olarak değerlendirilebilir ve böylece sürecin “kısmen kontrol dışı” veya “kısmen kontrol altında” olduğu şeklinde kararlar verilebilir (Köse, [26]).

Alınan ölçüm değerlerine bulanıklaştırma katsayısı (θ) eklenip, çıkarılarak ölçüm değerleri (a, b, c) ile gösterilen üçgensel bulanık sayılara dönüştürülür.

\tilde{X} kontrol kartı hesaplamaları yapılırken alınan ölçüm değerlerinden dönüştürülen üçgensel bulanık sayıların, aritmetik ortalama değerleri alınarak yine üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilen bir \tilde{X} kontrol kartı oluşturulmalıdır. k adet \tilde{x} ve \tilde{R} ölçüm değerlerini hesaplayabilmek için m alt grup büyüklüğünde ölçümler alınır. Eşitlik (7.1) ile hesaplanan \tilde{x} üçgensel bulanık sayısında p_1 alt, p_2 merkez, p_3 üst değerleri gösterir.

$$\tilde{x} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m a_i}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m b_i}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m} \right) = (p_1, p_2, p_3) \quad (7.1)$$

Bulanık, $\tilde{\bar{x}}$, \tilde{R} ve $\tilde{\bar{R}}$ değerlerinin belirlendiği eşitlikler, Eşitlik (7.2)-(7.4) ile verilmiştir.

$$\tilde{\bar{x}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m p_{1i}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^m p_{2i}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^m p_{3i}}{k} \right) = (\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (7.2)$$

$$\tilde{R} = [(a_{max} - c_{min}), (b_{max} - b_{min}), (c_{max} - a_{min})] = (t_1, t_2, t_3) \quad (7.3)$$

$$\tilde{\bar{R}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m t_{1i}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^m t_{2i}}{k}, \frac{\sum_{i=1}^m t_{3i}}{k} \right) = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) \quad (7.4)$$

Eşitlik (7.3)'de kullanılan $a_{max}, b_{max}, c_{max}$ sırasıyla a, b, c değerlerinin en büyük değerlerini, $a_{min}, b_{min}, c_{min}$ ise en küçük değerlerini temsil etmektedir. Oluşturulan bu \tilde{X} kontrol kartının kontrol limitleri, merkezi çizgisi, spesifikasyon limitleri Eşitlik (7.5)-(7.7) ile hesaplanır ve bu değerlere göre süreç yeterlilik analizleri yapılmalıdır.

$$\widetilde{ÜKL}_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{x}} + A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 + A_2 \bar{r}_1 \mu_2 + A_2 \bar{r}_2 \mu_3 + A_2 \bar{r}_1) = (\text{ÜKL}_{x_1}, \text{ÜKL}_{x_2}, \text{ÜKL}_{x_3}) \quad (7.5)$$

Eşitlik (7.5)'de kullanılan $\widetilde{ÜKL}_{\tilde{X}}, \tilde{\bar{x}}$ kontrol kartının bulanık üst kontrol limitini, A_2 ise n örneklem büyüklüğüne göre seçilen katsayıyı temsil eder.

$$\widetilde{MÇ}_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{x}} = (\mu_1 \mu_2 \mu_3) = (MÇ_{x_1}, MÇ_{x_2}, MÇ_{x_3}) \quad (7.6)$$

$$\widetilde{AKL}_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{x}} - A_2 \tilde{\bar{R}} = (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3 \mu_2 + A_2 \bar{r}_2 \mu_3 + A_2 \bar{r}_1) = (AKL_{x_1}, AKL_{x_2}, AKL_{x_3}) \quad (7.7)$$

Eşitlik (7.7)'de kullanılan $\widetilde{AKL}_{\tilde{X}}, \tilde{\bar{x}}$ kontrol kartının bulanık alt kontrol limitini, Eşitlik (7.6)'da kullanılan $\widetilde{MÇ}_{\tilde{X}}$ ise, \tilde{X} kontrol kartının bulanık ortalamasını yani merkezi çizgisini temsil eder. \tilde{X} kontrol kartının bulanık kontrol durumlarının incelenebilmesi için ise Eşitlik (7.8) kullanılmalıdır.

$$\widetilde{C}_{x_i} = \begin{cases} 1 & , (p_{3i} \leq \text{ÜKL}_{x_1}) \cap (p_{1i} \geq \text{AKL}_{x_3}) \\ 0 & , (p_{1i} > \text{ÜKL}_{x_3}) \cup (p_{3i} < \text{AKL}_{x_1}) \\ 1 - \frac{(p_{3i} - \text{ÜKL}_{x_1})}{p_{3i} - p_{1i}} & , (p_{3i} > \text{ÜKL}_{x_1}) \\ 1 - \frac{(\text{AKL}_{x_3} - p_{1i})}{p_{3i} - p_{1i}} & , (p_{1i} < \text{AKL}_{x_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(p_{3i} - \text{ÜKL}_{x_1})}{p_{3i} - p_{1i}}, 1 - \frac{(\text{AKL}_{x_3} - p_{1i})}{p_{3i} - p_{1i}} \right\} & , (p_{3i} > \text{ÜKL}_{x_1}) \cap (p_{1i} < \text{AKL}_{x_3}) \end{cases} \quad (7.8)$$

\tilde{R} kontrol kartının hesaplamalarının yapılabilmesi için de örneklem ölçüm değerlerinin maksimum ($a_{max}, b_{max}, c_{max}$) ve minimum değerleri ($a_{min}, b_{min}, c_{min}$) seçilmeli ve Eşitlik (7.9)-(7.11) kullanılarak \tilde{R} kontrol kartının spesifikasyon limitleri ve merkez çizgisi hesaplanmalı, yine üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilmelidir.

$$\widetilde{ÜKL}_R = \tilde{R} D_4 = (\bar{r}_1 D_4, \bar{r}_2 D_4, \bar{r}_3 D_4) = (\text{ÜKL}_{r_1}, \text{ÜKL}_{r_2}, \text{ÜKL}_{r_3}) \quad (7.9)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{R}} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) = (MÇ_{r_1}, MÇ_{r_2}, MÇ_{r_3}) \quad (7.10)$$

$$\widetilde{AKL}_R = \tilde{R} D_3 = (\bar{r}_1 D_3, \bar{r}_2 D_3, \bar{r}_3 D_3) = (AKL_{r_1}, AKL_{r_2}, AKL_{r_3}) \quad (7.11)$$

\tilde{R} kontrol kartının bulanık kontrol durumlarının incelenebilmesi için ise Eşitlik (7.12) kullanılmalıdır.

$$\widetilde{C}_{ri} = \begin{cases} 1 & , (t_{3i} \leq \text{ÜKL}_{r1}) \cap (t_{1i} \geq \text{AKL}_{r3}) \\ 0 & , (t_{1i} > \text{ÜKL}_{r3}) \cup (t_{3i} < \text{AKL}_{r1}) \\ 1 - \frac{(t_{3i} - \text{ÜKL}_{r1})}{t_{3i} - t_{1i}} & , (t_{3i} > \text{ÜKL}_{r1}) \\ 1 - \frac{(\text{AKL}_{r3} - t_{1i})}{t_{3i} - t_{1i}} & , (t_{1i} < \text{AKL}_{r3}) \\ \text{Min}\left\{1 - \frac{(t_{3i} - \text{ÜKL}_{r1})}{t_{3i} - t_{1i}}, 1 - \frac{(\text{AKL}_{r3} - t_{1i})}{t_{3i} - t_{1i}}\right\} & , (t_{3i} > \text{ÜKL}_{r1}) \cap (t_{1i} < \text{AKL}_{r3}) \end{cases} \quad (7.12)$$

$(\widetilde{X} - R)$ kontrol kartının bulanık genel kontrol durumlarının incelenebilmesi için ise Eşitlik (7.13) genel kontrol durumları kullanılmalıdır.

$$\widetilde{C}_{(\widetilde{X}-R)i} = \begin{cases} \text{Kontrol Altında} & , (C_{xi} = 1) \cap (C_{ri} = 1) \\ \text{Kontrol Dışında} & , (C_{xi} = 0) \cup (C_{ri} = 0) \\ \text{Kısmen Kontrol Altında} & , (C_{xi} \geq \beta) \cap (C_{ri} \geq \beta) \\ \text{Kısmen Kontrol Dışında} & , (C_{xi} < \beta) \cup (C_{ri} < \beta) \end{cases} \quad (7.13)$$

$(\widetilde{X} - R)$ kontrol kartının bulanık genel kontrol durumları belirlendikten sonra bulanık süreç yeterlilik analizi yapılmalıdır. Süreç yeterlilik analizinin yapılabilmesi için sürecin spesifikasyon limitleri ölçüm aralıklarını da kapsayarak yaklaşık olarak belirlenmeli ve üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilmelidir.

$$\widetilde{USL} = (v_1, v_2, v_3) \quad (7.14)$$

$$\widetilde{ASL} = (y_1, y_2, y_3) \quad (7.15)$$

Sürecin spesifikasyon limitleri belirlendikten sonra süreç yeterlilik indislerinin hesaplanabilmesi için, sürecin bulanık standart sapması ve bulanık ortalaması Eşitlik (7.16)-(7.17) ile hesaplanır.

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (7.16)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{R}}{d_2} = \left(\frac{\bar{r}_1}{d_2}, \frac{\bar{r}_2}{d_2}, \frac{\bar{r}_3}{d_2}\right) = (z_1, z_2, z_3) \quad (7.17)$$

Bulanık süreç yeterlilik indisleri Eşitlik (7.18)-(7.20)'e göre hesaplanıp üçgensel bulanık sayılar şeklinde ifade edilmelidir. Süreç yeterliliğini ifade eden bulanık yeterlilik indisi ise \widetilde{C}_{pk} olarak ifade edilir ve Eşitlik (7.21) ile hesaplanır.

$$\widetilde{C}_p = \frac{\widetilde{USL} - \widetilde{ASL}}{6\tilde{\sigma}} = \left(\frac{v_1 - y_3}{6z_3}, \frac{v_2 - y_2}{6z_2}, \frac{v_3 - y_1}{6z_1}\right) \quad (7.18)$$

$$\widetilde{C}_{pu} = \frac{\widetilde{USL} - \widetilde{\mu}}{3\widetilde{\sigma}} = \left(\frac{v_1 - \mu_3}{3z_3}, \frac{v_2 - \mu_2}{3z_2}, \frac{v_3 - \mu_1}{3z_1} \right) \quad (7.19)$$

$$\widetilde{C}_{pl} = \frac{\widetilde{\mu} - \widetilde{ASL}}{3\widetilde{\sigma}} = \left(\frac{\mu_1 - y_3}{3z_3}, \frac{\mu_2 - y_2}{3z_2}, \frac{\mu_3 - y_1}{3z_1} \right) \quad (7.20)$$

$$\widetilde{C}_{pk} = \min\{\widetilde{C}_{pu}, \widetilde{C}_{pl}\} \quad (7.21)$$

Eşitlik (7.19)-(7.20)'de, \widetilde{C}_{pu} sürecin bulanık üst yeterlilik indisini, \widetilde{C}_{pl} ise bulanık alt yeterlilik indisini ifade eder. Sürecin “yeterli” olarak tanımlanabilmesi için geleneksel süreç yeterlilik değerinin Eşitlik (7.22)-(7.23)'e göre hesaplanması gereklidir.

$$\widetilde{C}_{pk} = \begin{cases} 0 & , x_3 \leq 1.33 \\ 1 & , x_1 \geq 1.33 \\ \frac{(x_3 - 1.33)}{x_3 - x_1} & , (x_3 > 1.33) \cap (x_1 < 1.33) \end{cases} \quad (7.22)$$

$$\text{Süreç yeterlilik} = \begin{cases} \text{Süreç Yeterli} & , (\widetilde{C}_{pk} = 1) \\ \text{Süreç Yetersiz} & , (\widetilde{C}_{pk} = 0) \\ \text{Süreç Kısmen Yetersiz} & , (C_{pk} < \theta) \\ \text{Süreç Kısmen Yeterli} & , (C_{pk} \geq \theta) \end{cases} \quad (7.23)$$

Bulanıklaştırma katsayısı olarak da kullandığımız θ , süreç yeterlilik değerinin “yeterli” kategorisinde değerlendirilebilmesi için bulanıklaştırma katsayısının 1.33 sınır değerini ne kadar aşabileceğini gösterir. Bulanıklaştırma katsayısı θ , ($0 < \theta < 1$) aralığında olmalıdır. Bulanıklaştırma katsayısına bağlı olarak verilen bulanık süreç yeterlilik kararı Eşitlik (7.23) ile belirlenir.

8. UYGULAMA

Bu çalışmanın uygulama kısmında, askeri araçların süspansiyon sistemleri için amortisör sistemi üretimi yapan bir şirketin üretimini yaptığı amortisör milinin geçirdiği kaplama işlemi ardından yapılan çap ölçümlerinde toplanan verilerin, kontrol durumları ve süreç yeterlilik analizleri yapılmıştır. Tablo (8.1) amortisör mili çap ölçüm verilerinin belirli bir zaman aralığında alınmış ve rasgele olarak seçilmiş yaklaşık sayısal ölçüm değerlerini göstermektedir. Amortisör mili çap ölçümleri için spesifikasyon limitleri müşteri taleplerine göre ASL 64 mm ÜSL 65 mm olarak belirlenmiştir.

İncelenecek sürecin yeterliliğinin belirlenmesi için, verilerde bilgi kaybına sebep olmamak adına veri dönüştürme işleminin yapılmak istenmemesi sebebiyle, '*Direkt Bulanık Yaklaşım*' yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 8.1. Süspansiyon Sistemi Amortisör Mili Çap Ölçümleri.

| Örnek | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 64,9645 | 64,9774 | 64,9499 | 64,9699 | 64,9187 |
| 2 | 64,9487 | 64,9522 | 64,9468 | 64,9635 | 64,9715 |
| 3 | 64,9492 | 64,9528 | 64,9436 | 64,9568 | 64,9258 |
| 4 | 64,9531 | 64,9608 | 64,9601 | 64,9655 | 64,9285 |
| 5 | 64,9675 | 64,9652 | 64,9447 | 64,9569 | 64,9349 |
| 6 | 64,9558 | 64,9680 | 64,9652 | 64,9556 | 64,9343 |
| 7 | 64,9541 | 64,9547 | 64,9613 | 64,9583 | 64,9100 |
| 8 | 64,9607 | 64,9753 | 64,9696 | 64,9789 | 64,9265 |
| 9 | 64,9641 | 64,9771 | 64,9658 | 64,9701 | 64,9561 |
| 10 | 64,9609 | 64,9625 | 64,9519 | 64,9594 | 64,9708 |
| 11 | 64,9526 | 64,9568 | 64,9583 | 64,9460 | 64,9767 |
| 12 | 64,9554 | 64,9635 | 64,9522 | 64,9785 | 64,9214 |
| 13 | 64,9609 | 64,9546 | 64,9467 | 64,9614 | 64,9638 |
| 14 | 64,9608 | 64,9703 | 64,9530 | 64,9723 | 65,0000 |
| 15 | 64,9510 | 64,9476 | 64,9579 | 64,9598 | 65,0000 |
| 16 | 64,9394 | 64,9504 | 64,9621 | 64,9577 | 64,9418 |
| 17 | 64,9656 | 64,9634 | 64,9599 | 64,9520 | 64,9380 |
| 18 | 64,9710 | 64,9515 | 64,9573 | 64,9698 | 64,9790 |
| 19 | 64,9728 | 64,9500 | 64,9779 | 64,9553 | 64,9100 |
| 20 | 64,9580 | 64,9596 | 64,9806 | 64,9486 | 64,9904 |
| 21 | 64,9503 | 64,9473 | 64,9479 | 64,9572 | 64,9851 |
| 22 | 64,9594 | 64,9706 | 64,9539 | 64,9504 | 64,9412 |
| 23 | 64,9609 | 64,9724 | 64,9585 | 64,9623 | 64,9451 |
| 24 | 64,9528 | 64,9613 | 64,9678 | 64,9610 | 64,9603 |
| 25 | 64,9564 | 64,9649 | 64,9616 | 64,9637 | 64,9920 |
| 26 | 64,9632 | 64,9665 | 64,9679 | 64,9371 | 64,9793 |
| 27 | 64,9625 | 64,9759 | 64,9635 | 64,9631 | 64,9356 |

Uygulamanın ilk aşaması olarak, süreçten alınan verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı test edilecektir. Normal dağılım testi için Minitab 19'daki normallik testlerinden Anderson-Darling kullanılmıştır.

Amortisör milinin çap ölçümlerine uygulanan Anderson-Darling normallik testi sonuçlarında gözlemlenen '*P – Value*' değerleri $p_1 = 0,854$, $p_2 = 0,468$, $p_3 = 0,787$, $p_4 = 0,638$, $p_5 = 0,162$ dir. Bu sonuçlara göre, $\alpha = 0.05$ anlamlılık seviyesinden büyük olduğu için alınan örneklem normal dağılıma uygundur olarak kurulan H_0 hipotezi kabul edilir.

Tablo (8.1)'de yaklaşık olarak alınan ölçüm sonuçları 0.005 mm bulanıklaştırma katsayısı kullanılarak Tablo (8.2)'deki üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve böylece alınan ölçüm değerleri bulanıklaştırılmıştır.

Tablo 8.2. Amortisör Mili Çap Ölçümleri Üçgensel Bulanık Sayı Gözlem Değerleri.

| Örnek | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. | (64.9595, 64.9645, 64.9695) | (64.9727, 64.9774, 64.9824) | (64.9449, 64.9499, 64.9549) | (64.9649, 64.9699, 64.9749) | (64.9137, 64.9187, 64.9237) |
| 2. | (64.9437, 64.9487, 64.9537) | (64.9472, 64.9522, 64.9572) | (64.9418, 64.9468, 64.9518) | (64.9585, 64.9635, 64.9685) | (64.9665, 64.9715, 64.9765) |
| 3. | (64.9442, 64.9492, 64.9542) | (64.9478, 64.9528, 64.9578) | (64.9386, 64.9436, 64.9486) | (64.9518, 64.9568, 64.9618) | (64.9208, 64.9258, 64.9308) |
| 4. | (64.9481, 64.9531, 64.9581) | (64.9558, 64.9608, 64.9658) | (64.9551, 64.9601, 64.9651) | (64.9605, 64.9655, 64.9705) | (64.9235, 64.9285, 64.9335) |
| 5. | (64.9625, 64.9675, 64.9725) | (64.9602, 64.9652, 64.9702) | (64.9397, 64.9447, 64.9497) | (64.9519, 64.9569, 64.9619) | (64.9299, 64.9349, 64.9399) |
| 6. | (64.9508, 64.9558, 64.9608) | (64.9630, 64.9680, 64.9730) | (64.9602, 64.9652, 64.9702) | (64.9506, 64.9556, 64.9606) | (64.9293, 64.9343, 64.9393) |
| 7. | (64.9491, 64.9541, 64.9591) | (64.9497, 64.9547, 64.9597) | (64.9563, 64.9613, 64.9663) | (64.9533, 64.9583, 64.9633) | (64.9050, 64.9100, 64.9150) |
| 8. | (64.9557, 64.9607, 64.9657) | (64.9703, 64.9753, 64.9803) | (64.9646, 64.9696, 64.9746) | (64.9739, 64.9789, 64.9839) | (64.9215, 64.9265, 64.9315) |
| 9. | (64.9591, 64.9641, 64.9691) | (64.9721, 64.9771, 64.9821) | (64.9608, 64.9658, 64.9708) | (64.9651, 64.9701, 64.9751) | (64.9511, 64.9561, 64.9611) |
| 10. | (64.9559, 64.9609, 64.9659) | (64.9575, 64.9625, 64.9675) | (64.9469, 64.9519, 64.9569) | (64.9544, 64.9594, 64.9644) | (64.9658, 64.9708, 64.9758) |
| 11. | (64.9476, 64.9526, 64.9576) | (64.9518, 64.9568, 64.9618) | (64.9533, 64.9583, 64.9633) | (64.9410, 64.9460, 64.9510) | (64.9717, 64.9767, 64.9817) |
| 12. | (64.9504, 64.9554, 64.9604) | (64.9585, 64.9635, 64.9685) | (64.9472, 64.9522, 64.9572) | (64.9735, 64.9785, 64.9835) | (64.9164, 64.9214, 64.9264) |
| 13. | (64.9559, 64.9609, 64.9659) | (64.9496, 64.9546, 64.9596) | (64.9417, 64.9467, 64.9517) | (64.9564, 64.9614, 64.9664) | (64.9588, 64.9638, 64.9688) |
| 14. | (64.9558, 64.9608, 64.9658) | (64.9653, 64.9703, 64.9753) | (64.9480, 64.9530, 64.9580) | (64.9673, 64.9723, 64.9773) | (64.9950, 65.0000, 65.0050) |
| 15. | (64.9640, 64.9510, 64.9560) | (64.9426, 64.9476, 64.9526) | (64.9529, 64.9579, 64.9629) | (64.9548, 64.9598, 64.9648) | (64.9950, 65.0000, 65.0050) |
| 16. | (64.9344, 64.9394, 64.9444) | (64.9454, 64.9504, 64.9554) | (64.9571, 64.9621, 64.9671) | (64.9527, 64.9577, 64.9627) | (64.9368, 64.9418, 64.9468) |
| 17. | (64.9606, 64.9656, 64.9706) | (64.9584, 64.9634, 64.9684) | (64.9549, 64.9599, 64.9649) | (64.9470, 64.9520, 64.9570) | (64.9330, 64.9380, 64.9430) |
| 18. | (64.9660, 64.9710, 64.9760) | (64.9465, 64.9515, 64.9565) | (64.9523, 64.9573, 64.9623) | (64.9648, 64.9698, 64.9748) | (64.9740, 64.9790, 64.9840) |
| 19. | (64.9678, 64.9728, 64.9778) | (64.9450, 64.9500, 64.9550) | (64.9729, 64.9779, 64.9829) | (64.9503, 64.9553, 64.9603) | (64.9100, 64.9150, 64.9200) |
| 20. | (64.9530, 64.9580, 64.9630) | (64.9546, 64.9596, 64.9646) | (64.9756, 64.9806, 64.9856) | (64.9436, 64.9486, 64.9536) | (64.9854, 64.9904, 64.9954) |
| 21. | (64.9453, 64.9503, 64.9553) | (64.9423, 64.9473, 64.9523) | (64.9429, 64.9479, 64.9529) | (64.9522, 64.9572, 64.9622) | (64.9801, 64.9851, 64.9901) |
| 22. | (64.9544, 64.9594, 64.9644) | (64.9656, 64.9706, 64.9756) | (64.9489, 64.9539, 64.9589) | (64.9454, 64.9504, 64.9554) | (64.9362, 64.9412, 64.9462) |
| 23. | (64.9559, 64.9609, 64.9659) | (64.9674, 64.9724, 64.9774) | (64.9535, 64.9585, 64.9635) | (64.9573, 64.9623, 64.9673) | (64.9401, 64.9451, 64.9501) |
| 24. | (64.9478, 64.9528, 64.9578) | (64.9563, 64.9613, 64.9663) | (64.9628, 64.9678, 64.9728) | (64.9560, 64.9610, 64.9660) | (64.9553, 64.9603, 64.9653) |
| 25. | (64.9514, 64.9564, 64.9614) | (64.9599, 64.9649, 64.9699) | (64.9566, 64.9616, 64.9666) | (64.9587, 64.9637, 64.9687) | (64.9870, 64.9920, 64.9970) |
| 26. | (64.9582, 64.9632, 64.9682) | (64.9615, 64.9665, 64.9715) | (64.9629, 64.9679, 64.9729) | (64.9321, 64.9371, 64.9421) | (64.9743, 64.9793, 64.9843) |
| 27. | (64.9575, 64.9625, 64.9675) | (64.9709, 64.9759, 64.9809) | (64.9585, 64.9635, 64.9685) | (64.9581, 64.9631, 64.9681) | (64.9306, 64.9356, 64.9406) |

Bulanıklaştırma katsayısının değeri, ölçümlerin alındığı esnadaki krom kaplama çözültisi kimyasallarının yüzde değerlerindeki değişim miktarlarına, işçilik farklılığına, ölçüm yapılırken yapılan hataların oranına bağlı olarak belirlenmiştir.

Ölçüm alınırken yapılan hatalar, ikinci bölümde “Ölçümede Hatalar” başlığı altında incelenmiştir. Bu hata çeşitleri, cihaz ya da sistem içi hatalar, cihaz ya da sistem dışı hatalar ve rastlantı hataları olarak sınıflandırılabilirler. Cihaz ya da sistem içi hatalardan kaynaklı ölçme hataları süreç analiz kararlarının da hatalı olarak verilmesine sebep olabilmektedir. Bu yanlış kararlar ise gereksiz yeniden işleme maliyetlerine, teslimat sürecinde gecikmelere dolayısıyla ceza maliyetlerine ya da kusurlu ürünlerin varlığını fark edememeye ve müşteriye uygunsuz ürün göndermeye sebep olmaktadır.

Alınan ölçüm değerleri Eşitlik (7.1) kullanılarak \tilde{X} kontrol kartı oluşturulmuş ve Tablo (8.3) ile verilmiştir.

Tablo 8.3. Amortisör Mili Çap Ölçüm Değerleri Bulanık \tilde{X} Kontrol Kartı

| Örnek | \tilde{X} Kontrol Kartı |
|--------------|---|
| 1. | (64,9511, 64,9561, 64,9611) |
| 2. | (64,9515, 64,9565, 64,9615) |
| 3. | (64,9406, 64,9456, 64,9506) |
| 4. | (64,9486, 64,9536, 64,9586) |
| 5. | (64,9488, 64,9538, 64,9588) |
| 6. | (64,9508, 64,9558, 64,9608) |
| 7. | (64,9427, 64,9477, 64,9527) |
| 8. | (64,9572, 64,9622, 64,9672) |
| 9. | (64,9616, 64,9666, 64,9716) |
| 10. | (64,9561, 64,9611, 64,9661) |
| 11. | (64,9531, 64,9581, 64,9631) |
| 12. | (64,9492, 64,9542, 64,9592) |
| 13. | (64,9525, 64,9575, 64,9625) |
| 14. | (64,9663, 64,9713, 64,9763) |
| 15. | (64,9583, 64,9633, 64,9683) |
| 16. | (64,9453, 64,9503, 64,9553) |
| 17. | (64,9508, 64,9558, 64,9608) |
| 18. | (64,9607, 64,9657, 64,9707) |
| 19. | (64,9492, 64,9542, 64,9592) |
| 20. | (64,9624, 64,9674, 64,9724) |
| 21. | (64,9526, 64,9576, 64,9626) |
| 22. | (64,9501, 64,9551, 64,9601) |
| 23. | (64,9548, 64,9598, 64,9648) |
| 24. | (64,9556, 64,9606, 64,9656) |
| 25. | (64,9627, 64,9677, 64,9727) |
| 26. | (64,9578, 64,9628, 64,9678) |
| 27. | (64,9551, 64,9601, 64,9651) |

Amortisör mili çap ölçüm değerleri bulanık \tilde{X} kalite kontrol kartı bulanık kontrol limitleri ve bulanık merkezi çizgi değerleri Eşitlik (7.5)-(7.7) kullanılarak hesaplanmış ve Eşitlik (8.1)-(8.3) ile verilmiştir.

$$\widetilde{ÜKL}_{\tilde{X}} = (64.9686, 64.9794, 64.9902) \quad (8.1)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{x}} = (64.9535, 64.9585, 64.9635) \quad (8.2)$$

$$\widetilde{AKL}_{\tilde{X}} = (64.9385, 64.9377, 64.9369) \quad (8.3)$$

\tilde{X} kontrol kartı tek başına kullanılmaz, işleyen sürecin ortalama değeri bu kartla hesaplanırken, değişim değeri aralığı kaynaklı farklılıkların da gözlemlenmesi gerekir ve bunun için de \tilde{R} kontrol kartı kullanılır. Bu hesaplamalarının yapılabilmesi için seçilen 5 adet amortisör milinin çap ölçüm değerleri için Tablo (8.2)'de verilen üçgensel bulanık sayılara göre maksimum, minimum değerler saptanıp Tablo (8.4)'de verilmiştir.

Tablo 8.4. Amortisör Mili Çap Ölçümleri İçin Bulanık Maksimum ve Minimum Değerleri

| No | MAX | MIN |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. | (64,9724, 64,9774, 64,9824) | (64,9137, 64,9187, 64,9237) |
| 2. | (64,9665, 64,9715, 64,9765) | (64,9418, 64,9468, 64,9518) |
| 3. | (64,9518, 64,9568, 64,9618) | (64,9208, 64,9258, 64,9308) |
| 4. | (64,9605, 64,9655, 64,9705) | (64,9235, 64,9285, 64,9335) |
| 5. | (64,9625, 64,9675, 64,9725) | (64,9299, 64,9349, 64,9399) |
| 6. | (64,9630, 64,9680, 64,9730) | (64,9293, 64,9343, 64,9393) |
| 7. | (64,9563, 64,9613, 64,9663) | (64,9050, 64,9100, 64,9150) |
| 8. | (64,9739, 64,9789, 64,9839) | (64,9215, 64,9265, 64,9315) |
| 9. | (64,9721, 64,9771, 64,9821) | (64,9511, 64,9561, 64,9611) |
| 10. | (64,9658, 64,9708, 64,9758) | (64,9469, 64,9519, 64,9569) |
| 11. | (64,9717, 64,9767, 64,9817) | (64,9410, 64,9460, 64,9510) |
| 12. | (64,9735, 64,9785, 64,9835) | (64,9164, 64,9214, 64,9264) |
| 13. | (64,9588, 64,9638, 64,9688) | (64,9417, 64,9467, 64,9517) |
| 14. | (64,9950, 65,0000, 65,0050) | (64,9480, 64,9530, 64,9580) |
| 15. | (64,9950, 65,0000, 65,0050) | (64,9426, 64,9476, 64,9526) |
| 16. | (64,9571, 64,9621, 64,9671) | (64,9344, 64,9394, 64,9444) |
| 17. | (64,9606, 64,9656, 64,9706) | (64,9330, 64,9380, 64,9430) |
| 18. | (64,9740, 64,9790, 64,9840) | (64,9465, 64,9515, 64,9565) |
| 19. | (64,9729, 64,9779, 64,9829) | (64,9100, 64,9150, 64,9200) |
| 20. | (64,9854, 64,9904, 64,9954) | (64,9436, 64,9486, 64,9536) |
| 21. | (64,9801, 64,9851, 64,9901) | (64,9423, 64,9473, 64,9523) |
| 22. | (64,9656, 64,9706, 64,9756) | (64,9362, 64,9412, 64,9462) |
| 23. | (64,9674, 64,9724, 64,9774) | (64,9401, 64,9451, 64,9501) |
| 24. | (64,9628, 64,9678, 64,9728) | (64,9478, 64,9528, 64,9578) |
| 25. | (64,9870, 64,9920, 64,9970) | (64,9514, 64,9564, 64,9614) |
| 26. | (64,9743, 64,9793, 64,9843) | (64,9321, 64,9371, 64,9421) |
| 27. | (64,9709, 64,9759, 64,9809) | (64,9306, 64,9356, 64,9406) |

Tablo (8.4)'de verilen maksimum ve minimum değerlerle, Eşitlik (7.3) kullanılarak bulanık \tilde{R} kontrol kartı oluşturulmuş ve Tablo (8.5) ile verilmiştir. Bu çalışmada, \tilde{R} kontrol kartının yayılım analizi için seçilmiş olmasının sebebi örneklem sayısının ondan az olmasıdır.

Tablo 8.5. Amortisör Mili Çap Ölçüm Değerleri Bulanık \tilde{R} Kontrol Kartı

| Örnek | \tilde{R} Kontrol Kartı |
|-------|---------------------------|
| 1. | (0,0487, 0,0587, 0,0687) |
| 2. | (0,0147, 0,0247, 0,0347) |
| 3. | (0,0210, 0,0310, 0,0410) |
| 4. | (0,0270, 0,0370, 0,0470) |
| 5. | (0,0226, 0,0326, 0,0426) |
| 6. | (0,0237, 0,0337, 0,0437) |
| 7. | (0,0413, 0,0513, 0,0613) |
| 8. | (0,0424, 0,0524, 0,0624) |
| 9. | (0,0110, 0,0210, 0,0310) |
| 10. | (0,0089, 0,0189, 0,0289) |
| 11. | (0,0207, 0,0307, 0,0407) |
| 12. | (0,0471, 0,0571, 0,0671) |
| 13. | (0,0071, 0,0171, 0,0271) |
| 14. | (0,0370, 0,0470, 0,0570) |
| 15. | (0,0424, 0,0524, 0,0624) |
| 16. | (0,0127, 0,0227, 0,0327) |
| 17. | (0,0176, 0,0276, 0,0376) |
| 18. | (0,0175, 0,0275, 0,0375) |
| 19. | (0,0529, 0,0629, 0,0729) |
| 20. | (0,0318, 0,0418, 0,0518) |
| 21. | (0,0278, 0,0378, 0,0478) |
| 22. | (0,0194, 0,0294, 0,0394) |
| 23. | (0,0173, 0,0273, 0,0373) |
| 24. | (0,0050, 0,0150, 0,0250) |
| 25. | (0,0256, 0,0356, 0,0456) |
| 26. | (0,0322, 0,0422, 0,0522) |
| 27. | (0,0303, 0,0403, 0,0503) |

Amortisör mili çap ölçüm değerleri için oluşturulacak bulanık \tilde{R} kalite kontrol kartı için, bulanık kontrol limitleri ve bulanık merkezi çizgi değerleri Eşitlik (7.9)-(7.11) kullanılarak hesaplanmış, Eşitlik (8.4)-(8.6) ile verilmiştir.

$$\widetilde{ÜKL}_R = (0.0553, 0.0764, 0.0976) \quad (8.4)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\tilde{X}} = \tilde{R} = (0.0261, 0.0361, 0.0461) \quad (8.5)$$

$$\widetilde{AKL}_R = (0.0000, 0.0000, 0.0000) \quad (8.6)$$

Sonraki durulaştırma adımı için metot olarak 'Ağırlıklı Ortalama Metodu' seçilmiştir.

Eşitlik (7.8)-(7.12) kullanılarak, \tilde{X} kontrol kartının ve \tilde{R} kontrol kartının kontrol sonuçları Tablo (8.6) ile verilmiştir.

Tablo 8.6. Amortisör Mili Çap Ölçümleri Ortalama ve Değişim Aralığı Değerleri ile Kontrol Sonuçları

| Örnek | \bar{X} | \bar{R} | \bar{X} Karar | \bar{R} Karar |
|---------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. | (64.9511, 64.9561, 64.9611) | (0.0487, 0.0587, 0.0687) | (1.0000) Kontrol Altında | (0.3286) Kısmen Kontrol Dışında |
| 2. | (64.9515, 64.9565, 64.9615) | (0.0147, 0.0247, 0.0347) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 3. | (64.9406, 64.9456, 64.9506) | (0.0210, 0.0310, 0.0410) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 4. | (64.9486, 64.9536, 64.9586) | (0.0270, 0.0370, 0.0470) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 5. | (64.9488, 64.9538, 64.9588) | (0.0226, 0.0326, 0.0426) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 6. | (64.9508, 64.9558, 64.9608) | (0.0237, 0.0337, 0.0437) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 7. | (64.9427, 64.9477, 64.9527) | (0.0413, 0.0513, 0.0613) | (1.0000) Kontrol Altında | (0.7005) Kısmen Kontrol Altında |
| 8. | (64.9572, 64.9622, 64.9672) | (0.0424, 0.0524, 0.0624) | (1.0000) Kontrol Altında | (0,6436) Kısmen Kontrol Altında |
| 9. | (64.9616, 64.9666, 64.9716) | (0.0110, 0.0210, 0.0310) | (0.6987) Kısmen Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 10. | (64.9561, 64.9611, 64.9661) | (0.0089, 0.0189, 0.0289) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 11. | (64.9531, 64.9581, 64.9631) | (0.0207, 0.0307, 0.0407) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 12. | (64.9492, 64.9542, 64.9592) | (0.0471, 0.0571, 0.0671) | (1.0000) Kontrol Altında | (0.4086) Kısmen Kontrol Dışında |
| 13. | (64.9525, 64.9575, 64.9625) | (0.0071, 0.0171, 0.0271) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 14. | (64.9663, 64.9713, 64.9763) | (0.0370, 0.0470, 0.0570) | (0.2336) Kısmen Kontrol Dışında | (0,9145) Kısmen Kontrol Altında |
| 15. | (64.9583, 64.9633, 64.9683) | (0.0424, 0.0524, 0.0624) | (1.0000) Kontrol Altında | (0,6436) Kısmen Kontrol Altında |
| 16. | (64.9453, 64.9503, 64.9553) | (0.0127, 0.0227, 0.0327) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 17. | (64.9508, 64.9558, 64.9608) | (0.0176, 0.0276, 0.0376) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 18. | (64.9607, 64.9657, 64.9707) | (0.0175, 0.0275, 0.0375) | (0.7898) Kısmen Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 19. | (64.9492, 64.9542, 64.9592) | (0.0529, 0.0629, 0.0729) | (1.0000) Kontrol Altında | (0,1202) Kısmen Kontrol Dışında |
| 20. | (64.9624, 64.9674, 64.9724) | (0.0318, 0.0418, 0.0518) | (0,6189) Kısmen Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 21. | (64.9526, 64.9576, 64.9626) | (0.0278, 0.0378, 0.0478) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 22. | (64.9501, 64.9551, 64.9601) | (0.0194, 0.0294, 0.0394) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 23. | (64.9548, 64.9598, 64.9648) | (0.0173, 0.0273, 0.0373) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 24. | (64.9556, 64.9606, 64.9656) | (0.0050, 0.0150, 0.0250) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 25. | (64.9627, 64.9677, 64.9727) | (0.0256, 0.0356, 0.0456) | (0,5899) Kısmen Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 26. | (64.9578, 64.9628, 64.9678) | (0.0322, 0.0422, 0.0522) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| 27. | (64.9551, 64.9601, 64.9651) | (0.0303, 0.0403, 0.0503) | (1.0000) Kontrol Altında | (1.0000) Kontrol Altında |
| Toplam | (64.9535, 64.9585, 64.9635) | (0.0261, 0,0361, 0,0461) | Kontrol Altında | Kontrol Altında |

Tablo (8.6) kullanılarak, Eşitlik (7.13) ile bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ kontrol kartının genel kontrol durumuyla ilgili elde ettiğimiz sonuçlar Tablo (8.7)'de belirtilmiştir.

Tablo 8.7. Amortisör Mili Çap Ölçüm Değerleri Bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ Kontrol Kartı Karar Tablosu

| Örnek | $\tilde{X} - \tilde{R}$ Kontrol Kartı Karar | | |
|-------|---|--------|-------------------------------|
| 1. | 1,0000 | 0,3286 | <i>Kısmen Kontrol Dışında</i> |
| 2. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 3. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 4. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 5. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 6. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 7. | 1,0000 | 0,7005 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 8. | 1,0000 | 0,6436 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 9. | 0,6987 | 1,0000 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 10. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 11. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 12. | 1,0000 | 0,4086 | <i>Kısmen Kontrol Dışında</i> |
| 13. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 14. | 0,2336 | 0,9145 | <i>Kısmen Kontrol Dışında</i> |
| 15. | 1,0000 | 0,6436 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 16. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 17. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 18. | 0,7898 | 1,0000 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 19. | 1,0000 | 0,1202 | <i>Kısmen Kontrol Dışında</i> |
| 20. | 0,6189 | 1,0000 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 21. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 22. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 23. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 24. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 25. | 0,5899 | 1,0000 | <i>Kısmen Kontrol Altında</i> |
| 26. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |
| 27. | 1,0000 | 1,0000 | <i>Kontrol Altında</i> |

$\tilde{X} - \tilde{R}$ bulanık kontrol kartı verilerinin genel kontrol durumunun incelenmesinin ardından süreç yeterlilik analizinin yapılabilmesi için öncelikle süreç spesifikasyon limitlerinin belirlenip, üçgensel bulanık sayılar halinde Eşitlik (8.7)-(8.8)'de belirtilmiştir.

$$\tilde{USL} = (64.995, 65, 65.005) \quad (8.7)$$

$$\tilde{ASL} = (63.995, 64, 64.005) \quad (8.8)$$

Bulanık süreç yeterlilik indislerinin hesaplanabilmesi için sürecin bulanık standart sapması ve bulanık ortalamasının da belirlenmesi gerekmektedir. Sürecin bulanık ortalaması ve standart sapması Eşitlik (7.16)-(7.17)'ye göre hesaplanmış ve Eşitlik (8.9)-(8.10)'da sonuçlar verilmiştir.

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = (64.95354, 64.95854, 64.96354) \quad (8.9)$$

$$\tilde{\sigma} = (0.011235, 0.015534, 0.019834) \quad (8.10)$$

Müşteri gereksinimlerini yerine getirmek için, bulanık süreç yeterlilik analizleri istatistiksel süreç kontrol teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu indislerin hesaplanabilmesi için bulanık üst ve alt spesifikasyon limitleri, bulanık standart sapma ve ortalama değeri hesaplanmış ve Eşitlik (8.7)-(8.10)'da bu sonuçlar verilmiştir. Süreç yeterlilik değeri bu süreç için $\theta = 0.50$ olarak belirlenmiştir.

Potansiyel bulanık süreç yeterliliği değerlendirilirken, Eşitlik (7.22) kullanılarak, Eşitlik (8.11)'deki süreç yeterlilik indisi sonuçları elde edilir.

$$\widetilde{C}_p = (8.319188, 10.72885, 14.98265) \quad (8.11)$$

Bu sonuçlara göre 8.319188, 1.33'ten büyük olduğu için süreç “*yeterli*” kabul edilir. Üst ve alt bulanık spesifikasyon limitlerinin yeterlilik indisleri Eşitlik (7.19)-(7.20)'ye göre hesaplanmış ve Eşitlik (8.12)-(8.13)'de sonuçları verilmiştir. Bulanık süreç yeterlilik indisi ise \widetilde{C}_{pk} olarak ifade edilir ve Eşitlik (7.21)'e göre hesaplanır.

$$\widetilde{C}_{pu} = (0.528722, 0.889625, 1.526732) \quad (8.12)$$

$$\widetilde{C}_{pl} = (15.94159, 20.56807, 73526) \quad (8.13)$$

$$\widetilde{C}_{pk} = (0.528722, 0.889625, 1.526732) \quad (8.14)$$

Bu yöntem kullanılarak elde edilen sürecimizin yeterlilik değeri Eşitlik (8.14)'de belirtilmiştir. Bulanık süreç yeterliliği değerlendirilirken, Eşitlik (8.14)'deki bu indis değerindeki sayılardan 1.526732, 1.33'ten büyük olduğu için ve 0.528722 1.33'ten küçük olduğu için Eşitlik (7.22)'deki $\left(\frac{x_3 - 1.33}{x_3 - x_1}\right)$ oranı kullanılır.

$$\frac{x_3 - 1.33}{x_3 - x_1} = \frac{1.526732 - 1.33}{1.526732 - 0.528722} = 0.197 \cong 0.20 \quad (8.15)$$

Eşitlik (8.15)'de hesaplanan 0.20 oranı $\theta = 0.50$ değerinden küçük olduğu Eşitlik (7.23)'e göre '*süreç kısmen yetersiz*' olarak görülür.

Verilerin süreç dağılımı incelendiğinde, üst ve alt spesifikasyon limitleri arasında orantılı bir şekilde dağılmadığı gözlemlenmiştir. Üst spesifikasyon limitinin alt spesifikasyon limitinden küçük çıkması bize süreçten toplanan verilerin üst spesifikasyon limitlerine daha yakın olduğunu ve dolayısıyla bunun hatalı ürün çıkma olasılığını arttırabileceğini yani üreticinin süreçle ilgili önlemler alması gerektiğini ve etkili bir kök-neden analizi yapılması gerektiğini gösterir.

Bulanık mantıkla ifade edilen bu uygulama sonuçlarında, geleneksel süreç yeterlilik indislerinin kullanılması yerine bulanık süreç yeterlilik indisleri kullanılmıştır. Sürecin bulanık üyelik fonksiyonları sayesinde yeterli kabul edilme potansiyeli vardır ve bu amaçla yapılan iyileştirmeler sonucu alınan tedbirler neticesinde, ilerleyen süreçteki değişkenliklerin azaltılması planlanmıştır. Bunun sonucunda da uygunsuzluk oranının ve kusurlu ürün yeniden işleme maliyetlerinin azaltılması planlanmaktadır.

9. SONUÇ

Askeri araçların kullanım amaçlarına bağlı olarak arazi koşullarına dayanıklı olabilmeleri için yağ içeren süspansiyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler sayesinde arazi koşullarında kullanılan araçlar aldığı darbelere daha dayanıklı olabilmekte ve bu da aracın servis ve bakım-onarım periyotlarını uzatabilmektedir. Kullanılan bu endüstriyel yağın sebebiyet verdiği paslanmayı ve korozyonu, büyük ölçüde sürtünme katsayısını düşürerek önlemek amacıyla amortisör millerine krom kaplama işlemi uygulanır. Bu amortisör mili dediğimiz silindirik parçaların krom kaplama işleminden sonra spesifikasyon ve kontrol limitleri dışında olanlar tekrar işleme gönderilip kaplamaları sökölüp krom kaplama işlemi tekrar edilir. Bu çalışmada varılmak istenen sonuç, askeri araçların süspansiyon sistemlerinde yaşanan kavrama problemi nedeniyle oluşan uygunsuzlukların önüne geçilmesi yanı sıra gereksiz yeniden işleme maliyetlerinden de kaçınmaktır. Bununla birlikte diğer bağlayıcı sebepler ise, yeniden işleme sürecinin, maliyetlerinin yanı sıra çok zaman kaybettiren bir süreç olması, alt yükleniciliğini yaptığımız ana sanayi firmalarına yapılan ürün teslimatlarında gecikmelerin yaşanmaması ve akabinde maddi bağlayıcılığı bulunan cezalara maruz kalınmamasını sağlayabilme gerekliliğidir.

Bu sorunun kök-neden analizi yapıldığında temel nedenler, süspansiyon sisteminde kullanılan silindirik parçanın çap ölçümlerinde meydana gelen ölçüm hataları, işlemede meydana gelen sapmalar ve bu değişimleri analiz edebilmek için kullanılan kalite kontrol kartlarındaki kontrol ve spesifikasyon limitlerinin zamana, sürecin gereksinimlerine uyum sağlayamaması, olarak bulunmuştur. Yapılan kök-neden analizi sonucunda, sürecin performansının artırılabilmesi için bu kök-nedenlerde iyileştirmeler yapılmasına ihtiyaç olduğu gözlemlenmiş ve kontrol limitlerin daha hassas incelenmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu nedenlerle, daha hassas sonuçlar veren bulanık mantığın hem alınan ölçümlere hem de kullanılan kontrol kartlarına uygulanması uygun görülmüştür.

Kalite kontrol kartları seri üretim süreçlerinde sapmalardan kaynaklı değişimlerden meydana gelen farklılıkların saptanmasında kullanılır. Kalite kontrol kartları iki tiptir, bunlar sürekli değişkenler için kalite kontrol kartları ve kesikli değişkenler için kalite kontrol kartlarıdır. Bu kartları yapılarına ve kullanım alanlarına göre inceleyecek olursak, bu çalışmadaki veri tipi ölçülebilir ve sayılar ile ifade edilebilir olduğu için sürekli değişkenler için kullanılan kontrol kartları seçilmiştir. Bu çalışmada, \bar{X} kontrol kartı işleyen

sürecin ortalama değerini, \bar{R} kontrol kartı ise değişim değeri aralığını hesaplamak için seçilmiştir. $\bar{X} - \bar{R}$ kontrol kartının seçilmesinin nedeni ise örneklem büyüklüğünün ondan az olduğu durumlarda, \bar{R} kontrol kartının hesaplama kolaylığı sağlamasıdır.

Kalite karakteristiği ve kalite ile ilgili özelliklerin durumu dilsel ifadelerle açıklanıyorsa sürecin kontrol altında olup olmama durumunu açıklamada ve süreç yeterlilik analizi yapmada klasik kalite kontrol kartları yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı süreç analizi yapılırken bulanık mantık kullanılmıştır.

Süreç analizlerinde iki tip hata mevcuttur. Birinci tip hata süreci kontrol altında iken kontrol dışı olarak analiz etmek, ikinci tip hata ise süreç kontrol dışındayken kontrol altında kararı vermektir. Birinci tip hatalar, gereksiz yeniden işleme maliyetlerine ve teslimat sürecinde gecikmelere dolayısıyla ceza maliyetlerine sebep olurken, ikinci tip hatalar kusurlu ürünlerin varlığını fark edememe ve müşteriye uygunsuz ürün gönderimine sebep olabilmektedir. Bu da tedarikçi müşteri ilişkilerini olumsuz yönde etkilemekte ve uzun vadede yine maddi zarara sebep olmaktadır. Kalite kontrol kartlarında, alınan veriler ve kullanılan klasik kalite kontrol kartı hesaplama yöntemleri ile hesaplanan kontrol limitlerine göre süreç değerlendirilirse süreç için kesin limitler verilir. Bu durumda birinci tip hata türü ortaya çıkabilir. Bu sebeplerden dolayı, kontrol dışı görünen ölçüm değerlerinin uygunluk seviyesini inceleyebilmek, mümkünse süreç ilerlerken artırabilmek ve sürecin sonraki aşamalarda iyileştirilebileceğini göz ardı etmemek için bu bulanık mantık çalışması yapılmıştır. Süreçte alınan veriler, bulanık kümelerde tanımlı fonksiyonlardan, üçgensel bulanık fonksiyon yöntemi kullanılarak bulanık sayılar haline getirilmiştir, bunun nedeni ise üçgensel bulanık fonksiyon yönteminin diğer yöntemlere göre hesaplama kolaylığı bakımından tercih edilmesidir.

Bu çalışma, bulanık kalite kontrollerinin savunma sanayiindeki kullanım alanları açısından yenilik içermekte olup, askeri araçların fiziki şartlara dayanımları için önemli bir parça olan amortisör mili çap ölçümlerinin uygun değerlerinin belirlenmesi için hassas bir ölçüm yaklaşımı ileri sürmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] F. Akdeniz, *Olasılık ve istatistik*. Adana: Nobel kitabevi, 2000.
- [2] B. Akın, *İPK Teknikleri-Proses Yeterlilik ve Makine Yeterlilik Analizi*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, 1996.
- [3] M. Alcı, ve E. Karatepe, *Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları*. İzmir: Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 2002.
- [4] İ. H. Altaş, *Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı, Enerji, Elektrik, Elektromekanik - 3e*, 62: 80-85. 1999.
- [5] R. J. Anderson, "Fuzzy logic approach to vehicle stability control," Master of Science, Clemson University ABD, 2010.
- [6] H. Ardam, "Bulanık mantık denetimli bir AC\AC konvertör," Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.
- [7] T. Aydın, "Bulanık mantık sınıflandırmadan yararlanarak kablo malzemesi seçimi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
- [8] E. Aytaç, "Kalite kontrolde bulanık mantık yaklaşımı ve bir uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2006.
- [9] E. Aytaç, "Kalite iyileştirme sürecinde bulanık mantık yaklaşımı ile hata türü ve etkileri analizi ve uygulama örneği," Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi. Aydın, 2011.
- [10] Ş. Başkan, *İstatistiksel Kalite Kontrolü*. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, 1995.
- [11] D. H. Besterfield, *Quality Control*. New Jersey, 2001.
- [12] J.J. Buckley, *Fuzzy Probability and Statistics*. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- [13] J.T. Burr, *Elementary Statistical Quality Control*. New York: Marcel Dekker, 2005.

- [14] C. B. Cheng, "Fuzzy process control: construction of control charts with fuzzy numbers," Department of Industrial Engineering and Management, Chaoyang University of Technology, Wufeng 413, Taiwan, 2005.
- [15] M. Çakıroğlu, S. Terzi, S. Kasap, M. G. Çakıroğlu, "Beton Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmin Edilmesi," Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2):1-8, 2010.
- [16] M. Çelik, "İstatistiksel ve bulanık nicel kalite kontrol grafiklerinin simülasyon verileri ile karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi. Muğla, 2018.
- [17] A. Çoban, "Paletli araçlarda süspansiyon sisteminin modellenmesi ve optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.
- [18] İ. Dengizler Kayaalp, "Konfeksiyon işletmelerinde kalitenin iyileştirilmesi amacıyla istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinin kullanılması üzerine bir araştırma," Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2007.
- [19] D. Dubois, and H. Prade, *Fuzzy Sets And Systems: Theory And Applications*. New York: Academic Press, 1980.
- [20] D. Dubois, and H. Prade, *Fundamentals Of Fuzzy Sets, The Handbook Of Fuzzy Sets Series*. Boston/London/Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [21] S. M. Garrity, *Basic Quality Improvement*. New Jersey: Regent/Prentice Hall, 1990.
- [22] N. Karakaşoğlu, "Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2008.
- [23] G. J. Klir, and B. Yuan, *Fuzzy Sets And Fuzzy Logic: Theory And Applications*. Prentice Hall, PTR, 1995.
- [24] Y. Lai, and C. Hwang, *Fuzzy Mathematical Programming: Methods And Applications*. New York: Springer-Verlag, 1992.
- [25] İ. Kaya, C. Kahraman, "Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts," *Expert Systems with Applications*. Cilt 38, s.3172-3184, 2011.

- [26] G. Köse, “Algılanan kalite parametrelerinin önceliklendirilmesi: bulanık kalite fonksiyon yayılımının beyaz eşya sektöründe uygulanması,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016.
- [27] M. Mazlum, “CPM, PERT ve bulanık mantık teknikleriyle proje yönetimi ve bir işletmede uygulanması,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [28] J. M. Mendel, *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems, Introductions and New Directions*. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 2001.
- [29] D. C. Montgomery, *Introduction to Statical Quality Control*. Canada: John Wiley & Sons, 1997.
- [30] E.E. Müftüoğlu, “Krom kaplama yapılmış poliamid malzemelerin sıcaklık yükü altındaki gerilme dağılımlarının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2019.
- [31] L.S. Nelson, “Interpreting Shewhart x-bar control charts,” *Journal of Quality Technology*, 17, 114-116, 1985.
- [32] S. Patır, “İstatistiksel proses kontrol teknikleri ve kontrol grafiklerinin Malatya’daki bir tekstil (iplik dokuma) işletmesinde bobin sarım kontrolünde uygulanması,” *SÜ İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 231-249, 2009.
- [33] N. Pekin Alakoç, “Bulanık kalite kontrol grafiklerinde yeni bir yaklaşım,” Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2012.
- [34] A. Pekmezci, “İstatistiksel kalite kontrol yöntemleri ve uygulaması,” Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla, 2005.
- [35] R. Sattarov, “Kalite fonksiyon yayılımında bulanık mantık yaklaşımı: beyaz eşya sektöründe bir uygulama,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [36] N. Sayılğan, “Ağır ticari araçların havalı süspansiyon sisteminde kullanılan boru denge çubuğu tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

- [37] M. L. Shillito, *Advanced QFD: Linking Technology To Market And Company Needs*. John Wiley & Sons, 1994.
- [38] G. Smith, *Statistical Process Control And Quality Improvement*. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [39] O. Şahin, “İstatistiksel proses kontrolünde proses yeterlilik analizi ve tekstil endüstrisinde uygulama,” *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27 (2)-2, 2013.
- [40] Z. Şen, *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*. İstanbul: Bilge 2001.
- [41] K. Tanaka, *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. New York: Rassel Inc., 1997.
- [42] Ü. Terzi, “Taguchi yöntemi ve bulanık mantık kullanılarak çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eş zamanlı en iyilenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2004.
- [43] M.G. Tosun, “Bulanık ve stokastik programlamaya dayalı risk analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara, 2015.
- [44] C. Töre, *Geometrik Toleranslar*. Ankara: Bileşim Yayıncılık, 2005.
- [45] H. Ülker, “Basketbol için bulanık mantık temelli bir yetenek belirleme uzman sistemi geliştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2011.

EKLER

EK 1: KONTROL KARTLARI KATSAYILARI (FAKTÖRLERİ) (Montgomery, [29])

| KONTROL KARTLARI KATSAYILARI (FAKTÖRLERİ) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
| n | Ortalama Kontrol Kartı | | | Standart Sapma Kontrol Kartı | | | | | | Aralık Kontrol Kartı | | | | | |
| | A | A ₂ | A ₃ | B ₃ | B ₄ | B ₅ | B ₆ | c ₂ | c ₄ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | d ₂ | d ₃ |
| 2 | 2,121 | 1,880 | 2,659 | 0,000 | 3,267 | 0,000 | 2,606 | 0,564 | 0,7979 | 0,000 | 3,686 | 0,000 | 3,267 | 1,128 | 0,853 |
| 3 | 1,732 | 1,023 | 1,954 | 0,000 | 2,568 | 0,000 | 2,276 | 0,724 | 0,8862 | 0,000 | 4,358 | 0,000 | 2,575 | 1,693 | 0,888 |
| 4 | 1,500 | 0,729 | 1,628 | 0,000 | 2,266 | 0,000 | 2,088 | 0,798 | 0,9213 | 0,000 | 4,698 | 0,000 | 2,282 | 2,059 | 0,880 |
| 5 | 1,342 | 0,577 | 1,427 | 0,000 | 2,089 | 0,000 | 1,964 | 0,841 | 0,9400 | 0,000 | 4,918 | 0,000 | 2,115 | 2,326 | 0,864 |
| 6 | 1,225 | 0,419 | 1,182 | 0,030 | 1,970 | 0,029 | 1,874 | 0,869 | 0,9515 | 0,000 | 5,078 | 0,000 | 2,004 | 2,534 | 0,848 |
| 7 | 1,134 | 0,419 | 1,182 | 0,118 | 1,882 | 0,113 | 1,806 | 0,888 | 0,9594 | 0,204 | 5,204 | 0,076 | 1,924 | 2,704 | 0,833 |
| 8 | 1,061 | 0,373 | 1,099 | 0,185 | 1,815 | 0,179 | 1,751 | 0,903 | 0,9650 | 0,388 | 5,306 | 0,136 | 1,864 | 2,847 | 0,820 |
| 9 | 1,000 | 0,337 | 1,032 | 0,239 | 1,761 | 0,232 | 1,707 | 0,914 | 0,9693 | 0,547 | 5,393 | 0,184 | 1,816 | 2,970 | 0,808 |
| 10 | 0,949 | 0,308 | 0,975 | 0,284 | 1,716 | 0,276 | 1,669 | 0,923 | 0,9727 | 0,687 | 5,469 | 0,223 | 1,777 | 3,078 | 0,797 |
| 11 | 0,905 | 0,285 | 0,927 | 0,321 | 1,679 | 0,313 | 1,637 | 0,930 | 0,9754 | 0,811 | 5,535 | 0,256 | 1,744 | 3,173 | 0,787 |
| 12 | 0,866 | 0,266 | 0,886 | 0,354 | 1,646 | 0,346 | 1,610 | 0,936 | 0,9776 | 0,922 | 5,594 | 0,283 | 1,717 | 3,258 | 0,778 |
| 13 | 0,832 | 0,249 | 0,850 | 0,382 | 1,618 | 0,374 | 1,585 | 0,941 | 0,9794 | 1,025 | 5,647 | 0,307 | 1,693 | 3,336 | 0,770 |
| 14 | 0,802 | 0,235 | 0,817 | 0,406 | 1,594 | 0,399 | 1,563 | 0,945 | 0,9810 | 1,118 | 5,696 | 0,283 | 1,672 | 3,407 | 0,763 |
| 15 | 0,775 | 0,223 | 0,789 | 0,428 | 1,572 | 0,421 | 1,544 | 0,949 | 0,9823 | 1,203 | 5,741 | 0,307 | 1,653 | 3,472 | 0,756 |
| 16 | 0,750 | 0,212 | 0,763 | 0,448 | 1,552 | 0,440 | 1,526 | 0,952 | 0,9835 | 1,282 | 5,782 | 0,328 | 1,637 | 3,532 | 0,744 |
| 17 | 0,728 | 0,203 | 0,739 | 0,466 | 1,534 | 0,458 | 1,511 | 0,955 | 0,9845 | 1,356 | 5,820 | 0,347 | 1,622 | 3,588 | 0,739 |
| 18 | 0,707 | 0,194 | 0,718 | 0,482 | 1,518 | 0,475 | 1,496 | 0,958 | 0,9854 | 1,424 | 5,856 | 0,363 | 1,608 | 3,640 | 0,734 |
| 19 | 0,688 | 0,187 | 0,698 | 0,497 | 1,503 | 0,490 | 1,483 | 0,960 | 0,9862 | 1,487 | 5,891 | 0,378 | 1,597 | 3,689 | 0,729 |
| 20 | 0,671 | 0,180 | 0,680 | 0,510 | 1,490 | 0,504 | 1,470 | 0,962 | 0,9869 | 1,549 | 5,921 | 0,391 | 1,585 | 3,735 | 0,724 |
| 21 | 0,655 | 0,173 | 0,663 | 0,523 | 1,477 | 0,516 | 1,459 | 0,964 | 0,9876 | 1,605 | 5,951 | 0,403 | 1,575 | 3,778 | 0,720 |
| 22 | 0,640 | 0,167 | 0,647 | 0,534 | 1,466 | 0,528 | 1,448 | 0,966 | 0,9882 | 1,659 | 6,979 | 0,415 | 1,566 | 3,819 | 0,716 |
| 23 | 0,626 | 0,162 | 0,633 | 0,545 | 1,455 | 0,539 | 1,438 | 0,967 | 0,9987 | 1,710 | 6,006 | 0,425 | 1,557 | 3,858 | 0,712 |
| 24 | 0,612 | 0,157 | 0,619 | 0,555 | 1,445 | 0,549 | 1,429 | 0,968 | 0,9892 | 1,759 | 6,031 | 0,434 | 1,548 | 3,895 | 0,708 |
| 25 | 0,600 | 0,153 | 0,606 | 0,565 | 1,435 | 0,559 | 1,420 | 0,970 | 0,9896 | 1,806 | 6,056 | 0,443 | 1,541 | 3,931 | 0,708 |
| n>25 için | $\frac{3}{\sqrt{n}}$ | $\frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ | $\frac{3}{c_4\sqrt{n}}$ | $1 - \frac{3}{c_4\sqrt{2(n-1)}}$ | $1 + \frac{3}{c_4\sqrt{2(n-1)}}$ | $c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$ | $c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$ | $\frac{\bar{\sigma}}{\sigma}$ | $\frac{\approx 4(n-1)}{4n-3}$ | d_2-3d_3 | d_2+3d_3 | $1-3d_3/d_2$ | $1+3d_3/d_2$ | $\frac{\bar{R}}{\sigma}$ | $\frac{\sigma_R}{\sigma}$ |