



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**ENDÜSTRİDE KULLANILAN
ASENKRON BİR MOTORDA
BULANIK MANTIK
TEMELLİ KESTİRİMCİ
BAKIM UYGULAMASI**

Erkan SINDIR

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

ARALIK 2022



İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



**ENDÜSTRİDE KULLANILAN ASENKRON BİR MOTORDA BULANIK
MANTIK TEMELLİ KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI**

Erkan SINDIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2022

ENDÜSTRİDE KULLANILAN ASENKRON BİR MOTORDA BULANIK MANTIK TEMELLİ KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Erkan SINDIR

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Aralık 2022

ÖZET

Endüstriyel tesislerde sistemlerin süreklilik önceliği ve yüksek performans ile çalışması beklenir. Sistemin herhangi bir parçasında meydana gelebilecek bir arızanın üretim kayıplarına neden olması mümkündür. Üretim ve hizmet sektörlerinde çeşitli sistemlerin kullanılması bakım çalışmalarını mecbur kılmıştır. Arıza nedeniyle üretim ve iş gücü kayıplarının yaşanmaması için bakımların sistemlerde arızaya yol açmayacak şekilde planlanması gerekmektedir. Planlı bakım süreçlerinde gün geçtikçe kendine daha sağlam yer bulan ve uyarıcı bakım olarak da bilinen kestirimci bakım yöntemi sayesinde bakıma ihtiyaç duyacak sistemlerin bakım planlamasını arıza oluşmadan belirleyecek sistem üzerinde çalışılmıştır.

Bu tezde, bir asenkron motorun çalışma koşulları sırasında elde edilen titreşim, sıcaklık ve akım değerleri PLC yardımı ile sahadan toplanmış ve daha sonra zaman etiketli olarak veri tabanına yazılarak hem test verilerinin oluşturulmasında hem de üyelik fonksiyonu değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Sahadaki motordan toplanan veriler, motor ve enstrüman etiket değerleri ve uzman görüşlerinden yola çıkarak “Matlab Fuzzy Toolbox” uygulaması ile bulanık mantık temelli çıkarım sistemi tasarlanmıştır. Çıkarım sistemine giriş değişkeni olarak verilen test verilerinin uzman görüşleri ve katalog verileri doğrultusunda belirlenmiş kurallar ile değerlendirilmesi sonucunda üretilen çıkış değişkeniyle sistemde çalışan asenkron motorun “motor sağlığı” belirlenmektedir.

Bu tez çalışması; arızanın teşhisinden ziyade tespiti ile ilgili bir çıkarım sistemi önermektedir. Endüstriyel üretim yapan işletmeler, ilk etapta toplam ekipman etkinliğini artırmak ve plansız duruşların önüne geçmek isterler. Bu nedenle motordaki arızanın içeriğinden çok arızanın yaşanma olasılığı daha önemlidir. Literatürde sadece motor stator akımları, vibrasyon analizi ve termal tabanlı analizler mevcut olup; burada akım, titreşim ve termal durum izleme sonucunda elde edilen veriler bulanık mantık ile çok açıdan değerlendirilerek motor sağlığı ve bakım ihtiyacı belirlenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Kestirimci bakım, bulanık mantık, asenkron motor
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÖZKANER

FUZZY LOGIC BASED PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATION IN AN
INDUSTRIAL ASYNCHRONOUS MOTOR

(M. Sc. Thesis)

Erkan SINDIR

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION

December 2022

ABSTRACT

In industrial facilities, systems are expected to operate with high performance and the principle of continuity. A malfunction in any part of the system may cause production losses. The use of various systems in the production and service sectors necessitates maintenance. To avoid production and labor losses due to failure, it is necessary to plan maintenance in a way that does not cause malfunctions in the systems. In this project, a predictive maintenance method, also known as stimulant maintenance, which is increasingly used in planned maintenance processes, was designed. In this context, it has been studied on a system that determines the parts that will need maintenance with the fuzzy logic method before the failure occurs and prepares the maintenance plan accordingly.

In this thesis, the vibration, temperature, and current values obtained during the operating conditions of an asynchronous motor were collected from the field with the help of PLC, then written to the database with timestamps, and used both to create test data and to determine membership function values. A fuzzy logic-based inference system was designed using the "MATLAB Fuzzy Toolbox" application based on the data collected from the engine in the field, engine and instrument label values, and expert opinions. The output variable determined as a result of the evaluation of the test data given as the input variable to the inference system with the rules defined in line with the expert opinions and catalog data determines the "motor health" of the asynchronous motor operating in the system.

This study proposes an inference system related to the detection rather than the diagnosis of the fault. Enterprises engaged in industrial production intend to increase total equipment efficiency and prevent unplanned stoppages in the first place. Therefore, the probability of a malfunction is more important than the content of the malfunction in the engine. Only motor stator currents, vibration, and thermal-based analysis are available in the literature. In this study, the data obtained by monitoring the current, vibration, and thermal values are evaluated using fuzzy logic from many perspectives to determine motor health and maintenance needs.

Key Words : Predictive maintenance, fuzzy logic, induction motor

Page Number : 83

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Vedat ÖZKANER

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi ve sonrasındaki her aşamada tecrübesi ile yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımın ilerlemesinde ve sonuçlandırılmasında katkıları yadsınamaz olan saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÖZKANER'e saygı ve teşekkürlerimi iletirim.

Çalışmalarım sırasında manevi desteklerini hep arkamda, kendilerini ise hep yanımda hissettiğim başta sevgili eşim Yeliz'e ve kızlarım Elif ve Zeynep ile anneme, babama ve kardeşim Emre'ye teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışmalarım sırasında desteği ve bilgisini esirgemeyen İsdemir S.H.M.M. Elektrik Otomasyon Başmühendisi Cengiz ABUKAN'a teşekkürlerimi iletirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Asenkron Motorlar	13
3.1.1. Asenkron motorlarda arıza.....	16
3.1.2. Stator arızaları	17
3.1.3. Rotor arızaları	18
3.1.4. Rulman arızaları.....	19
3.2. Endüstriyel Bakım.....	19
3.2.1. Bakım çeşitleri	20
3.2.2. Kestirimci bakım (uyarıcı bakım).....	22
3.3. Bulanık Mantık	23
3.3.1. Bulanık mantık teorisi.....	24
3.3.2. Üyelik fonksiyonları	26
3.3.3. Bulanık mantık kontrol sistemi.....	28
Bulanıklaştırma	29

Kural ve bilgi tabanı.....	30
Çıkarım motoru	31
<i>Mamdani BM çıkarım yöntemi</i>	31
<i>Takagi-Sugeno BM çıkarım yöntemi</i>	32
Durulaştırma.....	33
<i>Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi</i>	33
<i>Alan ortası durulaştırma yöntemi</i>	34
<i>En büyüklerin ortalaması durulaştırma yöntemi</i>	34
<i>En büyüklerin en büyüğü durulaştırma yöntemi</i>	35
<i>En büyüklerin en küçüğü durulaştırma yöntemi</i>	35
3.4. PLC ve Scada	36
3.4.1. PLC sinyal çeşitleri	37
3.4.2. Sinyal modülleri.....	38
3.5. Uygulama Çalışması	40
3.5.1. Akım verisinin toplanması ve PLC'ye girilmesi	41
3.5.2. Vibrasyon verisinin toplanması ve PLC'ye girilmesi.....	42
3.5.3. Sıcaklık verilerinin toplanması ve PLC'ye girilmesi.....	43
3.5.4. Değerlendirme verilerinin hazırlanması ve kaydedilmesi	47
3.5.5. Bulanık mantık çıkarım sisteminin tasarlanması	53
3.5.6. FIS kullanan GUI yazılım tasarımı ile kestirimci bakım tespit uygulaması	64
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	77
DİZİN.....	82

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Elektrik motor arızalarının dağılımı	17
Çizelge 3.2. PT100 RTD sensöre ait sıcaklığa bağlı direnç değişimleri	44
Çizelge 3.3 Mühendislik istasyonu (ES) bilgisayarının teknik verileri	48
Çizelge 3.4. Titreşim şiddeti değerlendirme tablosu	54
Çizelge 3.5. IEC 60085'e göre termal sınıflar için tanımlamalar.....	55
Çizelge 3.6. BM çıkarım sistemine ait kurallar tablosu.....	63
Çizelge 4.1. BM çıkarım sisteminde giriş değişkenleri ve ürettiği sonuçlar	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ferraris'e ait ASM çizimi (a), Tesla'ya ait ASM çizimi (b).....	13
Şekil 3.2. Bir asenkron motoru oluşturan parçalar	14
Şekil 3.3. Stator sargılarının (a) yıldız ve (b) üçgen olarak bağlanması, hat ve faz gerilimleri ile akımlarının gösterilmesi	15
Şekil 3.4. Motor klemens kutusunda yıldız (a) bağlantı ve üçgen (b) bağlantı	15
Şekil 3.5. Elektrik motor arızalarının türleri	16
Şekil 3.6. Bakım döngüsü grafiği	20
Şekil 3.7. Endüstride uygulanan bakım türleri.....	21
Şekil 3.8. Klasik mantık modeli.....	24
Şekil 3.9. Bulanık mantık modeli	25
Şekil 3.10. Yaygın kullanılan bazı üyelik fonksiyonları.....	26
Şekil 3.11. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	27
Şekil 3.12. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	27
Şekil 3.13. Gauss üyelik fonksiyonu.....	28
Şekil 3.14. Bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı	29
Şekil 3.15. BM kontrol sisteminde $\mu(x)$ bulanıklaştırma.....	30
Şekil 3.16. Mamdani BM çıkarım metodu örneği	32
Şekil 3.17. Takagi-Sugeno BM çıkarım metodu	32
Şekil 3.18. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi.....	33
Şekil 3.19. Alan ortası durulaştırma yöntemi	34
Şekil 3.20. En büyüklerin ortalaması durulaştırma yöntemi.....	34
Şekil 3.21. En büyüklerin en büyüğü durulaştırma yöntemi	35
Şekil 3.22. En büyüklerin en küçüğü durulaştırma yöntemi.....	35

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Siemens S7-400 CPU ve sinyal modülleri içeren PLC panosu	36
Resim 3.2. Siemens WinCC Scada ekran görüntüsü	37
Resim 3.3. Siemens PLC’de kullanılan sinyal modülleri	39
Resim 3.4. (a) Sinter fabrikası dairesel soğutucu C200 fan motoru (b) ASM etiketi....	40
Resim 3.5. Dağıtım merkezindeki OG hücrede kullanılan akım dönüştürücüsü.....	41
Resim 3.6. Fan motoru gövdesindeki vibrasyon sensörü	42
Resim 3.7. PT100 sıcaklık sensörü	43
Resim 3.8. Fan motoru rulman yatak sıcaklığı sensörünün metal koruması ve terminal bağlantı kutusu ile sahadaki uygulaması.....	45
Resim 3.9. PT100 den gelen direnç değerini 4-20 mA analog veriye çeviren dönüştürücü	45
Resim 3.10. Motor sargıları arasına konulan silikon yalıtkanlı PT100	46
Resim 3.11. Motor sargıları arasına PT100 yerleştirilmesi	47
Resim 3.12. Sinter Fabrikası S7-400 PLC panosu ve ES bilgisayarları görüntüsü	48
Resim 3.13. WinCC’de trend alınması için TAG’ların tanımlanmasının ekran görüntüsü	49
Resim 3.14. WinCC trend kontrol seçenekleri ekran görüntüsü	50
Resim 3.15. Akım, vibrasyon ve sıcaklıkların trend grafiği	51
Resim 3.16. Trend verilerinin dışa aktarılması.....	51
Resim 3.17. Trend grafiğini oluşturan verilerin Excel'e aktarılmış hali	52
Resim 3.18. Bulanık mantık çıkarım sisteminin (fis) tasarımı	56
Resim 3.19. Akım değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu.....	57
Resim 3.20. Vibrasyon değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu	58
Resim 3.21. Stator sargı sıcaklığı değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu	59
Resim 3.22. Rulman yatağı sıcaklığı değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu	60

Resim 3.23. Motor sağlığı ve kestirimci bakım ihtiyacını gösteren çıkış değişkeni için üyelik fonksiyonu.....	61
Resim 3.24. Bulanık mantık çıkarım sistemi kuralları ekran görüntüsü.....	62
Resim 3.25. Matlab GUI ile yapılan BM ıkarımlı ASM sağlığı uygulamasının tasarımı	64
Resim 4.1. Kural görüntüleyicide yapılan benzetim ve sonuçları	67
Resim 4.2. Akım - vibrasyon girişlerine göre çıkış değişkeninin üç boyutlu uzayda yüzey görünümü.....	68
Resim 4.3. Rulman sıcaklığı - vibrasyon girişlerine göre çıkış değişkeninin üç boyutlu uzayda yüzey görünümü	69
Resim 4.4. Matlab GUI ile hazırlanmış olan uygulama ve örnek çalışmasının ekran görüntüsü.....	70
Resim 4.5. Giriş, ıkış tabloları ve çıkarım sistemi özelliklerini gösterir ekran görüntüsü.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A	Amper
db	Desibel
hz	Hertz
I	Akım
In	İnç
mm	Milimetre
S	Manyetik döner alan hızı ile rotor hızı arasındaki kayma
sn	Saniye
U	Gerilim
V	Volt
Ω	Ohm
$\mu A(x)$	x'in A bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonu
σ	Küme Fonksiyonu Genişliği
$^{\circ}C$	Santigrat Derece

Kısaltmalar

Açıklamalar

AC	Alternatif Akım
AI	Analog Giriş
AIEE	Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü
AO	Analog Çıkış
ASM	Asenkron Motor
ATE	Değerlendirilmiş Termal Dayanıklılık
BM	Bulanık Mantık

CFC	Sürekli Fonksiyon Tablosu
CPU	Merkezi İşlem Birimi
DB	Data Blok
DI	Dijital Giriş
DO	Dijital Çıkış
EIM	Elektrik Yalıtım Malzemeleri
EIS	Elektrik Yalıtım Sistemleri
EMK	Elektro-Motor Kuvveti
EPRI	Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü
ES	Mühendislik İstasyonu
FBD	Fonksiyon Blok Şeması
FDD	Arıza Tespit ve Teşhisi
FIS	Bulanık Çıkarım Sistemi
GUI	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü
HMI	İnsan Makine Arayüzü
IL	Talimat Listesi
IAS	Endüstri Uygulamaları Derneği
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
MCC	Motor Kontrol Merkezi
MCSA	Motor Akım İmza Analizi
OG	Orta Gerilim
PC	Kişisel Bilgisayar
PdM	Kestirimci Bakım
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolcüsü
RTD	Direnç Sıcaklık Dedektörü
RTE	Bağıl Termal Dayanıklılık
RUL	Kalan Faydalı Ömür
STL	Yapılandırılmış Metin Dili
TEE	Toplam Ekipman Etkinliği
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Endüstride küçük bir elektrik motorundan tutun, çok sayıda bölümden oluşan veya birden fazla tahrik ünitesi içeren karmaşık yapılara kadar çok çeşitli sistemler mevcuttur. Üretim, bakım, lojistik vb. hangi sektöre hizmet ederse etsin her sistemin bir kullanım ömrü mevcuttur. Sistemlerin kullanım sürelerini uzatabilmek ve çalışma sürecinin planlandığı gibi işletilebilmesi için bakım yapılmasına ihtiyaç duyulur.

Bakım yöntemleri incelendiğinde planlı bakım ve plansız bakım olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bakımların arıza gerçekleştiğinde yapıldığı, bu nedenle üretim kaybının fazla yaşandığı, ortaya çıkan arızaların zamanla diğer sistemlere de sirayet edebileceği yöntem olan “plansız bakım” artık modern endüstride tercih edilmemektedir. Bunun yerine tercih edilen planlı bakımlar; koruyucu, önleyici ve uyarıcı bakımlar olarak alt başlıklarda toplanabilmektedir. Arıza oluşmadan veya arıza oluşmasın diye yapılan planlı bakımlar işletmelerde daha fazla tercih edilmektedir. Kestirimci bakım, planlı duruşların haricinde üretime ara verilmemesi ve gereksiz bakım yapılmadığı için fazladan maliyetler ortaya çıkarmaması gibi avantajlarından dolayı bakım yöntemleri arasında öne çıkmaktadır. Bakım kaynaklı üretim kayıplarının azaltılması, bakım maliyetlerinin düşüklüğü kestirimci bakım yönteminin en önemli avantajlarındanır.

Üretim sürecinin kesintisiz devam ettiği tesislerde erken uyarı sistemi oldukça önemlidir. Bu yöntemde sistemlerin anlık durumunun sürekli olarak takibine ve sistemdeki öngörülmemiş değişikliklerin fark edilmesi halinde arıza gerçekleşmeden müdahale edilmesine imkân verir. Sistemin çalışması esnasında sıcaklık, akım ve titreşim gibi büyüklükler ölçülmektedir, böylece sistemin anlık fotoğrafları çekilerek sistemin durumu gözlemlenmektedir. Üretim süreci boyunca toplanan bu veriler sayesinde bakıma ihtiyaç duyacak parçalar ve bakımları arasında geçecek en uygun süre (çalışma sınırı ve parça ömrü) belirlenmiş olur. Ayrıca sistemden toplanan farklı değişkenlere ait bu veriler uygun yöntemler ile değerlendirilerek arıza gerçekleşmeden önce bakım ihtiyacı olup olmayacağı tahmin edilerek bakım planının hazırlanmasına olanak tanır. Üretim sürecinde arıza kaynağı oluşturabilecek değişkenlerin sayısının fazla olması ise çok yönlü bir değerlendirme yapmayı gerektirmektedir. Değişkenlerin çoğunun ön tanımsız ve bulanık yapıda olduğu

düşünüldüğünde bulanık mantık temelli karar verme süreci de etkin bir şekilde sürece katılmalıdır [1].

İkili mantıkta yer alan mutlak yanlış ile mutlak doğru kavramlarının arasında bulunan ve “biraz doğru” kabulünü de içeren bir geliştirmeyle elde edilmiş bu kavrama bulanık mantık denir [2]. İnsanların ömrü boyunca karşılaştığı birçok kavram çoğunlukla bulanık mantığın yapısına dayanır. İnsanlar etrafında etkileşim kurduğu birçok olayı anlamlandırırken; net, kesin yargıya dayalı sonuçlar ve sayısal veriden daha ziyade muhakeme sonucu ortaya çıkmış düşünceler, değer yargıları, kişisel görüşler gibi ifadeler kullanır. Bir ürünü anlatırken, bir çalışmayı tarif ederken, durum tespiti yaparken ve buna benzer durumlarda anlatım esnasında kullanılan dil bulanık anlatımlar barındırır. Bulanık ifadeler; şişman, zayıf, alçak, yüksek, sert, yumuşak, aşağı, yukarı, gergin, gevşek vb. tarif içeren, kısmen muallak anlatımlardır. İnsanlar karşılaştığı durumları ifade ederken ve yapılacak işi anlatmaları esnasında genellikle tasvir ederek, mutlak olmayan tanımlamalar kullanırlar [3].

Bulanık mantık, bilinen küme teorisine farklı açıdan bakılarak ve mantığının uygun bir şekilde geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. Günlük hayattaki anlama ve ifade etme diline daha uygundur. Bilinen klasik küme teorisinde, küme elemanı kesin yargı ile bir kümenin ya elemanıdır ya değildir. Bu mantıktaki net ifadeler insanın doğasına ve kendini ifade ediş biçimine aykırıdır. Kümeye dâhil olmasa bile kümede kendinden bir şeyler bulma, ona sıcak bakma veya başka bir deyişle kümeye kısmen dâhil olma durumları vardır. Kısacası çok yüksek, azıcık sert, biraz gevşek vb. gibi kesin yargı ve net veri içermeyen girdiler ile sonuç üretmeye veya karar almaya sağlayan sistemlerin tasarlanmasında kullanılan, insanların muhakeme ve analiz süreçlerinde kullandıkları yapılara benzer bir yaklaşımdır.

Bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilecek olan veriler, endüstriyel bakım stratejilerinde önemli yere sahip olan kestirimci bakım uygulamasının gerçekleştirilmesinde kullanılacaktır.

Endüstrideki birçok alanda kullanılan sistemlerdeki pompa, fan, konveyör, kırıcı, karıştırıcı, kompresör vb. uygulamalarda sistem veya makineye tahrik sağlayan birim elektrik motorlarıdır. Makine ve ekipmanda, istenilen harekete dönüştürülecek olan ve bunun için ihtiyaç duyulan dönme hareketi, elektrik motorlarınca sağlanır. Döner her mekanizmayı tahrik eden elektrik makinelerinin endüstride en yaygın olarak kullanılanlarından biri de

asenكرون motorlardır. İndüksiyon motoru olarak da adlandırılan bu makinelerin çalışmaları esnasında oluşan dönme hareketinin yanı sıra titreşimler ortaya çıkar. Şebekeden çektikleri akım, stator sargılarından geçtiği için sargıyı oluşturan bakır iletkenlerini ısıtır ve stator sargılarının yanı sıra gövde sıcaklığını da oluşturur. Kısaca bahsedilen bu döngüde, bir asenkron motorun çalışma rejiminde sağlığının takip edilebileceği bazı değişkenler mevcuttur. Bunlar; ASM'nin stator sargı sıcaklığı, rulman yatak sıcaklığı, gövde veya rulman vibrasyonları, motor stator sargılarınca şebekeden çekilen akımlardır.

Bir ASM'nin motor miline tahrik ettiği mekanizma tarafından bindirilen yük arttığında mil hızı statorda üretilen döner manyetik alan hızının gerisinde kalmaya başlayacak ve döner alan hızı ile motor mili hızı arasında S olarak ifade edilen bir oran oluşacaktır. Bu oranın artması da motorun şebekeden çektiği akımın artmasına ve doğal olarak motor sargılarının daha fazla ısınmasına neden olacaktır. Bu değişim motordan alınan gövde ve/veya sargı sıcaklığı ve şebekeden çekilen akımdaki değişiklik ile fark edebilecektir. Motor, kaplin, redüktör ve tahrik ekipmanının arasındaki hizalama sıfırlamasında olan sorunlar, ekipmanın yaşlanması veya hatalı imalatlar titreşime sebep olmaktadır. Bu titreşimlerin olduğu yataklardan alınan vibrasyonun genliğinde yaşanan değişiklikler, kestirimci bakımda değerlendirilecek veriler arasındadır.

Bulanık mantık temelli olarak değerlendirilecek olan veriler, sahadaki ekipmanın uygun yerlerine yerleştirilen sensörlerden alınacak ve bir PLC yardımı ile kaydedilecektir. Ekipmandan alınan sıcaklık, titreşim ve stator akımına ait analog veriler 4-20 mA olarak PLC'ye iletilip bir analog input sinyal modülüne girilecek ve uygun bir çözünürlükte trend olarak veri tabanına kaydedilecektir. Trend, veri ya da verilerin PLC'de büyüklük ve yönünü gösteren, geriye dönük olarak takip etmemizi sağlayan kayıt ve görüntüleme sistemine verilen isimdir. Bu veriler tanımlanmış olan bulanık mantık kümelerinde giriş değişkenleri olarak kullanılacaktır. Akımın artış göstermesi veya aşırı düşmesi, buna eş zamanlı olarak sıcaklığın artması veya azalması, vibrasyonda gerçekleşen değişimler çoklu kümeler ve birden fazla verinin birden fazla kümeyle ait olması mantığı ile ekipmanın durumu hakkında çıktılar üretecektir. Elektriksel veya mekaniksel açıdan bağımsız olarak bakım ihtiyacını belirlemede yol gösterecektir. Bu aynı zamanda bir motor sağlığı göstergesi olarak da görev yapacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Asenkron motorlar ve kestirimci bakım konuları dikkate alındığında araştırmacıların ilgisini çeken konuların başında asenkron motorlardaki arızalarının tespiti ve teşhisi gelmektedir. Bu konularda literatürde çok sayıda yayın bulunmaktadır. Asenkron motorlarda kestirimci bakımın uygulanması konusunda da yapılan birçok çalışma mevcuttur. Arıza tespit yöntemleri arasında "Motor Akım İmza Analizi" (MCSA) en çok tercih edilen çalışmalardandır. Teşhis konusunda "Yapay Sinir Ağları" en yaygın kullanılan yöntemdir. En çok araştırılan arızalar ise rotorda kısa devre çubuğu kırığı, stator sargılarında kısa veya açık devre ve yatak rulmanlarındaki problemlerdir. Aşağıda, asenkron motorlarda uygulanan kestirimci bakım uygulamaları ve bulanık mantık kullanımı alanında yapılan literatür taramasında karşılaşılan çalışmalara yer verilmiştir.

Janier ve Zaharia, motor durumunu belirlemek için asenkron motorun titreşim değerlerinin makineler için endüstriyel standartlar (ISO10816) tarafından belirlenen esasa göre titreşim değerlerini esas alıp giriş değişkenleri olarak işleneceği bulanık mantık kullanan bilgisayar tabanlı bir izleme sistemi oluşturmuşlardır. Bulanık sistemden yapılan çıkarımlar ile elde edilen sonuçlar daha sonra asenkron motorunun durumu ve meydana gelebilecek olası arızayı belirleyebilir. Bu yapılandırılmış sistemin, makineyi kullanan operatörün, motordaki olası hata durumunu erken tespit etmesine ve kestirimci bakım yapmasına yardımcı olması beklenmektedir [4].

Lakrou ve arkadaşları, bulanık mantık yaklaşımı kullanarak stator sargısında bir arızanın varlığını tespit edecek bulanık mantık tasarımına dayalı bir uzman sistem tasarlamışlardır. Çalışmada sistem tarafından Ia, Ib ve Ic stator akımlarının genlikleri analiz edilmekte ve bulanık algılama sistemi için girdiler olarak kabul edilmektedirler. Stator akımlarının analizi ile statorun durumunu tespit edebilen bu çalışmada, verileri analiz etmek ve karar vermek için bulanık mantık kullanılmıştır [5].

Mini ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kısa devre yapan statorun dönüşlerini modellemek için fazlardan birinin sağlam kısmı ile kısa devre yapan kısmını temsil edecek şekilde seri halde iki sargıdan oluştuğunu varsaymışlardır. Stator akımlarının izlenmesine dayanan stator sargı arızalarının tespiti için bu yöntemi sunmuşlardır. Motorun durumuna karar vermek için BM kullanmışlardır. Bu model ile açık devre hatası da kolaylıkla yapılabilmektedir [6].

Misra ve Pahuja çalışmalarında kırık rotor çubuklarının tespiti ve teşhisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Arıza durumunda tam güçte çalışmayan motorun besleme grafiğinde oluşan üst ve alt yan bant frekanslarındaki genlik farkını kullanan, bulanık mantık temelli bir MCSA kullanımını önermişlerdir. Önerilen yöntemi uygulamışlar, test etmişler ve geleneksel MCSA ile karşılaştırmışlardır [7].

Mitrofani ve arkadaşlarının çalışması ise proses endüstrisinde elektromekanik bakım işlerinin kapsamını tanımlamaya ve optimize etmeye yarayan bulanık mantık temelli bir Karar Destek Sistemi'nin geliştirilmesidir. Sisteme göre, düşük arıza riski sergileyen ekipmanı hariç tutarken yalnızca öngörücü, önleyici veya düzeltici olarak bakımı yapılabilen ekipmanları içerecek şekilde optimizasyon yapılmaktadır. Kapsamlı bir veri setine dayanan sonuçlar, geliştirilen sistemin daha sağlam sonuçlar sağladığını ve diğer yaklaşımların birçok eksikliğini giderdiğini göstermektedir [8].

Shetgaonkar, çalışmasında kısa devre, açık devre ve aşırı gerilim durumları için performans analizi yapmak amacıyla stator akımlarının üyelik fonksiyonu olarak tanımlandığı bir sistem önermiştir. Farklı arıza durumları için motorun sağlığını gösteren, bulanık mantık temelli bir simulink modeli geliştirmiştir. Geliştirdiği bu yöntemin doğruluğu çok yüksek ve uygulaması kolaydır [9].

Agyare ve arkadaşları, bulanık mantık denetleyici kullanılarak hataların tespit edilmesi ve sınıflandırılması konusunda çalışmışlardır. Stator sargılarında kopma, dönüşten dönüş kısa devre, üç fazdan toprağa ve fazlar arası dengesizlik gibi farklı arızaların tespiti için MATLAB/Simulink yardımıyla üç fazlı sincap kafesli asenkron motor modelleri kullanılarak birçok simülasyon gerçekleştirmişler ve hataları yüksek doğrulukla tespit etmişlerdir [10].

Pereira ve arkadaşları, MCSA ve BM kullanarak ASM stator sargılarındaki dönüşler arası kısa devrelerin tespiti ve teşhisi için bir sistem geliştirerek pratik uygulamasını sağlayan bir sistem tasarlamışlardır. Sargılarda çeşitli kısa devre koşullarının simülasyonunu gerçekleştiren bir prototip kullanarak çeşitli testler uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, benzer motorlar için bir izleme aracı olarak kullanılmalrını sağlayacak güvenilirlik sunmuştur [11].

Azgozmi ve Poshtan yaptıkları çalışmada dinamik denklemlerle simüle edilen asenkron bir motorun stator sargısındaki arızaları bulanık mantıkla ele almışlardır. Bu amaçla, asenkron motor dinamiğinin analitik modeli kullanılarak stator sargısındaki arızalar bulanık mantık ile analiz etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ile modern endüstrideki kullanımının bu yöntem sayesinde son derece pratik olduğu göstermişlerdir [12].

Drakaki ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir üretim sisteminde derin öğrenme tabanlı erken teşhis yöntemleri ve ASM'lerde arıza tespit ve teşhis yöntemlerinde kestirimci bakıma ait son gelişmeleri ve eğilimleri vermişlerdir. Endüstri 4.0'ın etkin olduğu endüstriyel üretim ortamlarında uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır [13].

Hartati ve arkadaşları, bir voltaj dengesizliği anında motorun durumunu izlemek için bir çalışma yapmışlardır. Voltajdaki dengesizlik, fazlardaki akımın da eşit olmamasına yani diğer fazlardan daha büyük bir akım akmasına neden olmaktadır. Bu da motorda sıcaklık artışı ile hız artışına sebep olmakta ve buna bağlı olarak istenmeyen durumlar oluşturmaktadır. Bu durumun takip edilmesinde ve ortaya konulmasında bulanık mantık kullanılmıştır [14].

Talaat ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada gerilim ve akımın düşüklük ile yüksekliği, dengesizliği ve sıcaklık durumlarını elde etmek için MATLAB/Simulink'te bir modelini oluşturmuşlar ve asenkron motorunun durumunu tespit etmek için bulanık mantık tabanlı bir izleme sistemi geliştirmişlerdir. Asenkron motor durumunu, yükleme stres faktörünü ve besleme stres faktörünü değerlendiren iki ayrı faktör önermişlerdir. Bu iki faktör kullanılarak motor durumunu iyi tanımlayan, tesis operatörünün etkili bir kestirimci ve önleyici bakım programı geliştirmesine yardımcı olan güvenilir bir motor indeksi sunmuşlardır [15].

Surwase ve arkadaşları, asenkron motorun korunması ve arıza teşhisi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Önerilen sistemde ASM'de aşırı voltaj, düşük voltaj, aşırı akım, tek faza kalma gibi çeşitli arızalar meydana geldiğinde ASM'nin stator akımını izleyerek arızanın türünü tespit edilmektedir. Bunun için PIC mikrodenetleyici içeren bir bulanık mantık denetleyicisi kullanılmıştır. BM modeli kullanılarak ASM'nin durumunun teşhis edilmesiyle motorun çalışma ömrünü artırmayı, motora ve ilgili ekipmana verilen zararı en aza indirmeyi, kişisel güvenliği ve üretkenliği artırmak hedeflenmiştir [16].

Uyar ve Çunkaş, asenkron motorlar için altı farklı hatayı kapsayan BM tabanlı bir koruma sistemi sunmuşlardır. Bu çalışma hata oluşan ASM'yi durdurmak için yeni bir zaman gecikmesi hesaplaması üzerinde çalışılmıştır. Motorda düşük voltaj, aşırı voltaj, voltaj dengesizliği, aşırı akım, akım dengesizliği ve sıcaklık artışı durumlarından biri meydana geldiğinde çeşitli arıza parametrelerine göre bulanık mantık yöntemi ile esnek ve uygun değerlerde zaman gecikmesi hesaplamışlardır [17].

Pharne ve Patil, bir bulanık mantık kontrolcüsü ile motorun durumunun iyi mi yoksa kötü mü olduğunu titreşim analizi yoluyla izlemek için Matlab/SIMULINK'te bir ASM simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada motorun durumu titreşim yoluyla takip edilip bulanık çıkarım sistemi ile değerlendirilerek motorun sağlıklı olup olmadığı gözlemlenmektedir. Bu sayede personelin motor durumunu erken tespit etmesine ve kestirimci bakım yapmasına yardımcı olacaktır [18].

Sampaio ve arkadaşları yaptığı çalışmada bir soğutma fanı ve birkaç mıknatıstan oluşan tipik motor titreşimlerini simüle etmek için bir cihaz modeli oluşturmuşlardır. İvmeölçer kullanılarak yapılan ölçümlerle veriler toplanmış ve bir veri seti üretilmiştir. Bu veri seti kullanılarak yapılan YSA eğitiminin sonucunda yapılan testlerde yüksek başarımlar göstermiştir. Aynı testler, sinir ağlarının etkinliğini göstermek için diğer makine öğrenme teknikleriyle de yapılmıştır. Endüstriyel ekipmanın durumuyla ilgili öngörülerin yapılmasında YSA'nın kullanılmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir [19].

Koca ve Ünsal, endüstride kullanılan ASM'lerde en çok ortaya çıkan arızaları incelemişlerdir. Bu sayede ASM'lerde ortaya çıkması muhtemel arızaların tipleri, çıkış sebepleri ve arızaların önceden tespit edilebilmesi için bilgiler verilmiştir [20].

Patil ve arkadaşları, bir ASM üzerinde yaptıkları simülasyon ve gerçek zamanlı çalışmayı kullanarak arıza analizi yapmışlardır. Motor durumunun izlenmesi için Matlab kullanarak BM denetleyicili bir durum izleme sistemi tasarlamışlardır. ASM'nin yüksüz, normal yük ve aşırı yükte olan çalışma rejimlerinde akım durumlarını incelemişlerdir. Bulanık mantık kullanılarak motor sağlığını belirlemişlerdir [21].

Baban ve arkadaşları, tekstil makinelerinde titreşim ve sıcaklık gibi parametrelerin bakım planlanmasıyla ilgili kararlar alınırken farklılıklara neden olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Bu çerçevede tekstil makinelerinin kestirimci bakım faaliyetlerinin planlanması için bulanık mantık önermişlerdir. Bir dikiş makinesi iğnesinin kestirimci bakımının planlanması için Matlab/Fuzzy Logic Toolbox yazılımı ile bir bulanık temelli karar verme sistemi geliştirilmişlerdir [22].

Tabak ve Özkaymak yaptığı çalışmada elektrik motorlarına uygulanan bakım yöntemlerini en ilkelinden en gelişmişine doğru sıralayarak incelemiştir. Bu çalışmada bakım yöntemleri birbirleri ile kıyaslanarak avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Kestirimci bakımın en yaygın kullanılan teknikleri incelenerek uzaktan erişme ve internet gibi sistemlerin kestirimci bakıma olan etkileri irdelenmiştir [23].

Hongxia ve arkadaşları; öncelikle bilimsellik, tahmin, zamanlama, durum izleme, arıza teşhisi vb. açılardan kestirimci bakımın özelliklerini analiz edilerek incelemiştir. Sonrasında ise durum izleme teknolojisi, arıza teşhis teknolojisi, durum tahmini ve bakım faaliyetleri için kestirimci bakım üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca çalışmalarında tahmine dayalı bakım stratejilerine yer vermişlerdir [24].

Karaköse ve arkadaşları, demiryollarında durum izleme ve teşhis için Endüstri 4.0 uyumlu bir yöntem geliştirmişlerdir. Elektrikli demir yollarında kestirimci bakım için bir bulanık sistem tabanlı termografi yaklaşımını önermişlerdir. Yaklaşımlarını doğrulamak için deneysel verilere uygulanmıştır. Bu yöntemde, termal görüntüler üzerinde sinyal işleme yöntemleri kullanılmıştır. Termal görüntülerden elde edilen özellikler, karmaşık bulanık sonuç ile karşılaştırılmış ve ray hattı ve pantograf temas alanları gözlemlenmiştir. Ortamın yıllık sıcaklık ve gün ışığı bilgilerini kullanarak karmaşık bir bulanık sistem geliştirmişlerdir. Burada raylı sistemler için önerilen kestirimci bakım yöntemi mevsimsel koşullara ve gün ışığı gibi dönemsel etkilere bağlıdır. Bu nedenle karmaşık bulanık sistem, geleneksel sisteme göre daha başarılı sonuçlar vermektedir [25].

Lei ve arkadaşları, makinelerin kalan faydalı ömrünü (RUL) tahmin etmek için model tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Yöntem, gösterge yapısı ve RUL tahmini olmak üzere iki modül içermektedir. Makinelerin bozulma süreçleriyle düzgün bir şekilde ilişki kuran, ağırlıklı minimum niceleme hatası adlı yeni bir sağlık göstergesi oluşturmuşlardır. RUL, parçacık filtreleme tabanlı bir algoritma kullanılarak tahmin edilir. Ayrıca aynı veri setini kullanan benzer iki çalışma ile önerilen bu yöntem karşılaştırılmıştır. Sonuçlar önerilen

model tabanlı yöntemin, makinelerin RUL tahmininde üç yöntem arasında en iyi başarımı gösterdiğini ortaya koymaktadır [26].

Demir ve Müştak, plastik kafesli sabit bilyalı (ORS 6208) rulmanda ortaya çıkan arızaların tespiti amacıyla titreşim analizi ve gürültü ölçümü yöntemlerini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Üç ayrı ORS 6208 kodlu rulmanda iç ve dış bileziğin yuvarlanma hattına, bilyasına tahribat verilerek eş zamanlı olarak titreşim ve gürültüsü ölçülmüştür. Ölçülen veriler zaman ve frekans domeninde incelenmiştir. Ayrıca Hilbert dönüşümüyle zarf analizi yapılarak rulman arızaları belirlenmiştir. Değişik hasarlara sahip rulmanların titreşimleri kıyaslandığında Hilbert dönüşümünün rulmandaki hasar tespitinde oldukça başarılı sonuç verdiği görülmüştür [27].

Dal, ISO-10816-1 nolu “orta ölçekli makinelerin titreşim değerlendirme standardı” baz alınarak BM temelli bir titreşim analizini kullanarak kestirimci bakım uygulamasını modellemiş ve simülasyonunu yapmıştır. Bulanık mantığın titreşim düzeylerini değerlendirerek çeşitli hataların tespit edilebileceğini göstermiştir. Simülasyonun sonuçları gerçek saha değerleriyle kıyaslanmıştır [28].

Bektaş’ın yaptığı çalışmada döner ekipmanlardaki arızaların tahmin edilmesi, analizi, ve ekipman sağlığı yönetiminin uygulanması amaçlanmıştır. Önerilen çalışmanın sonuçları sistem düzeyinde uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Uzun süreli çalışan sistemlerdeki aşınmalarının tahmin edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır. Kestirimci bakımla beraber ekipmanın bozulma eğrisinin ortaya koyulabilmesi sağlanmıştır [29].

Gürsoy ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada endüstrideki işletmelerin bakım modelleri, kestirimci bakımın gelişimi ve uygulanma potansiyelleri incelenmiştir. Ayrıca endüstriyel ortamın işletilmesi sürecinde elde edilen büyük veri kullanılarak bakım yönetiminin potansiyeli, bakım eğilimleri ve dinamiklerinin yönetilmesi amacıyla kestirimci bakım araştırması yapılmıştır [30].

Keskenler tarafından bulanık mantığın tarihsel gelişimi ve uygulama alanları incelenmiştir. Kapsamı, önemi, mantığı, felsefesi ve yapay zekâ gibi alanlara olan katkıları detaylı olarak incelenmiştir [31].

Özdemir ve Kalıncara'nın yapmış olduğu çalışmada 2000 ile 2020 yılları arasında yapılan bulanık mantık konulu makale ve tez çalışmaları için bir içerik analizi yapılmıştır. Bulanık mantığın ortaya koyduğu avantajlar ve dezavantajlardan bahsedilmiştir. Bulanık mantığın eğitim alanında çokça kullanıldığı vurgulanmıştır. Yapılan çalışma sonunda bulanık mantığın eğitim alanındaki kullanımıyla ilgili çıkarımlar ortaya konulmuştur [32].

Akar, doktora tezi çalışmasında deneysel olarak sabit mıknatıslı senkron motorların eksen kaçıklığı ve rulman kaynaklı arızaları ile ilgili çalışmıştır. Motorun gerilim, akım, hız ve tork sinyalleri üç farklı hızda beş değişik yük ile izlenmiştir. Farklı yöntemlerle öz nitelik vektörleri çıkarılmıştır. Bu vektörler yapay zeka algoritmasının ağ eğitimi için kullanılmış, bu sayede motor durumunun takibi ve arıza teşhisi yapılmıştır [33].

Aydın, doktora tezi çalışmasında eş zamanlı ve anlık durum izlemesi ile arıza tespiti için akıllı hesaplama teknikleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Teorik olarak geliştirilen yöntemler uygulamaya dökülmüştür. Sonuç olarak elde edilen yöntemler deneysel çalışmaların sonuçları ile desteklenmiştir [34].

Teke, doktora tezi çalışmasında bir çimento fabrikasında üretim sürecini incelemiştir. Bu süreçte elde edilen veriler kullanılarak bir simülasyon yaklaşımı ile üretim sistemi modellenmiştir. Varyans analizi ile yapılan simülasyonun sonuçları değerlendirilmiştir. Bu bağlamda fırsat bakımı ile önleyici bakım çalışmaları birbiri ile kıyaslanmıştır. Tam zamanlı çalışan endüstriyel sistemlerde en iyi bakımın planlanması için yani bir bakım plan politikası önerilmiştir [35].

Yurtsever, doktora tezi çalışmasında MEMS tabanlı bir vibrasyon sensörü kullanarak derin öğrenme ve makine öğrenmesi ile vibrasyon analizi temelli arıza tespiti ve kestirimci bakım sistemi tasarlamıştır. Bu tasarımda veri odaklı hata tespit modellerinin oluşturulmasını amaçlamıştır [36].

Bradley'e ait doktora tezi çalışmasında asenkron motor için genel bir arıza tespit ve teşhis (FDD) sistemi için bulanık mantık kullanan tespit ve teşhis sistemi geliştirmiştir. ASM arızalarının büyük çoğunluğunu önlemek için olan sistem, en yaygın ASM arızalarından olan rotor arızası, stator arızası, hava boşluğu arızası ve yatak arızasının dördünü de tespit etmek için geliştirilmiştir [37].

Yalın üretimin temel kavramlardan olan toplam ekipman etkinliği (TEE), verimli olan üretim süresinin yüzdesini ölçmektedir. Endüstriyel üretim tesisleri için önemli bir performans faktörüdür. Bu yapılan çalışmalarla ASM'nin direkt veya dolaylı olarak neden olduğu arızalardan ötürü karşılaşılan işgücü ve zaman kaybı, bakım ve arıza giderme maliyetleri ve en önemlisi de TEE'nin düşmesine neden olarak üretim kayıplarının önüne geçmek esas alınmıştır. Arızalar henüz gerçekleşmeden, ekipmanın faydalı ömrü (RUL) sonuna doğru bir bakım planı çıkarılması amaçlanmıştır. Hem ekipmana ait parçadan maksimum fayda sağlanması hem de duruş yaşamadan bakımın tamamlanması esas alınmıştır.

Yapılan çalışmalara dikkat edildiğinde genellikle asenkron motorların kendisine dair ortaya çıkan kırık rotor, açık veya kısa devre olmuş sargı, motor rulman arızası, fiziksel hasarlanma vb. gibi arızaların tespitine yönelik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Endüstriyel üretim tesislerinde süreklilik, bir başka deyişle üretimin sekteye uğramaması çok önemlidir. Bundan dolayı ekipmanın neden olacağı duruş hiçbir zaman istenmemektedir. Arıza çıkarma ihtimali olan veya kalan faydalı ömrünün sonuna yaklaşmış olan ASM'nin ilk fırsatta bakımının planlanması veya bakımlı hazır yedeğiyle değişiminin yapılarak üretim sürecinin devamı sağlanmalıdır. Sistem devreye alındıktan sonra, sökülen arızalı motorun bakımı daha geniş ve uygun bir zamanda yapılması işletmelerce daha uygun bulunmaktadır. Bu açıdan yaklaşıldığında, sistem üretim amaçlı çalışmaya devam ederken arızanın ne olduğundan daha çok, ortaya çıkıp çıkmayacağı ile ilgili öngörü daha çok önem arz etmektedir. Yapılmış çalışmalarda titreşim takibine dayalı arıza tespit ve teşhis sistemleri çokça mevcuttur. Akım izleme yöntemi ile motorun elektriksel açıdan ortaya çıkaracağı sorunları öngörmek ve bu doğrultuda önlem alınmasını sağlayacak bakım planlamaları da oldukça yaygındır.

Asenkron motorlar, tahrik ettiği mekanizmanın normal veya anormal durumundan dolayı nominal tork değerlerinin üzerine çıkmak zorunda kalabilir. Bu durumda motor, zorlanma diye adlandırılabilir mekaniksel ve elektriksel streslere maruz kalacaktır. Yük altında çalışan bir motor, çalışma rejimine göre değişmekle beraber stres altında olduğunda mekaniksel ve elektriksel arızaların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Rulman aşınması, eksenel kaçıklıktan dolayı ortaya çıkan fazla yükün rulmanda erken bozulmaya sebep olması, stator ile rotor arasında bulunan hava boşluğundaki asimetrinin ortaya çıkardığı balanssızlık, motorun sabitlendiği yerden gevşemesi sonucu gövdede ortaya çıkabilecek çatlak veya kırıklar gibi mekanik temelli arızalara sebebiyet verebilecektir. Bununla beraber,

stresten dolayı stator sargılarındaki akım artışı, sargılarda sıcaklık artışına neden olacaktır. Bu sıcaklık artışı, sargılardaki izolasyonu sağlayan vernikte hatalara sebep olacak, izolasyon zayıflıkları sonucu delinme gerilimi düşecektir. Bu durum, motorun nominal çalışma gerilimlerinde dahi motor sargılarında kısa devrelere neden olacaktır. Akımın daha fazla artması bakır sargılarda erimeye ve kopmaya, buna bağlı olarak da açık devrelerin oluşmasına ayrıca stator sargılarının üzerinde bulunduğu sac paketlerinde de bozulmalara neden olacaktır.

Yukarıda bahsedilen bu istenmeyen durumların önceden fark edilmesi ya da öngörülmesi çok önemlidir. Motor sargılarından akan akımın istenilen sınırların dışına çıkması, motordaki vibrasyon genliğinin belirlenen standartların üstünde olması, rulman ve gövde sıcaklıklarının mekanik anlamdaki aşınmayı ve izolasyon zayıflamasını hızlandırıcı etkileri ASM için olası arıza sebepleridir. Bu arıza kaynağı olabilecek verilerin bulanık mantık temelli çıkarım sistemi ile incelenmesi sayesinde motorun bakım ihtiyacının belirlenmesini sağlanacaktır. Motor, tahrik ettiği ekipmanın duruşuna sebep olmadan önce bakıma alınabilecek ve en düşük zaman, üretim ve işgücü kaybı ile işlevine devam edecektir.

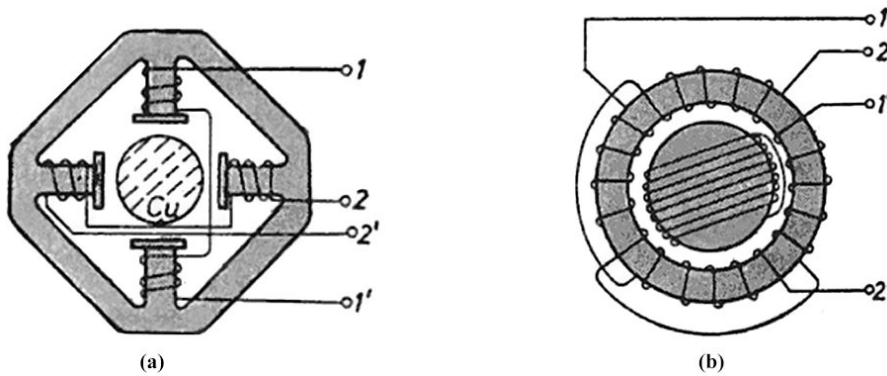
Önerilen sistemde; motor stator akımı, motor sargı ve rulman yatağı sıcaklıkları ve motor vibrasyonu gibi sahadan toplanan veriler, Matlab yazılımı ile tasarlanan bulanık mantık temelli çıkarım sistemine giriş değişkeni olarak sokulacaktır. Motorun sağlık durumunu belirleyen, aynı zamanda bakım ihtiyacı durumunu gösteren bir çıktı elde edilecektir. Bu yapılan çalışmayla literatürdeki çalışmalara ek olarak dört giriş değişkenli bulanık çıkarım sistemi tasarlanmıştır. Bu sayede sistemin daha fazla açıdan değerlendirmesi sağlanmış olup, sonuçlarıyla birlikte uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Asenkron Motorlar

Dönen elektrik makineleri yani motorlar, elektrik enerjisini düşük kayıplarla mekanik enerjiye dönüştürebildiklerinden dolayı mekanik aksamaları tahrik etmek için kullanılırlar. Bu da elektrik motorlarını yüksek enerji verimliliğine sahip makineler yapar. Endüstrideki muhtelif türleri arasında, indüksiyon motoru olarak da bilinen asenkron motor, basit çalışma prensibi, sağlam yapıda olması, bir veya üç faz şeklinde AC şebekeden beslenmesi ve düşük bakım gereksinimi ile hemen hemen her uygulamada ön plana çıkmaktadır. Asenkron motorlar Watt seviyelerinden Megawatt seviyelerine kadar çok geniş güç aralığında üretilmektedirler.

Asenkron motorun temelleri ve ilk örnekleri birbirlerinden bağımsız olarak Galileo Ferraris ile Nikola Tesla tarafından atılmıştır. Galileo Ferraris, tek fazlı asenkron bir motorun çalışan modelini 1885 yılında ortaya koymuştur [38]. Ayrıca Galileo Ferraris yine 1888 yılında bu yaptığı araştırmanın detaylarını Torino'da bulunan Kraliyet Bilimler Akademisi'nde yayımlamıştır. Şekil 3.1'de tasarımları görülen ASM'lerden Galileo Ferraris'in motoru, iki kutup içeren, stator sargıları bulunduran ve rotor olarak silindirik yapıda bir bakır kullanmaktadır. Nikola Tesla'nın 1887'de yaparak çalıştırdığı ve 1888 yılında AIEE'de gösterdiği iki fazlı motorda ise motorun karkasına yayılmış bir stator sargısı ve rotorda kısa devre edilmiş bir sargı barındırmaktadır [39].

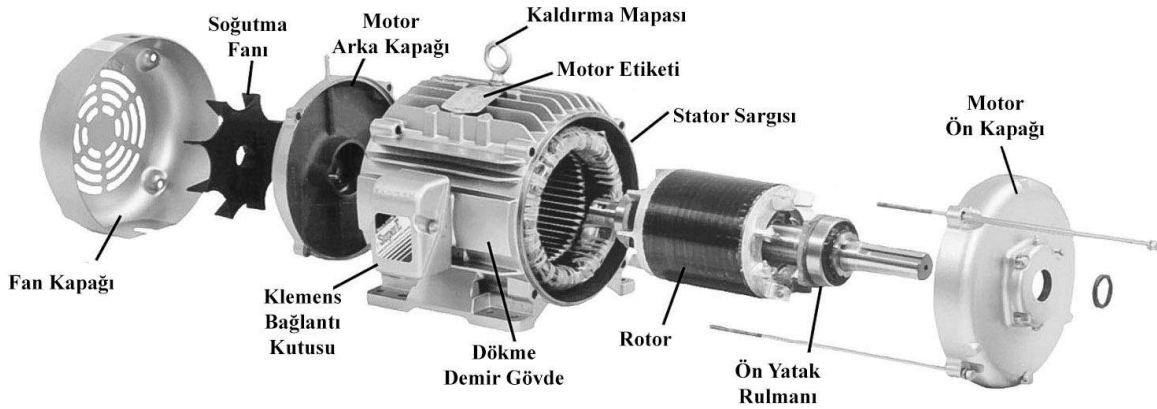


Şekil 3.1. Ferraris'e ait ASM çizimi (a), Tesla'ya ait ASM çizimi (b)

Günümüzde kullanılan modern indüksiyon motorlarında, gövdenin iki ucunda bulunan rulmanlara milin iki ucunun oturduğu ve içinde sargı barındıran bir adet rotor bulunur. Bu

rotorun etrafını saran statordaki sargılara uygulanan üç fazlı AC enerji ile oluşan manyetik alanın etkisiyle stator içinde bir manyetik döner alan oluşur. Bu döner manyetik alan rotorun sargı veya çubuklarını keserek üzerinde bir EMK indükler. Üzerinde indüklenen gerilim ile rotor çubuklardan bir akım akar ve bu akıma indüksiyon akımı denir. Akan bu akımlar rotorda S ve N kutuplarını oluşturur. Döner manyetik alan tarafından oluşturulan kutuplar ile rotorda oluşan kutupların arasındaki itme ve çekme sonucu mil hareketi oluşur.

Bir asenkron elektrik motorunu oluşturan ana iki kısımdan biri olan stator, motorun gövdesini oluşturan sabit kısımdır. İnce silisyum sac paketlerini ihtiva eder. Bu sac paketlerindeki oluklar arasına harici sarımla elde edilmiş üç faz ve istenilen kutup sayısına göre belirlenmiş sargılar yerleşiktir. Sargıların uçları ayrılıp motorun klemens kutusuna çıkarılarak bağlanılacak yöneme göre dizilir. Mil etrafında bulunan sargılara ise rotor sargıları denir. Motor gövdesinin her iki ucunda motor kapakları vardır ve içerisine konulacak rotorun milini yataklayan rulmanlar bu kapağa sabitlenir. Motorun ön tarafındaki mil tahrik vereceğinden dolayı daha uzun imal edilir. Şekil 3.2’de bir asenkron motorun içyapısı görülmektedir.

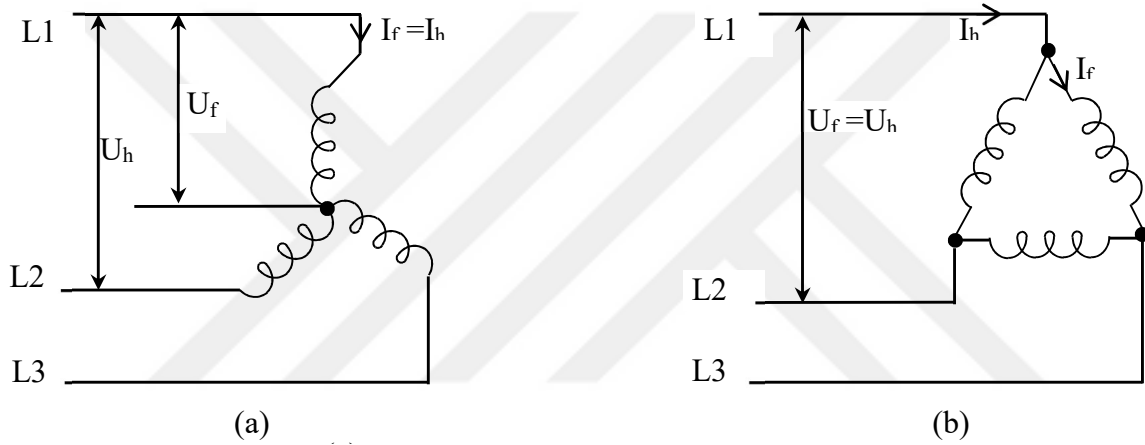


Şekil 3.2. Bir asenkron motoru oluşturan parçalar

Rotorlar kendi içerisinde sargılı ve kısa devre çubuklu olmak üzere iki ayrı türdedir. Sincap kafesli olarak da adlandırılan modelde rotorun uçlarında bulunan halkalar rotor boyunca açılı uzanan çubukları kısa devre eder. Alüminyumdan imal edilen rotor çubukları nüveyi oluşturan metalle temas halinde olmalarına rağmen öz dirençleri farklı olduğundan dolayı bir sipir atılmış rotor sargısı gibi davranırlar. Rotoru sargılı olan modellerde ise 120° açılı farkı olan üç ayrı fazın uygulanacağı sargılar rotor içerisine yerleştirilir ve bir bilezik yardımı

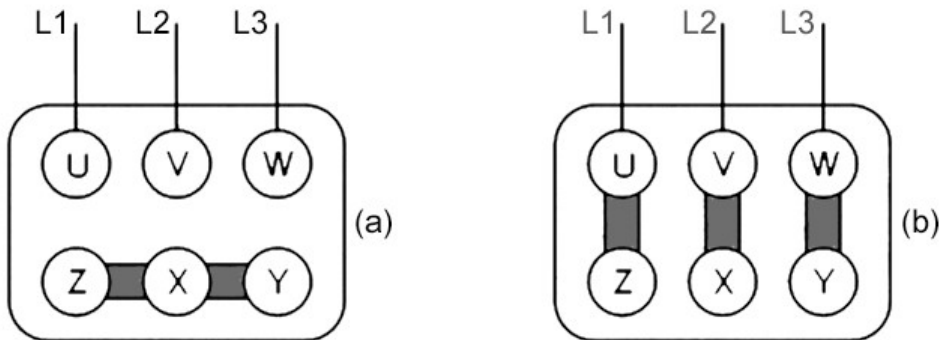
ile sargılara enerji ulaştırılır. Bu rotor sargısının uçlarına bağlanacak bir direnç ile motorda hız ve tork kontrolü yapmak mümkündür.

Asenkron motorun çalıştırılması için kullanılacak enerjinin uygulama yöntemi motora yol verme olarak adlandırılır. Motor sargılarının tercih edilen yöntemle göre eşleştirilmesi ve buna göre bağlanması klemens kutusu içerisinde gerçekleştirilir. Şebeke geriliminin her sargının iki ucuna birer faz düşecek şekilde verilmesine üçgen (Delta) bağlantı denilir. Stator sargılarından alınan birer ucun birleştirilip kalan üç uca da birer fazın bağlanmasına ise yıldız (Star) bağlantı adı verilir. Şekil 3.3'te motor stator sargılarının yıldız ve üçgen mantığı olarak düzenlenmesi ve hat - faz gerilimleri ile hat - faz akımları ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Stator sargılarının (a) yıldız ve (b) üçgen olarak bağlanması, hat ve faz gerilimleri ile akımlarının gösterilmesi

Stator içerisinden gelen her bir sargının uçlarının klemens kutusunda yıldız olarak ayarlanmış bağlantı şekli ve stator içinden gelen uçların klemens kutusunda üçgen olarak ayarlanmış bağlantı şekli Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

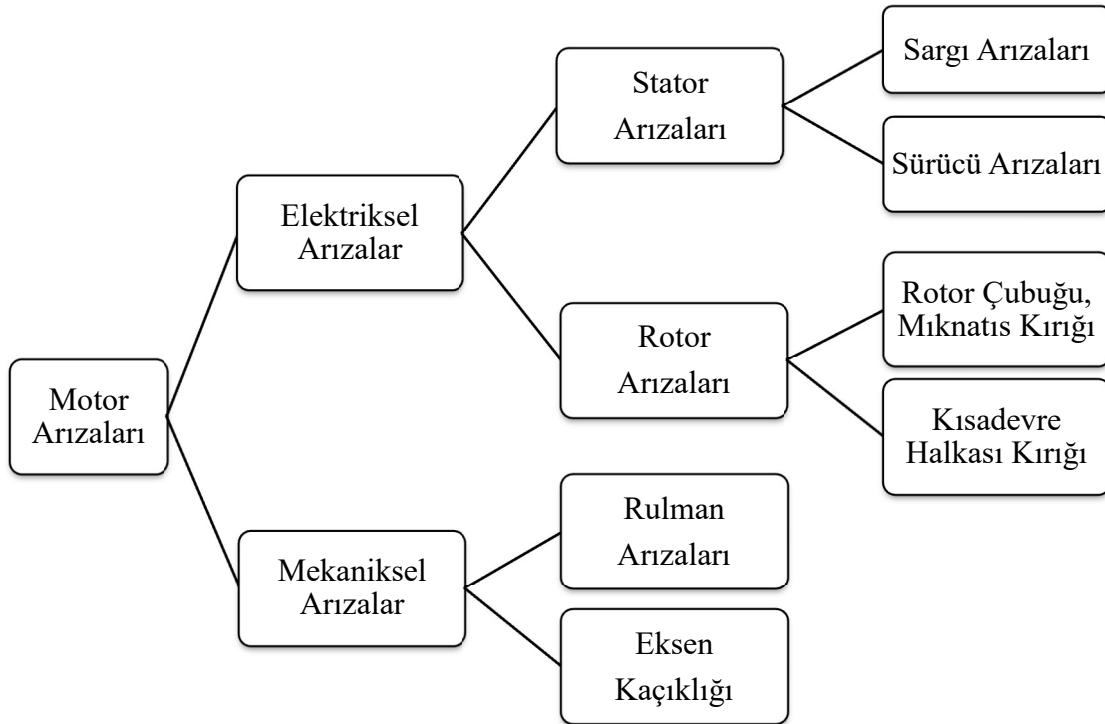


Şekil 3.4. Motor klemens kutusunda yıldız (a) bağlantı ve üçgen (b) bağlantı

3.1.1. Asenkron motorlarda arıza

Arıza, çalışan bir makine ya da ekipmanın tümünün veya bir bileşeninin, işlevini gerektiği gibi yerine getiremez duruma gelmesine neden olan, herhangi bir bileşenini güvenilir olmayan hale getiren muhtelif değişiklikler olarak tanımlanabilir. Endüstride ekipman tahrikinde en önemli elemanlardan olan elektrik motorlarının arıza ile karşı karşıya olmaları endüstrideki toplam ekipman etkinliğini düşürerek hem maliyetlerin artmasına neden olur hem de arıza gidermekte harcanan masraflar ortaya çıkarır [40].

Çalışma şartları, çalışma rejimi, bakım durumu, tasarım ve kurulum eksiklikleri gibi nedenler motorların işletme süresi boyunca sağlığını etkilemektedir. Eskiden motor üreticileri ve motoru kullananlar motor sağlığını yüksek tutmanın en önemli yolunun onu aşırı gerilimden korumak olduğunu düşünmüşler. Zamanla bu durum şimdilerde klasik yöntem olarak görülen motor koruma şalterleri, termik röleler, zamanlayıcılar vb. gibi yöntemlere evrilmiştir [41]. Günümüzde ise motorlarda yaşanan arızaların birçok sebepten kaynaklandığı fark edilmiş bu bağlamda işletme halindeki motorların eş zamanlı olarak takip edilmesi ile arızaların erken teşhis edilebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Şekil 3.5'te Elektrik motor arızalarının tür sınıflandırması görülmektedir [42].



Şekil 3.5. Elektrik motor arızalarının türleri

Asenkron motor arızalarının sınıflandırması sırasında arızaların dağılımı uluslararası ölçütlere göre tablo haline getirilmiştir, bu tablo Çizelge 3.1’de verilmiştir [42].

Çizelge 3.1. Elektrik motor arızalarının dağılımı

Arızalar	IEEE-IAS (%)	EPRI (%)
Rulman Arızaları	44	41
Sargı Arızaları	26	36
Rotor Arızaları	8	9
Diğer Arızalar	22	14

En çok tercih edilen asenkron motor türü, rotoru kısa devre çubukları ile donatılan ve sincap kafesli olarak adlandırılan türdür. Motorun işletilmesi sürecinde aşağıda detayları verilmiş olan sebeplerden dolayı çeşitli arızalar oluşmaktadır [43].

- Çubuk yapısındaki bozulmalar ile yük aşımı sonucunda oluşan termal etki ile ortaya çıkan kayıplar.
- Çevresel etmenler (Toz, kir, sıvı teması).
- Üretim kaynaklı oluşan hatalar.
- Manyetik alan düzensizliklerinden dolayı oluşan vibrasyon.
- Tahrik edilen yükün bindirdiği döndürme momenti, dönme hareketi kaynaklı ortaya çıkan hatalar.

Asenkron motorlardaki en yaygın karşılaşılan arızaların, yetersiz bakımdan, aşırı yükten, dış etken kaynaklı kaçak akımlardan, işletilme sürecinde oluşan aşınma ve yıpranma gibi çeşitli nedenlerden kaynaklandığı görülmektedir.

3.1.2. Stator arızaları

IEEE ve Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan araştırmalar, statorun mekaniksel, elektriksel, çevresel ve termal açıdan streslere maruz kaldığını ve bu streslerden çeşitli şekillerde etkilenecek arızalara yol açtığını göstermektedir [44].

Çok detaya inmeden statorda karşılaşılan arızalar; sargıdaki yalıtım hasarları, yalıtımın aşınması, nem, yağ ve kir kaynaklı yalıtımın bozulması, konnektör hasarlanması, dönüşler arasında kısa devre olarak sıralanabilir.

Sargı sıcaklığının artması yalıtımın ömrünü önemli ölçüde azaltır, yani sargı daha eski hale gelir. Bu sorunu azaltmak için çalışma sıcaklığının düşürülmesi, motorun yalıtım sınıfının artırılması ve havalandırma gibi bazı seçenekler vardır. Voltaj değişimleri, dengesiz fazlar, döngüsel aşırı yük, tıkanmış veya yetersiz havalandırma, yüksek ortam sıcaklığı gibi nedenlerle aşırı termal yük oluşabilir. Motor kısa bir süre içerisinde çok sayıda durma ve kalkmaya veya aralıklı çalışmaya maruz kalırsa, iç sıcaklık hızla yükselecek, bu da ani büzülme ve genişleme ile yalıtımın zayıflamasına neden olacaktır.

Dielektrik seçiminde yapılan hatalar sonucunda özellikle aşırı gerilimler karşısında delinme daha kolay yaşanabilir. Bu aşırı gerilimler fazdan faza, dönüşten dönüş ve toprağa dönüş şeklinde olabilir. Aşırı gerilimde yaşanan diğer bir etki de korona etkisidir. Korona etkisi izolasyon sistemini tehlikeye sokabilecek kritik değeri aşan voltajdan dolayı atmosferdeki gazların iyonizasyonundan kaynaklanan lokal bir boşalmadır. Korona gibi geçici gerilimler de motor sargılarının ömrünü kısaltmaktadır.

Stator sargılarında oluşan manyetik kuvvet, motorun çalıştırılması sırasında en üst seviyededir ve bobinlerin hem radyal hem de aksel yönde titreşmesine neden olurlar. Bu hareket bakır iletkenlerin yalıtkan malzemesini gevşeterek yalıtıma zarar verebilir. Rotor ve stator arasındaki hava aralığı, yatak kusurları, mil sapması, rotor ve stator arasındaki yanlış hizalama gibi nedenlerle aşıldığında ortaya bir sürtünme çıkar. Sadece yol verme sırasında sürtünme ile oluşan bu darbeler, sargıların izolasyonuna zarar verip toprakla temasına neden olur. Eğer bu sürtünme, asenkron motorun nominal hızında çalışırken de oluşuyorsa sürtünmeden dolayı aşırı sıcaklık da ortaya çıkacaktır ve bobin ile gövde arasında doğrudan temas oluşturabilir. Bu da erken aşınmaya neden olur [44].

3.1.3. Rotor arızaları

Elektrik makinelerinin hareket eden kısmı rotor olarak adlandırılır. Motorun yapısına göre rotor yapısı da değişmektedir. Asenkron motor arızaları içerisinde rotor arızaları %5-10 aralığında gerçekleşmektedir [42]. Endüstride en fazla kullanılan motorların başında sincap kafesli olarak da adlandırılan rotoru kısa devreli olan ASM'ler gelmektedir. İşletme süresinde kısa devre halkası ve rotor çubuklarında kırılmalar meydana gelebilmektedir. Arıza sebepleri ise manyetik çekimlerdeki düzensizlerden kaynaklanan vibrasyon ve gürültü, rotor miline tahrik ekipmanının bindirdiği tork, dairesel kuvvet ve merkezkaç

kaynaklı hatalar, zamanla çubuklarda oluşan gözenekler, üretim hataları ve çevresel (nem, kir, toz vb.) nedenler gösterilebilir.

3.1.4. Rulman arızaları

Küresel yataklar olarak da adlandırabilen rulmanlar, günümüzde çoğunlukla dönme hareketi içeren makinelerde kullanılmaktadır. Makinenin kullanım ömrü boyunca çalışması için tasarlanmalarına rağmen bu süreçte karşılaşılan arızalar da mevcuttur.

Mekanik aktarımların tümü kendi üzerinden gerçekleştiği için rulmanların üretildiği malzemeler çoğunlukla nominal limitlerine ve verimlerine yakın stres seviyelerine maruz kalmaktadır. En sık rastlanan arızalar, kullanılan metalin yorulması, hatalı rulman seçimi, kurulum hataları, kullanım süresi, bakımsızlık veya rulman imalatındaki hatalardan kaynaklanabilmektedir.

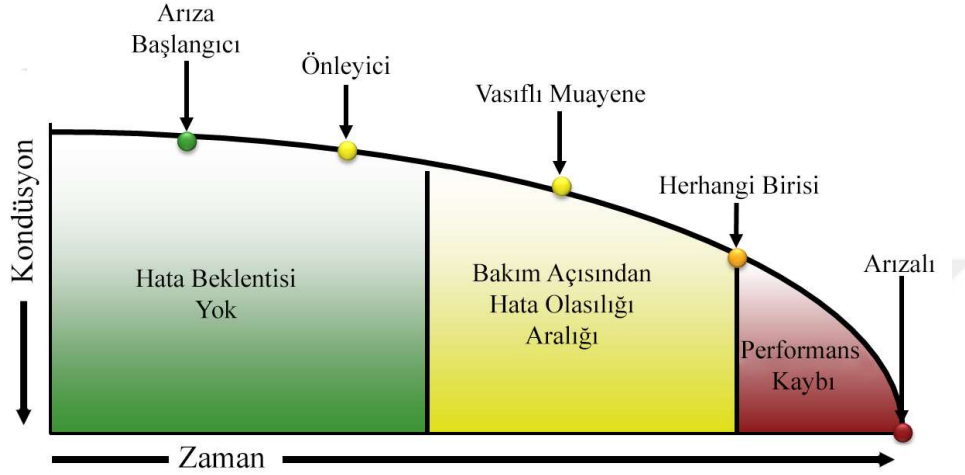
Rulmanların zamanla aşınmasına neden olan bir diğer faktör de frekans dönüştürücüleri yani motor sürücüleri kullanarak yapılan tahriktir. Aşınma sebepleri olarak, motor milinde oluşan elektrostatik yük nedeniyle rulman yatakları arasında dolaşan ortak mod akımları ve düşük seviyeli akım harmonikleri nedeniyle tork salınımlarının gerçekleşmesi sayılabilir. Motor milinin üzerinde indüklenen yükler yeterince yüksek seviyeye ulaştığında, yalıtım amaçlı kullanılan gresin dielektrik dayanımını kırar ve yataktan, topraklanmış muhafazaya doğru bir deşarj akımına neden olur.

Motorun nominal hızına yakın çalıştırılması ile frekans dönüştürücüsünün aşırı modülasyon bölgesinde çalışması gerekir. Akımın tek harmoniklerinin etkileşimi rotorda ve mekanik tahrik sisteminde sorunlara yol açar. Tork kontrol sistemlerinin kararsız çalışmasına sebebiyet verecek titreşimler ve tork düşümleri oluşturmasına neden olur [45].

3.2. Endüstriyel Bakım

İşletmelerde üretime devam eden mevcut düzenin ve verilen hizmetin, ekipmanın teknolojik ömrü boyunca kesintiye uğramadan verimli bir şekilde sürdürülebilmesi için bakım süreçleri gerçekleştirilmektedir. Arızadan dolayı ortaya çıkacak olan sistem duruşlarının önüne geçilmesi, üretim kayıplarının en aza indirgenmesi ve toplam ekipman etkinliğinin artırılması için yapılan işlemlerdir. Oldukça fazla değişkenden etkilenebilen endüstriyel

sistemler için çalışma şartlarına göre değişmekle beraber, bakım maliyetlerini düşük tutacak yöntemler tercih edilmektedir. Bakım için seçilecek yöntemin sahaya yansması aynı zamanda sistem ömrüne katkı, iş güvenliği, zaman ve iş gücü tasarrufu ile sürdürülebilirlik konularında fayda sağlayarak piyasadaki rekabette işletmenin elini kuvvetlendirecektir. Şekil 3.6’da bir bakım döngüsünün grafiği görölmektedir [46].



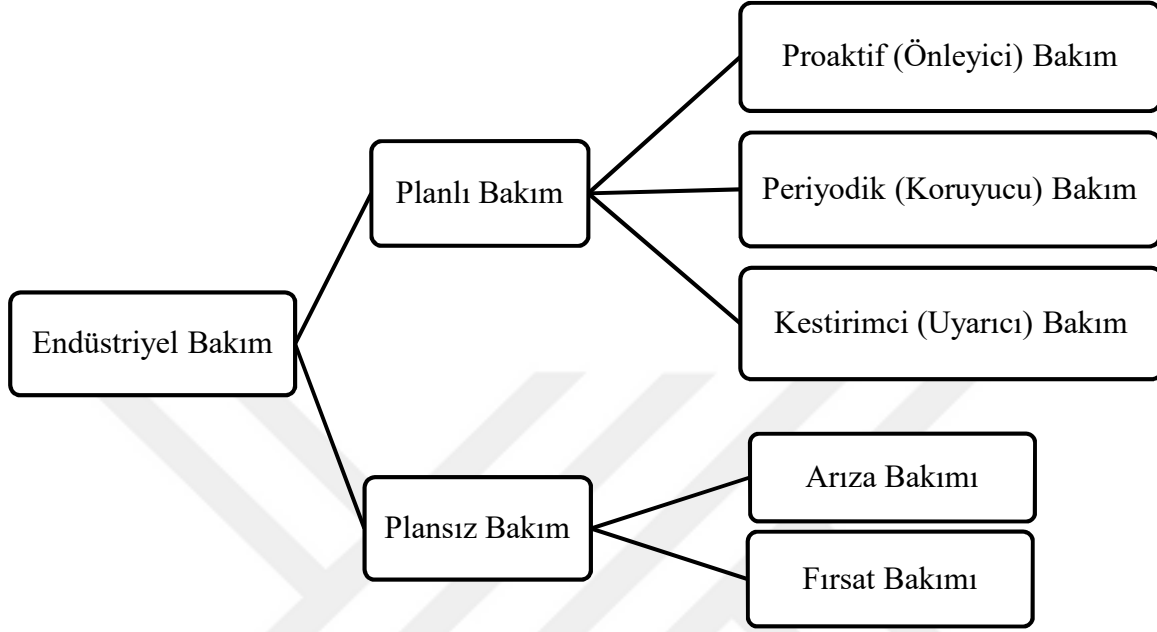
Şekil 3.6. Bakım döngüsü grafiği

Bakım konusuna maliyet açısından bakılırsa, sanayi dallarına göre bakım masraflarının üretim maliyetlerine göre değişken olduğu görülecektir. Ağır sanayilerde bu oran daha da yüksektir ve hangi bakım türünün uygulanacağı daha fazla ön plana çıkmaktadır. Bakım için yöntem belirlenirken, vakitsiz gerçekleştiği için harici masraflar çıkmasına sebep olacak, bakım nedeniyle üretimi sekteye uğratacak, kısacası işletmeye fayda sağlamayan bakım türlerinden uzak bir strateji belirlenmelidir.

3.2.1. Bakım çeşitleri

Bakım stratejisinin belirlenmesi bir plan içerisinde yapılmaz. Planlamanın yapılması sırasında “mevcut durum analizi” yapılmalı ve çalışan ekipmanları oluşturan bileşenlerin katalog verileri değerlendirilmelidir. Bu planlı yapılan bakımların haricinde, arıza durumu ile karşılaşıldığında gerçekleşen ve onarım içeren bakımlar da mevcuttur. Bakım türlerini planlı ve plansız bakım olarak ikiye ayırmak mümkündür. Planlı bakım ise uygulanma türlerine göre alt dallara ayrılabilir. Şekil 3.7’de gösterildiği üzere endüstride uygulanabilen bakım çeşitlerini, Arıza (Plansız) Bakımı, Fırsat Bakımı, Proaktif (Önlleyici) Bakım,

Periyodik (Koruyucu) Bakım ve Kestirimci (Uyarıcı) Bakım olmak üzere sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 3.7. Endüstride uygulanan bakım türleri

Sadece arıza çıktığı zamanlarda yapılan, üretim kaybının fazla yaşandığı, TEE'nin düşük olduğu, arıza ve hataların zamanla diğer ekipmanlara da zarar verebileceği, endüstride tercih edilmeyen bakım türü "Arıza Bakımı" olarak tanımlanabilir.

Sistemde gerçekleşen herhangi bir arıza durumunda sorunu gidermek için yapılan onarım sırasında sistem hazır durmuşken ekipmanın diğer bölgelerinde "Fırsat Bakımı" adı altında iyileştirme ve bakımlar yapılabilir.

Muhtemel çıkabilecek arızaların ana nedenlerini en başta bularak, tasarım aşamasında gerekli değişikliklerin yapıldığı, arızanın ortaya çıkmasını önlemek amacıyla yapılan bakım türü ise "Proaktif Bakım" olarak adlandırılır. Amaç arızayı tespit etmek değil, daha öncesinde arızaların oluşmasını engellemektir.

"Periyodik Bakım" yönteminde ise daha önceden belirlenmiş bir periyotta ekipmanı oluşturan bileşenlerin takvim bazlı bakımlarının yapılmasıdır. Zaman bazlı bir kontrol ile makine ve ekipman üzerinde bulunan bileşenler kontrol edilir ve tespit edilen hatalar düzeltilir veya parçalar değiştirilir. Henüz arıza çıkmamış olsa bile zamanı geldiğinde bu

bakım uygulanır. Ekipman açısından iyi gibi olsa da gereksiz bakımlar içerdiğinden maliyet olarak verimli olamamaktadır.

3.2.2. Kestirimci bakım (uyarıcı bakım)

Ekipmanlardan toplanan akım, gerilim, vibrasyon, sıcaklık gibi bazı fiziksel büyüklüklerin bir algoritma dâhilinde değerlendirilmesi sonucu arızanın gerçekleşeceğini önceden tahmin ederek uygulanan bakım yöntemidir. Makine ve ekipmanın işletme halindeki durumunu, arızalanma riski oluşmadan ve ekipman kullanım ömrünü artırmak için ölçümlerle elde edilen verilerle karar verilen bakım türüdür [47].

Endüstride ekipmanların arıza yapma periyotları değişken olabilir. İş arıza bakımına kalmadan yani henüz arıza gerçekleşmemişken yapılacak olan bir bakım işletme için hem üretim sürekliliği hem de maliyet açısından tercih sebebidir. Makine veya ekipmanın işletme anındaki verilerinin değerlendirilmesi ile arıza çıkarma ihtimali olan bileşenler tespit edilir. Muhtemel arıza kaynağı olan bileşeni tespit etmek ve bu sorunu çıkaran bileşendeki hatanın daha da artmaması için erken müdahale şansı tanınmış olur. Uyarıcı bakım uygulamalarının diğer bakım türlerinden ayıran en önemli özelliği, zaman veya arıza temelli değil de durum temelli yaklaşımıdır.

Sıfır arıza sloganı ile işletmelerin hedeflerine ulaşmasında, anlık durum takibinin yapılması ve arızanın ne zaman nerede gerçekleşebileceğinin tahmini önemlidir. Ortaya çıkacak arızaların öngörülmesi ile düzgün bir bakım planlaması yapılabilmektedir. Bu sayede sadece gerektiği kadar, gerektiği yere bakım yapılarak işletmenin bakım maliyetini düşürmek mümkündür.

Kestirimci bakım diğer bakım modelleri ile karşılaştırıldığında birçok avantajları vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Makine ve ekipmanın korunması için geçen zamanı en aza indirir.
- Makine ve ekipmanın TEE'sini ve güvenilirliğini artırır.
- Makine ve ekipmanın toplam çalışma süresinin ve ömrünün uzun olmasını sağlar.
- Makine ve ekipman sadece bakım ihtiyacı olduğunda durdurulduğu için duruş süresi azalır.
- Makine ve ekipmanın bakım maliyetini ve süresini azaltır

Uyarıcı bakım, daha önceden elde edilmiş kabul, kural ve istatistiki veriler baz alınarak, işletme anında çıkabilecek sonuçların öngörülmesini sağlamaktadır. Uygulamanın başarısı bu ön kabul, kural ve istatistiki verilerin doğruluğundan gelmektedir. Sahadan sensörler yardımıyla alınacak veriler bu ön kabul, kural ve istatistiki verilerle uygun yöntemler kullanılarak karşılaştırılır. Karşılaştırma yönteminin esnekliği, eldeki referans verilerin doğruluğu uyarıcı bakımın da başarısını yukarı taşır.

Uyarıcı türde bakım stratejilerini uygulamak, yapılan bakım yatırımının kendini amorti etme oranında önemli bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca bakım maliyetlerinin %25-30 civarı azaldığını, arıza sayısının %70-75 oranlarında düştüğünü, bir arızada geçen sürenin %35-45 aralığında azaldığını göstermiştir. Bu kazanımların yanı sıra belirli bir oranda maliyete de sebep olmaktadır. Kestirimci bakım uygulamalarının bazılarında durum takibi yapılan ekipmanlar ve buradan elde edilecek verilerin değerlendirilmesi için yetkin çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır [30].

3.3. Bulanık Mantık

İnsanlar bilgisayarlar gibi sadece kesin yargılar içeren düşünce ve muhakeme yapısına sahip değillerdir. Bilgisayarlardaki ikili mantıkta yer alan var-yok, evet-hayır, 1-0 ilişkisinin esnek olmayan yapısı yüzünden muğlak diye tabir edilebilecek gri alanlar mevcuttur. Bunların hesaplamaya katılmasında bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Dünyada birçok alandaki olguların siyah veya beyazdan oluşmadığı birçok gri alanın olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Bu mantıktan yola çıkan Lotfi Asker Zadeh (Lütfi Aliasker Zade) 1965 yılında California Berkeley Üniversitesi'nde BM hakkındaki ilk makalesini yayınlamıştır. Bulanık mantığın klasik ikili mantıkta var olan keskin ayrımlı ikilemini daha geniş hale getirerek eldeki yargının kesinliğinden ziyade doğruluk seviyesine önem verir. Zadeh bir şeyin yanlışlık veya doğruluktan ziyade yanlış veya doğru olma oranıyla tanımlanmasını sağlar [48]. İnsanın doğal dil yapısını ve günlük sözel anlatımları kullanarak belirsizlikleri mantığa aktarır.

Sisteminin yapısından dolayı, kesin olmayan çıktılar üretilebilmesiyle beraber aynı zamanda fazla sayıda değişken kullanılabilmesi de önemlidir. Bu sayede ölçme ve değerlendirmelerin daha doğru yapılabilmesi için bulanık mantıktan faydalanılmaktadır. Bulanık mantık sadece matematiksel veya diğer bir deyişle mühendislik alanındaki sorunları çözmek için değil belirsizlik barındırması ve görece esnek ifadeler tercih edilmesi gibi sebeplerden ötürü sosyal bilimlerde de tercih edilmektedir [49]. Bulanık mantığın özelliklerinden dolayı eğitim

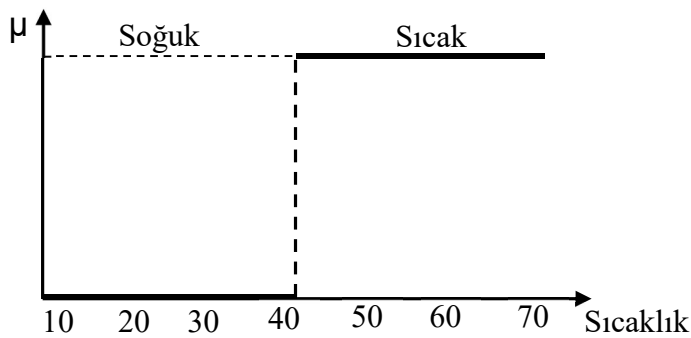
bilimlerinin öğretim yöntemleri, ölçme değerlendirme, öğretim sistemi tasarımı gibi farklı araştırma konularında çözümler sunan muhtelif çalışmalar mevcuttur. Eğitimle ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde görülmektedir ki genellikle bulanık mantık tabanlı modeller sunulmaktadır [50].

Bulanık mantık, olayların gerçekleşmesi ihtimalinden daha çok olayın ne oranda gerçekleştiği ile ilgilenir. Her ne kadar farklı disiplinler olsa da bir açıdan olasılık kuramının devamı olarak değerlendirilebilir. Birinde gerçekleşebilme ihtimali değerlendirilirken diğerinde ne derecede gerçekleştiği değerlendirilir. Aradaki farkı daha iyi açıklamak için bir örnek verilecek olursa, aç birisine ilkinde “%90 ihtimalle yenilebilir madde içerir” diğerinde ise “%90 oranda yenilebilir madde içerir” yazılı tabak servis edildiğini varsayalım. İlkinde 0 ihtimalle zararlı veya zehirli bir madde de bulunabilir demekken ikinci seçenek %90 besleyicilik oranına sahip demektir. Elbette ikinci kap seçilmelidir. Her iki kavram da belirsizlik anlatmasına karşın farklı yöntemlerle bunu yapmaktadırlar.

3.3.1. Bulanık mantık teorisi

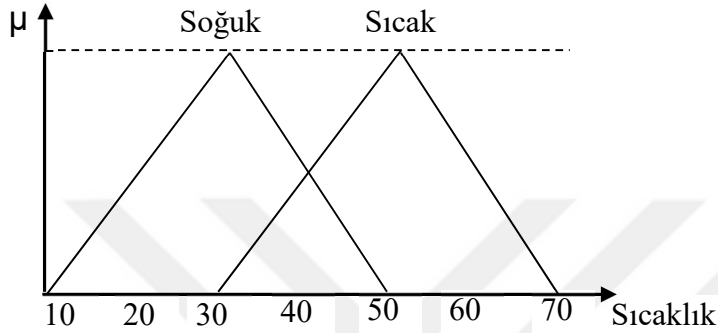
Bulanık mantık, bir şey ile ilgili olarak karar verme sürecinde bilginin hangi kümeye ne kadar üye olduğunu tanımlar. Bir değer birden fazla kümeye dâhil olabilir. Bundan doğruluk ve yanlışlık olarak bahsedilirse, bulanık mantıkta ne kadar doğru veya ne kadar yanlış olduğunun bir seviyesi vardır.

Şekil 3.8’de klasik Aristo mantığına göre sıcak ve soğuk tanımlaması verilmiştir. Kesin sınırla belirlenmiş şekilde soldaki üyenin sağdaki ile ilişkisi bulunmamaktadır. Sıcaklıktan örnek verilirse, klasik mantıkta 40°C altı soğuk, üzeri ise sıcak olarak tanımlandığında 39°C sıcaklıkta tanımlama “soğuk” iken, 41°C sıcaklıkta ise tanımlama “sıcak” olmaktadır.



Şekil 3.8. Klasik mantık modeli

Aynı bilgiler doğrultusunda tanımlama yapılırken 10-50 °C aralığı soğuk olarak tanımlanırken 30-70 °C aralığı sıcak olarak tanımlanmıştır. Bu durumda 30°C altı için kesin suretle “soğuk” denilebilmektedir, keza aynı mantıkla 50°C üzeri için de “sıcak” ifadesi kesin suretle kullanılabilir. Burada asıl 30-50°C aralığında ki yapılan tanımlamadır. Ne kadar soğuk ve ne kadar sıcak olduğundan bahsederken hangi kümeye ne kadar dâhil olduğu önemlidir. Şekil 3.9’da bulanık mantık ile soğuk sıcak tanımlaması görülmektedir.



Şekil 3.9. Bulanık mantık modeli

Zadeh’in BM tanımlamasına göre, yapılan bir önerme netleştikçe öteki önerme değerindeki netleşmenin oranında bulanık hale gelmektedir. Bu ifade ile bulanık mantığın kökenleri oluşturulmuştur. Kesin olmayan, istatistiksel veya olasılıksal veri girdileriyle çalışan bilişim sistemleri olarak tanımlanabilecek olan “Soft Computing” ve “Dinamik Sistemler” de bulanık mantık önemli yer tutmaktadır. Bu açıdan bakılırsa, dinamik sistemler gerçek dünyayı modellemede, bilişsel ve sosyal problemlerin incelenmesini sağlayabilir [51].

Bir sorunu çözmek için matematiksel model oluşturmak her zaman mümkün olmayabilir. Bulanık mantığın yapabilecekleri böyle durumlarda daha ön plana çıkmaktadır. Model olmadığı durumda uzmanların tecrübeleri ve algılayıcılar ön plana çıkar. Değişkenlerin tespitini yapan algılayıcılar sayısal veriler üretir. Bu veriler, uzmanların işleyişle ilgili sunduğu veriler ve anlatımlarından oluşan kurallar bütününde işleme alınır.

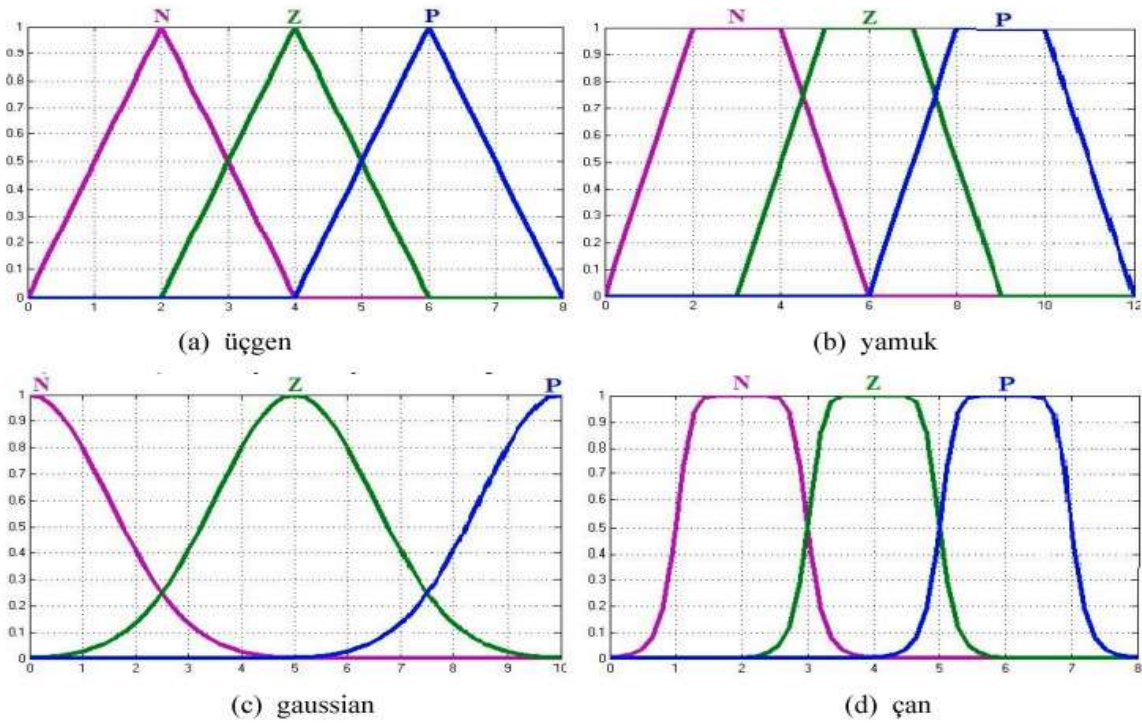
Bulanık mantık kontrolcülerinin sağladığı avantajlar;

- İnsanların yaşanan olaylara bakış açılarını taklit ederek çalışmasından dolayı kolay anlaşılır olması.
- Problemlere uygulanması kolaydır.
- Birden fazla işlem yapılmasına olanak tanır.
- Karmaşık yazılımlar gerektirmediğinden, maliyet açısından daha uyguna mal olurlar.

3.3.2. Üyelik fonksiyonları

Bulanık küme kavramı, bulanık mantığın temelini oluşturan en önemli kavramlardandır. Bulanıklığın olduğu kümelerde, her bir kümedeki elemanların sıfır ile bir arasında farklı değerler aldığı üyelik dereceleri vardır. Üyelik fonksiyonu seçimi için kesin bir yöntem bulunmamaktadır. Belirlenmiş ve çözüm aranacak probleme, daha önceki uzman tecrübelerine göre en uygun üyelik fonksiyonu seçilir. Birden çok ve farklı üyelik fonksiyonlarının kullanımı mümkündür.

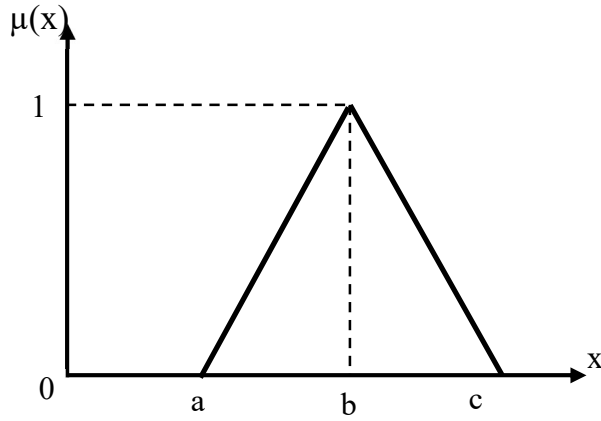
Bulanık mantıkta en yaygın kullanılan üyelik fonksiyonu çeşitleri üçgen, yamuk, gaussian, çan, sigmoid ve cauchy'dir. Bu üyelik fonksiyonlarının bazıları ve uygulanması şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Yaygın kullanılan bazı üyelik fonksiyonları

Üçgen üyelik fonksiyonu

Lineer olarak artıp tepe noktasından sonra yine lineer olarak azalan bir üyelik fonksiyonudur. 3 adet parametresi vardır, sırasıyla x eksenindeki başlangıç, tepe ve bitiş değerlerini ifade eder. Bunlar sırasıyla a, b ve c olarak tanımlanırsa matematiksel ifadesi Eş. 3.1'deki gibi olur. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 3.11'de verilmiştir.

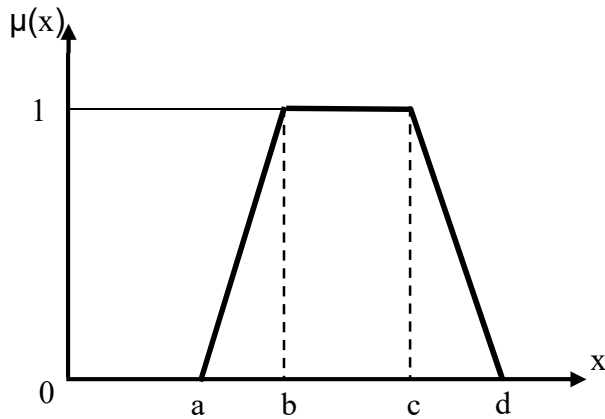


Şekil 3.11. Üçgen üyelik fonksiyonu

$$\text{Üçgen}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Yamuk üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonunda tepe noktası olarak tanımlanan ve sadece bir değerde en fazla mutlak 1 olan kısım, yamuk fonksiyonda tek noktada değil geniş bir aralıktadır. Üçgene göre bir parametre daha eklenmiştir. Bunları sırasıyla a, b, c, d olarak tanımlarsak matematiksel ifadesi Eş. 3.2’de verilmiştir. Yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 3.12’de görülmektedir.

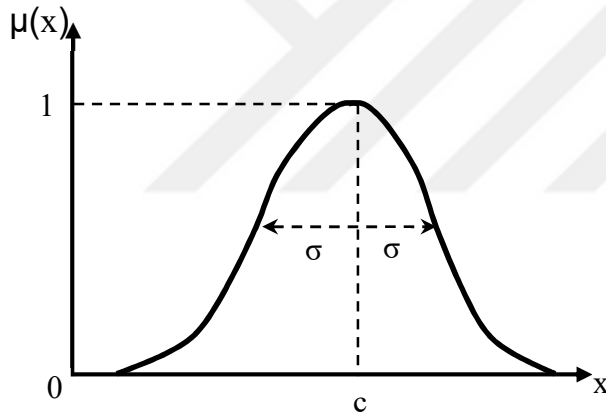


Şekil 3.12. Yamuk üyelik fonksiyonu

$$\text{Üçgen}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c), & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Gauss üyelik fonksiyonu

c ve σ parametreleri ile tanımlanır. Bir adet var olan mutlak 1 noktası c parametresi ile ifade edilir. σ parametresi ise fonksiyonun genişliğini tanımlar. Matematiksel ifadesi Eş. 3.3'te verilmiştir. Yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 3.13'te görülmektedir.



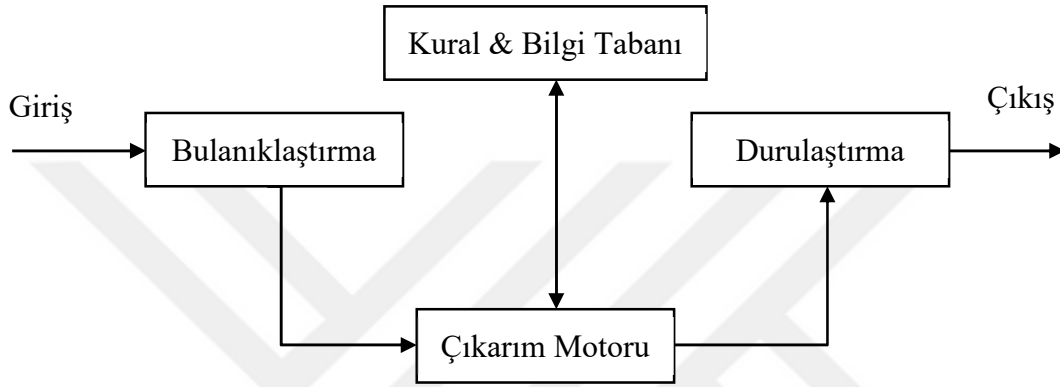
Şekil 3.13. Gauss üyelik fonksiyonu

$$\text{Gauss}(x, c, \sigma) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.3)$$

3.3.3. Bulanık mantık kontrol sistemi

Bulanık mantık yapısının işleyişi dört ana bölümde incelenmektedir. Bunlar kural ve bilgi tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru ve durulaştırma'dır. Kural ve bilgi tabanı olarak adlandırılan bölümde, bulanık mantıkta niceliksel karar verme modeli için gerekli olan koşullar, istatistikî veriler, konusunda uzman olan kişilerin tecrübe ve bilgilerinden yola çıkarak “eğer durum bu ise o zaman sonuç şu olsun” şeklinde düzenlenir. Bu kural veya

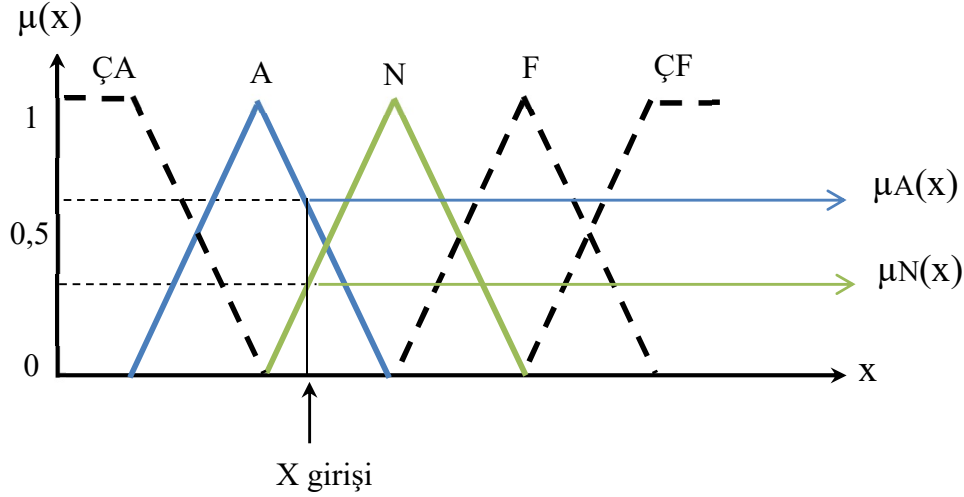
kurallar bütünleri ile bulanık veriler değerlendirilir. Çıkarım motoru bölümünde bulanık haldeki girdinin önceden belirlenmiş kurallara göre eşleşme dereceleri ve veri alanına göre çalıştırılacak olan kurallar belirlenir. Kurallar birleştirilip çalıştırılarak bulanık kümeler elde edilir. Elde edilmiş bulanık kümeleri gerçek dünyada çıktı olarak kullanılacak ve net değerler içeren, bulanık olmayan hale dönüştürmek için bulanıklaştırmanın tersi olan durulaştırma işlemi yapılır. Şekil 3.14'te bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.14. Bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı

Bulanıklaştırma

Bulanık hale getirme süreci, veriler toplandıktan sonraki net olan girdilerin diğer bir deyişle algılayıcılardan gelen sayısal bilgilerin üyelik fonksiyonuna göre sözel ifadeler şeklinde tanımlanmasıdır. Sistemden alınan veriler bulanıklaştırma aşamasında sözel nitelemeler şeklinde sembolize edilir. Bulanık mantık kontrol sisteminde giriş bölümü olan bulanıklaştırma kısmında veriler üyelik fonksiyonları ile kesişir ve üyelik derecesi belirlenir. X uzayında birer bulanık küme olarak tanımlanmış A ve B sırasıyla $\mu_A(x): x \rightarrow [0, 1]$ ve $\mu_B(x): x \rightarrow [0, 1]$ şeklinde tanımlanır. $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ sırasıyla A ve B bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonlarıdır. Bunların kesişim işlemine ait üyelik fonksiyonu ise $I = A \cap B \Rightarrow \mu_I(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$ olarak tanımlanır. Şekil 3.15'te BM kontrol sisteminde $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu oluşturan bir bulanıklaştırma ve örneği görülmektedir. Burada $\text{ÇA} = \text{Çok Az}$, $A = \text{Az}$, $N = \text{Normal}$, $F = \text{Fazla}$ ve $\text{ÇF} = \text{Çok Fazla}$ olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.15. BM kontrol sisteminde $\mu(x)$ bulanıklaştırma

Kural ve bilgi tabanı

BM kontrol sisteminde sistem ile ilgili bilgiler, sistemdeki çalışmalara dayanan kararlaştırılmış üyelik fonksiyonları ve uzman insanların “karar verme” yetisinin taklit edildiği yer olarak tanımlanabilir. Diğer bölümlerin (bulanıklaştırma, durulaştırma, çıkarım motoru) ihtiyaç duyduğu kural tablosu ve üyelik fonksiyonlarını barındırır ve ihtiyaca göre onlara sunar. Bu bölüm bulanık ifadeleri barındırır.

Kurallar dilsel anlatımlar içeren, değişkenlerin birbirleri ile ilişkilerini ifade eden denetim mekanizmalarıdır. “Eğer öyle ise sonuç böyle olsun” gibi ifadeler barındırırlar. İfadedeki “EĞER” bölümü bir şart içerir, bu şart gerçekleştiğinde “İSE” den sonra tanımlanan kısım kontrolcünün sonuç olarak aktardığı bölümdür. Örnek olarak:

- EĞER motor akımı “çok yüksek” İSE malzeme miktarını “çok az” yolla

Kuralların belirlenmesinde ihtiyaca göre birden fazla kural değerlendirmeye alınabilir. Bunların birbirleriyle olan ilişkileri sağlanırken mantıksal operatörler “VE” ve “VEYA” bağlaçları kullanılabilir. Bir önceki örneğe bu mantıksal operatörler eklenerek komut genişletilebilir, örneğin:

- EĞER motor akımı “çok yüksek” VE titreşim “yüksek” İSE malzeme miktarını “çok az” yolla
- EĞER motor akımı “çok düşük” VEYA titreşim “çok düşük” İSE malzeme miktarını “kapat”

Kuralların belirlenmesinde uyulması gereken herhangi bir koşul yoktur, oldukça esnekler. Bulanık kurallar oluşturulurken tecrübe, uzaman bilgisi, istatistiki veri, mühendislik hesaplaması, katalog verileri vb. baz alınabilir.

Çıkarım motoru

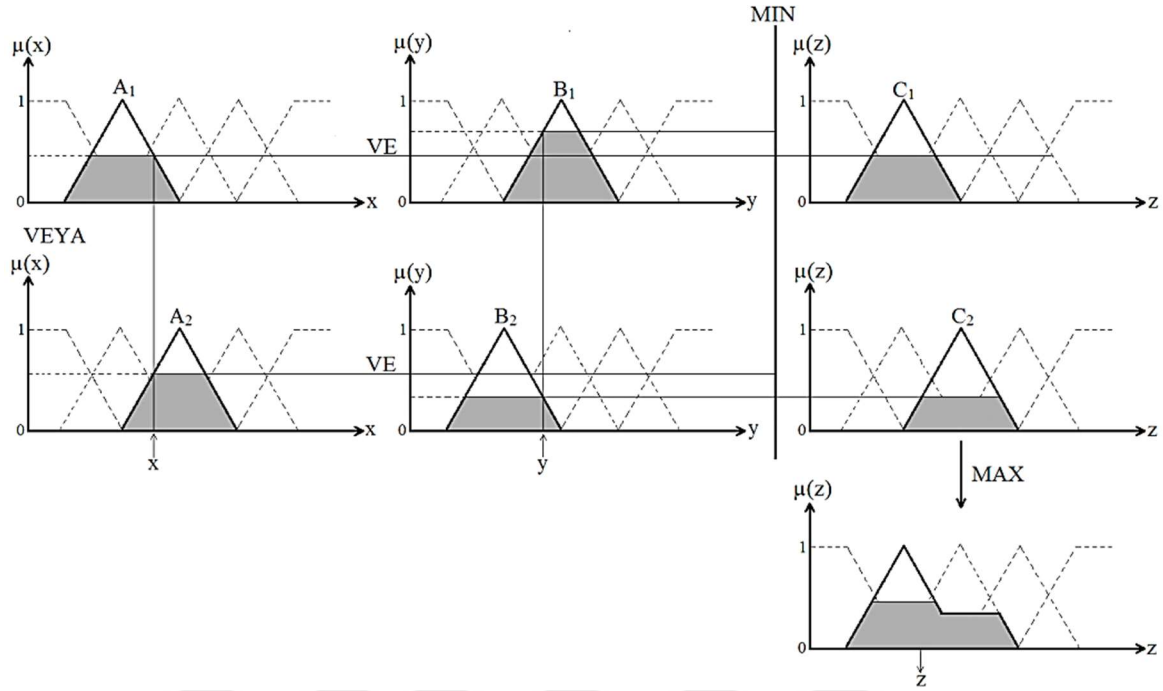
Belirlenmiş kurallardan hangilerinin kullanılacağına karar veren ve BM kontrolcüsünün çalışmasını belirleyen bölüm çıkarım motorudur. Kullanılan yöntemlere Mamdani, Takagi Sugeno, Larsen, Tsukamoto, bulanık çıkarım yöntemleri örnek verilebilir. Bunlardan en yaygın olan ikisi Mamdani ve Takagi-Sugeno çıkarım yöntemleridir.

Mamdani BM çıkarım yöntemi

İnsan muhakeme ve algısına çok fazla benzemesi ayrıca tasarımının daha kolay olmasından dolayı en yaygın kullanılan yöntemdir. Londra Üniversitesinde görevli İbrahim Mamdani tarafından 1975 yılında geliştirilmiş bir yöntemdir ve bir buhar makinesinin kontrolünde uygulanmıştır [52].

Girişteki verilerin atışlediği kurallar ile bulanık kümelerin üyelik değerleri belirlenir. Hesaplanan bu değerler, kural tablosundan mantıksal VE & VEYA bağlaçlarının etkisine göre MAX (en büyükleme) ve MIN (en küçükleme) operatörüne yönelir. “VE” bağlacıysa “MIN” operatörüne, “VEYA” bağlacıysa “MAX” operatörüne yönelir. Belirlenen kurala göre, gelen değerler arasından en küçük veya en büyük değeri gönderir. Elde edilmiş bulanık ifadeli çıkarım durulaştırılarak bir sonuç çıkarılır. Eş. 3.4’te matematiksel ifadesi verilen Mamdani bulanık çıkarım sisteminin Şekil 3.16’da X ve Y girdilerinin ne kadar A ve B kümelerine ait olduğunu gösteren, daha sonra VE mantıksal bağlacı ile MIN değerlerin alındığı, çıkan iki sonucun MAX ile toplanarak sonuç grafiğın ortaya çıktığı örnek uygulaması gösterilmiştir. Eş. 3.4’te $\mu_c(z)$, birbiri içine geçirilerek toplanan birleşik bulanık çıkarımın üyeliğini ifade eder.

$$\mu_c(z) = \max \{ \min \{ \mu_{A1}(x), \mu_{B1}(x) \}, \min \{ \mu_{A2}(x), \mu_{B2}(x) \} \} \quad (3.4)$$



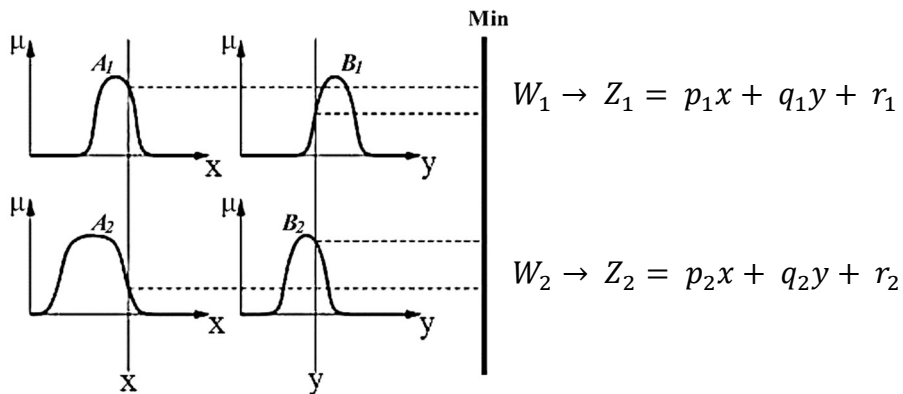
Şekil 3.16. Mamdani BM çıkarım metodu örneği

Takagi-Sugeno BM çıkarım yöntemi

Kontrol problemleri için tercih edilen, BM çıkarımı yüksek olan yöntemlerindedir. Mamdani yönteminden uyarlanarak 1985 yılında kullanılmaya başlanan yöntemin farkı çıkış fonksiyonunun bulanık olmayıp kesinlik içermesidir. Eş. 3.5'teki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\text{EĞER } x=A \text{ VE } y=B \text{ İSE } z=px + qy + r \quad (3.5)$$

Burada sonuç kesin olarak lineer bir fonksiyon veya sabittir. Daha karmaşık olsa da durulaştırma daha basittir. Şekil 3.17'de grafiksel gösterimi verilmiş olan yöntemde çıkış genellikle polinomdur, çıktı sonuçtaki üyelik derecelerinin ağırlıklı ortalaması ile hesaplanır.



Şekil 3.17. Takagi-Sugeno BM çıkarım metodu

Durulaştırma

Sistemdeki veriler, oluşturulan “kural & bilgi tabanı” kısmından faydalanılarak çıkarım işlemi öncesinde bulanıklaştırılır. Bilinen bir aralıktaki veriler üyelik fonksiyonlarına göre 0 ile 1 arası değerlere normalize edilmektedir. Kurallara göre değerlendirildikten sonra dış dünyada anlaşılabilir sonuçları elde etmek için bu bulanık halinden çıkarılıp duru hale getirilmelidir. Bir başka deyişle çıkarım motorundan gelen sonuçların sayısal verilere dönüştürülmesidir. Literatürde çok sayıda durulaştırma yöntemi önerilmiştir, burada en yaygın kullanılanları ele alınacaktır. Bunlar:

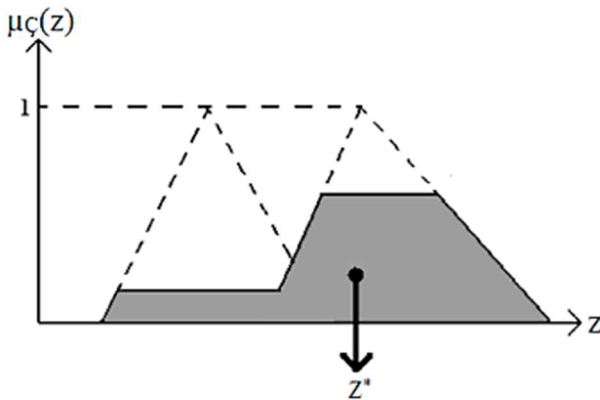
- Ağırlık Merkezi (Center of Gravity)
- Alan Ortası (Bisector)
- En Büyüklerin Ortalaması (Means of Maximum)
- En Büyüklerin En Büyüğü (Largest of Maksimum)
- En Büyüklerin En Küçüğü (Smallest of Maximum)

Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi

Sıkça kullanılan ve Mamdani çıkarım metodunda tercih edilen yöntemdir. Elde edilen bulanık sonucu gösteren, bulanık kümenin alanının ağırlık merkezidir. Sürekli ve ayrık durumlar için kesin çıktının ayrı ayrı elde edilmesini gösteren eşitlikler Eş. 3.6’da verilmiştir.

$$Z^* = \frac{\int \mu_{\zeta}(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_{\zeta}(z) \cdot dz} , \quad Z^* = \frac{\sum \mu_{\zeta}(z) \cdot z}{\sum \mu_{\zeta}(z)} \quad (3.6)$$

Ağırlık merkezi durulaştırma işleminin grafiksel gösterimi Şekil 3.18’de görülmektedir.

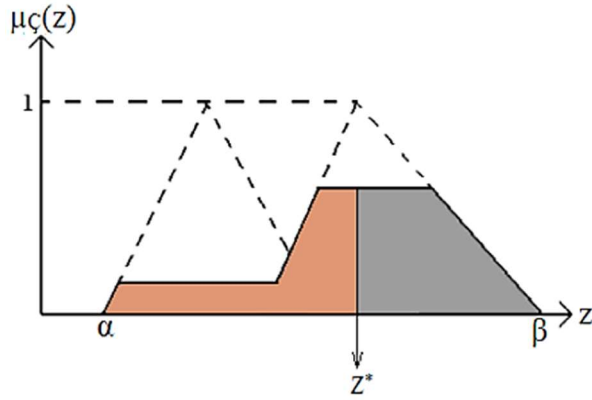


Şekil 3.18. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi

Alan ortası durulaştırma yöntemi

Kesinleşmiş çıktının değeri, çıkıştaki bulanık kümenin alanının iki eş alana ayıran çizginin Z eksenindeki değeriyle bulunur. Bulunan değer ağırlık merkezi ile aynı olabilmektedir, çoğunlukla benzer sonuçlar da olabilir. Eş. 3.7’de alan ortası yönteminin matematiksel ifadesi, Şekil 3.19’da ise alan ortası durulaştırma yönteminin grafiksel anlatımı verilmiştir.

$$\int_{\alpha}^{z^*} \mu_{\zeta}(z) dz = \int_{z^*}^{\beta} \mu_{\zeta}(z) dz \quad (3.7)$$

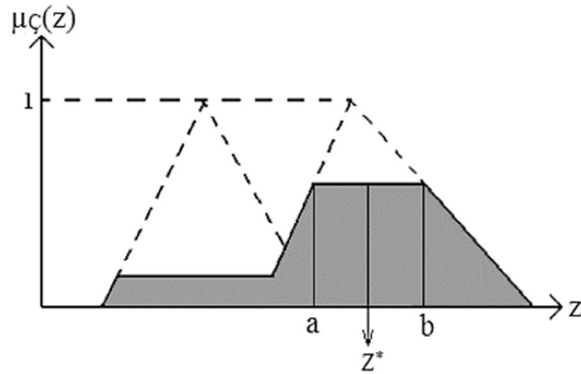


Şekil 3.19. Alan ortası durulaştırma yöntemi

En büyüklerin ortalaması durulaştırma yöntemi

Çıkışa ait bulanık kümeden en büyük üyelik derecelerini veren değerlerin ortalaması alınarak duru çıktı oluşturulur. Eş. 3.8’de en büyüklerin ortalaması durulaştırma yönteminin matematiksel ifadesi ve Şekil 3.20’de ise alan ortası durulaştırma yönteminin grafiksel anlatımı verilmiştir.

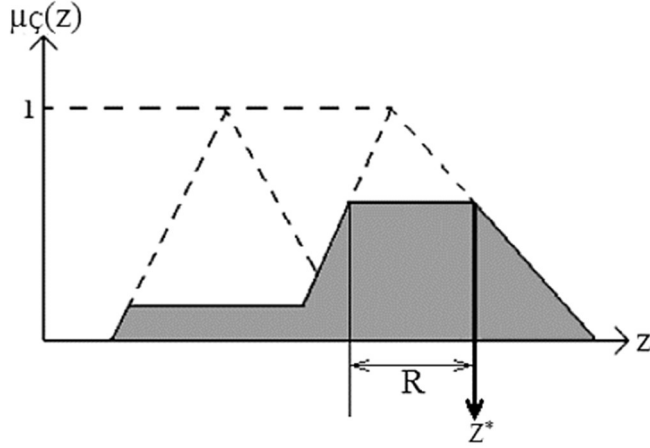
$$Z^* = (a+b) / 2 \quad (3.8)$$



Şekil 3.20. En büyüklerin ortalaması durulaştırma yöntemi

En büyüklerin en büyüğü durulaştırma yöntemi

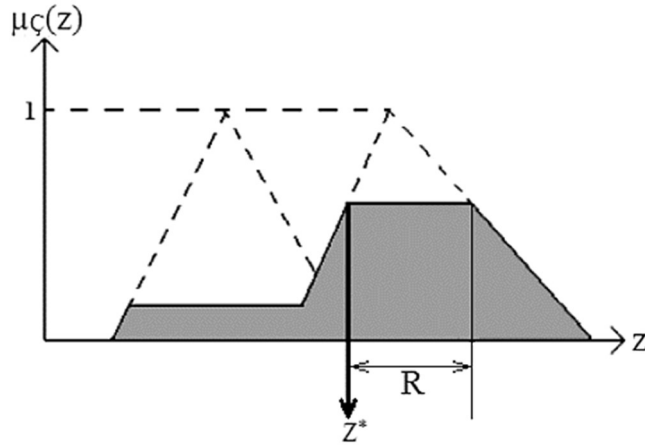
Çıkıştaki bulanık kümelerin birleşiminde en büyük üyelik değerlerinin olduğu aralıkta Z eksenini kesen en büyük değer bu sistemin çıktısı olarak kabul edilir. Üyelik derecesine göre bir çıktı belirlendiğinden dolayı matematiksel işlem gerektirmez. Şekil 3.21’de en büyüklerin en büyüğü durulaştırma yönteminin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.21. En büyüklerin en büyüğü durulaştırma yöntemi

En büyüklerin en küçüğü durulaştırma yöntemi

Çıkıştaki bulanık kümelerin birleşiminde en büyük üyelik değerlerinin olduğu aralıkta Z eksenini kesen en küçük değer bu sistemin çıktısı olarak kabul edilir. Üyelik derecesine göre bir çıktı belirlendiğinden dolayı matematiksel işlem gerektirmez. Şekil 3.22’de en büyüklerin en küçüğü durulaştırma yönteminin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.22. En büyüklerin en küçüğü durulaştırma yöntemi

3.4. PLC ve Scada

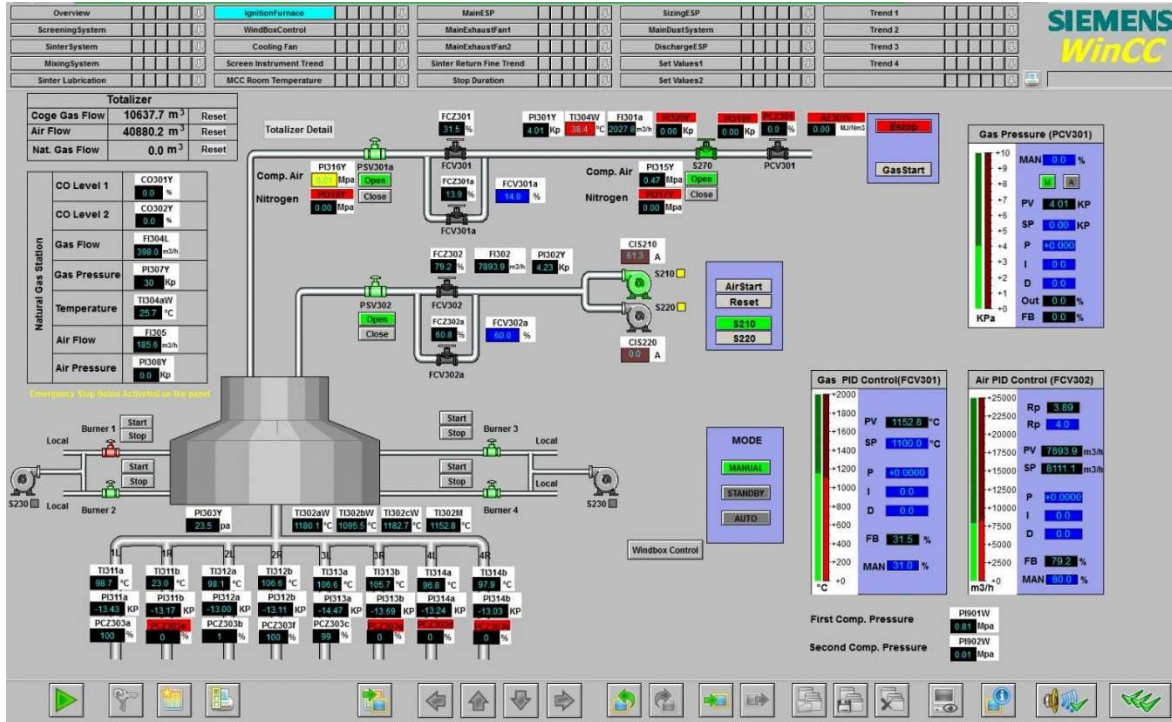
Programlanabilen Lojik Kontrolör kelimelerinin İngilizcesinin baş harflerinden ismini alan PLC, aritmetik ve lojik işlemler, veri işleme, kıyaslama vb. fonksiyonları gerçekleştirirler. Ladder, STL, CFC, FBD, IL gibi programlama dilleri ve yöntemleriyle giriş verilerini değerlendirerek çıktılar oluşturabilen, bunları belleğe atayıp ekranda (HMI) gösterebilen sistemlerdir. Mikroişlemci (CPU) tabanlı yapıda olan PLC, kumanda devrelerinin vazgeçilmezi olan yardımcı kontak, sayıcı, flip flop ve zaman rölesi gibi elemanları simüle ederek analog ve sayısal her türlü işlemi yazılımları sayesinde gerçekleştirir.

Scada, PLC'nin donanım tarafı sayesinde sahadan toplanan verilerin işlenip yönetilmesi, kullanıcıya raporlanması ve operatörün prosese müdahalesi için kullanılan yazılım tarafıdır. "Supervisory Control And Data Acquisition" cümlesinin baş harflerinden gelen ismi "Merkezi Kontrol ve Veri Toplama" olarak Türkçeleştirilebilir. Scada ile bir sistem, makine veya tesis kontrol edilip uzaktan kumanda edilebilecek şekilde PLC'ye komut gönderilebilir.

Resim 3.1'de Siemens S7-400 CPU, haberleşme ve sinyal modüllerini içeren PLC panoları, Resim 3.2'de ise Siemens WinCC'de oluşturulmuş Scada ekran görüntüsü görülmektedir.



Resim 3.1. Siemens S7-400 CPU ve sinyal modülleri içeren PLC panosu



Resim 3.2. Siemens WinCC Scada ekran görüntüsü

PLC ve Scada sistemleri endüstriyel üretim tesislerinde olumlu veya olumsuz durumlarda erken bilgi alınmasını, gerekirse erken müdahale edilmesini sağlarlar. Bu avantajlarından dolayı da ön plana çıkar. Olayların ve operatör bazlı müdahalelerin trendlerinin tutularak geriye dönük inceleme yapılabilmesi ile arıza durumunda fark yaratma etkisine sahiptir.

PLC'nin yazılım kısmı dışında donanımının da saha şartlarına uygun olması istenir ve bu doğrultuda tasarımı yapılır. Yapılan gereksinim analizine göre belirlenen giriş çıkış sayıları PLC'nin donanımsal yapısını da belirler. CPU tarafından işlenecek veriler sahadan geldiğinde sinyal modüllerine girmektedir.

3.4.1. PLC sinyal çeşitleri

PLC'de iki tip sinyal mevcuttur bunlar analog ve dijital verilerdir. Dijital veriler klasik Aristo mantığından yola çıkarak oluşmuş olan "0" ve "1" ifadelerinden oluşur. "0" yokluk, hayır anlamına gelirken "1" var veya evet anlamına gelmektedir. Bir verinin olup olmamasını ifade eder. Örneğin, bir konveyör üzerinde malzemenin olup olmadığı, konveyörün çalışıp çalışmadığı, bir anahtarın açık veya kapalı olduğunu ifade eder. Analog veriler ise belirli bir aralıkta verinin ne derecede var olduğunu ifade eder. Örneğin, bir boru içerisinde taşınan sıvının sıcaklığı, debisi, basıncı gibi büyüklüklerdir. Bu fiziksel

büyüklikler uygun bir çözünürlükte ve formatta elektriksel işarete dönüştürülür ve genellikle 0-10 V ve 4-20 mA aralığında sinyal ile taşınırlar. PLC'lerde bu iki tip veri girişi ve çıkışı kullanılmaktadır. Bu mantıkla bakıldığında “Digital Input” , “Digital Output” , “Analog Input” ve “Analog Output” olmak üzere 4 adet farklı sinyal modülü ile karşılaşılır.

3.4.2. Sinyal modülleri

Digital input

PLC'ye “0” ve “1” cinsinden girecek olan verinin bağlandığı kartlardır. Sinyal kartının çeşidine göre 0-24 V ile 0-220 V sinyal seviyelerinde çalışabilir. Enerjinin var olması sinyalin “1” olmasını, enerjinin olmaması ise sinyalin “0” olduğunu gösterir. Sahada sayısal bilgiyle ifade edilebilecek, proses durumunu gösteren verilerin PLC ortamına aktarılması için kullanılır. Bir motorun çalışıp çalışmadığını, acil stop butonunun kurulu olup olmadığını, aydınlatmayı besleyen kontaktörün bobininin nüveyi çekip çekmediğini scada yazılımı üzerinde gösterebilmek için sahadan gelen bu sinyallerin ilgili digital input'a girilmesi gerekir. Girilen her veri bir adrese atanır. I0.0 dan başlayıp kartın kaç bitlik bir kart olduğuna bağlı olarak I0.7 den sonra I1.0 a geçerek I1.7 ye kadar devam eder ve bu kartlar 8 bit ve katları olacak şekilde üretilmektedir.

Digital output

Sahaya sayısal veri olarak göndermek veya ekipmana komut vermek amacıyla kullanılacak verilerin PLC ortamında oluşturularak sahaya “0” ve “1” cinsinden gidecek olan verinin bağlandığı kartlardır. Çeşidine göre 0-24 V ile 0-220 V sinyal seviyelerinde çalışabilir. Yazılım tarafından karar verilerek karttan sahaya enerji gönderilmesi olarak tanımlanabilir. Enerjinin (bilginin) olması sinyalin “1” veya enerjinin (bilginin) olmaması sinyalin “0” olması şeklindedir. Bir motorun çalıştırılması amacıyla kontaktörün enerjilendirilmesi komutunun verilmesi, yıldız ve üçgen yol verme değişiminin yapılması için gerekli olan komutun MCC'ye gönderilmesi, aydınlatmayı besleyen kontaktörün bobininin enerjilendirilerek aydınlatmaların açılmasını sağlamak gibi amaçlarla sahaya gönderilen bu sinyaller digital output kartından alınmaktadır. Gönderilecek her veri PLC'de bir adrese atanır. Q0.0 dan başlayıp kartın kaç bitlik bir kart olduğuna bağlı olarak Q0.7 den sonra Q1.0 a geçerek Q1.7 ye kadar devam eder ve bu kartlar 8 bit ve katları olacak şekilde üretilmektedir.

Analog input

Analog sinyal belirli bir aralıkta değişen gerilim değeridir. Üretim sahasında çalışan ekipmanların çalışma durumlarını kontrol etmek için birçok gerekli bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Belirli bir değer aralığında olan sıcaklık, debi, akım, gerilim, basınç, açma-kapama oranı gibi bilgilerin iletilmesinde analog sinyaller kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu verilerin değerlendirilmesi için PLC'ye aktarılması gerekmektedir. Örneğin belirlenen aralıktaki bir sıcaklık verisi uygun bir dönüştürücü ile 0-10 V voltaja veya 4-20 mA akıma çevrilerek uygun bir kablo ile analog sinyal modülüne bağlanır ve ölçüm noktasındaki sıcaklık bilgileri analog input kartı girişinde elde edilir. Bu kartlara termodirenç, thermocouple, seviye, debi, basınç, sıcaklık, encoder bağlantıları yapılabilir.

Analog output

Analog inputta sahadan gelen analog veriler PLC'ye girdi olarak verilir ve proses hakkında veriler toplanırken analog output sinyal modüllerinde ise PLC tarafından üretilen ve sahada kontrol edilecek cihazlara komutlar göndermek için gerekli analog sinyaller üretilmektedir. Analog output ile kontrol edilecek cihaz arasında uygun bir kablo bağlantısı yapılır. Örneğin oransal yani kademeli açılıp kapanabilen vanaların pozisyonu, elektroprnömatik basınç regülatörleri, ekipman hız kontrolü için gerekli olan akım veya gerilim ayar değerini (setpoint) göndermekte kullanılır. Resim 3.3'te sırasıyla dijital giriş, çıkış; analog giriş ve çıkış sinyal modülleri görülmektedir.



Resim 3.3. Siemens PLC'de kullanılan sinyal modülleri

3.5. Uygulama Çalışması

Bulanık mantık temelli çıkarım sisteminin kurallarının, üyelik fonksiyonları parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan verileri ve sonrasında çıkarım sistemine girdi olarak sokulacak toplanmış gerçek saha verileri, İskenderun Demir ve Çelik Fabrikası, Sinter ve Hammadde Manipülasyon Müdürlüğü bünyesindeki 2. Sinter Fabrikası'nda kullanılan dairesel soğutucu fan motorundan alınmıştır. Demir cevherine toz kok kömürü ve bazıklığı ayarlayıcı ek malzemeler katılıp kok gazı ile pişirilerek kısmen ergitilmesi ve külçe haline getirilmesi işlemine sinterleme denir. Sinterleme sonucu elde edilen mamule ise sinter denilmektedir. 360 m² soğutma alanı ile 700 ton/saat sıcak sinter malzemeyi soğutma kapasitesine sahip olan dairesel soğutucuya, sıcaklığı 700-850 °C aralığında olan sinterleşmiş hammadde malzeme girerek sıcaklığı 120 °C olacak şekilde soğutucudan çıkmaktadır. Bu dairesel soğutucuda aynı teknik özelliklere sahip olan 5 adet 710 kW gücünde 6300 V'luk besleme gerilimi ve 84 A nominal akım değerine, 0,82 güç faktörüne sahip olan bir orta gerilim asenkron motor kullanılmaktadır. Sinter fırınından çıkarak kırıcıda daha küçük boyutlara getirilen komple sinterleşmiş olan ve yüksek fırınlarda kullanılacak olan sinterin soğutulması için hava üfleme görevini yapan salyangoz fanı tahrik etmektedir. Resim 3.4'te verilerin toplandığı C200 isimli fan motorunun işletme sahasındaki hali (a) ve bu ASM'nin motor etiketi (b) görülmektedir.



Resim 3.4. (a) Sinter fabrikası dairesel soğutucu C200 fan motoru (b) ASM etiketi

BM çıkarım sisteminde akım, vibrasyon, sargı sıcaklığı ve rulman sıcaklığı olmak üzere dört adet giriş değişkeni ve üyelik fonksiyonu kullanıldı. Her bir üyelik fonksiyonuna girdi olacak ve sonrasında değerlendirilecek olan veriler sahadan uygun sensörlerle ölçüldü.

Ölçülen akım değeri 4-20 mA'e dönüştürülerek PLC'deki analog input sinyali modülüne gönderilmiştir. Aynı şekilde motor üzerinde bulunan vibrasyon sensörünün ürettiği veri, 4-20 mA olarak PLC'deki analog input sinyali modülüne gönderilmiştir. Motor sargıları arasına ve rulman yatağı üzerine yerleştirilmiş olan iki adet yüksek hassasiyetli RTD tipi bir sıcaklık sensörü olan PT100 ile elde edilen veriler, dönüştürücü ile 4-20 mA'e dönüştürülerek PLC'deki analog input sinyali modülüne gönderilmiştir.

3.5.1. Akım verisinin toplanması ve PLC'ye girilmesi

Soğutma fanını tahrik eden asenkron motor, 6300 V gerilim seviyesinde çalışan bir dağıtım merkezindeki OG hücreden beslenmektedir. Enerji dağıtım birimince dağıtım merkezindeki hücreden akım ve gerilim değerlerinin uzaktan izlenebilmesi için dağıtım merkezindeki baralara yerleştirilmiş 800/5 oranlı akım trafosunun çıkışına bağlı olan çok işlevli bir dönüştürücü mevcuttur. Dönüştürücü üç fazdaki bütün parametrelerin izlenmesini sağlayabilmektedir. Ancak tahrik mekanizmasından kaynaklanan hata ve arızalar stator sargısında fazlar arası akım farklılığı oluşturmayacağından cihazdan sadece tek faz için ölçüm almak bu çalışma özelinde yeterli görülmüştür.

Resim 3.5'te PLC'ye iletmek için motorun şebekeden çektiği akımın verisinin alındığı akım dönüştürücü görülmektedir.



Resim 3.5. Dağıtım merkezindeki OG hücrede kullanılan akım dönüştürücüsü

Iskra marka MT440 çok işlevli dönüştürücü, bir veya üç faz olarak elektrik şebekesini takip etmek ve büyüklüklerin değerlerini ölçmekte kullanılır. Şebekeden çekilen akım ve anlık gerilim işaretlerinin yüksek örnekleme frekansı ile RMS değerlerini ölçer. Mikro denetleyici ile ölçümü yapılan işaretlerden ölçülen büyüklükleri hesaplar ve istenilen veri daha sonra PLC’de değerlendirilmek amacıyla 4-20 mA olarak dönüştürücünün AO çıkışından iletilir. Uygun kablo ile PLC’de bulunan analog input kartına akım verisi olarak girilir.

3.5.2. Vibrasyon verisinin toplanması ve PLC’ye girilmesi

Resim 3.6’da PLC’ye iletilmek üzere ASM’de oluşan vibrasyonu analog sinyallere dönüştürmekte kullanılan Hansford Sensors markasına ait bir vibrasyon sensörü görülmektedir. Bu sensör 10Hz ile 1kHz frekans bandında tespit yapabilen, 0-20 mm/sn ölçüm aralığına sahip olan, ayrıca 4-20 mA modunda analog sinyaller 2 pinli MS konnektörüne bağlı kablolar üzerinden sinyal modülüne iletilen bir sensördür. M8 erkek cıvata üzerinden ölçüm noktasına bağlanmaktadır.



Resim 3.6. Fan motoru gövdesindeki vibrasyon sensörü

Bu sensör ile fanlar, motorlar, pompalar, kompresörler, santrifüjler, konveyörler, klima santralleri, redüktörler, rulolar, takım tezgâhları gibi üretim sürecinde kullanılan ekipmanlarında meydana gelen titreşim hızı ölçümü yapılmaktadır. Bu titreşimi ölçmek için kullanılan sensör, piezoelektrik temelli çalışan bir vibrasyon sensörüdür.

Sensör, bağlı olduğu yapıdan tespit ettiği vibrasyon hız verisini sensörün ölçüm aralığına göre kalibre edilmiş analog çıkış sinyalini PLC’nin analog input sinyal modülüne iletir.

Mekanizmada oluşan 0 mm/sn vibrasyonda sensör 4 mA çıkış verirken 20 mm/sn vibrasyonda ise 20 mA çıkış vermektedir. Burada vibrasyon hızına göre üretilen analog sinyal PLC’de bulunan analog input girişine gönderilir ve daha sonra ilgili adresten okunarak yazılımla değerlendirilmesi yapılmaktadır.

3.5.3. Sıcaklık verilerinin toplanması ve PLC’ye girilmesi

Elektromanyetik döner alan ile oluşturulan dönme hareketini, ekipman tahriki için tahrik mekanizmasına aktaran ASM’nin rotor mili, motor gövdesinin her iki tarafında bulunan birer rulman ile yataklanmıştır. Çalışma süresi, yetersiz yağlama, kontrolsüz binen yük, darbe alma, aşırı devir sayısı ve yüklenme, mil ve yatağının mekaniksel dayanımının az olması vb. gibi nedenlerden dolayı sürtünme artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı belirti, vibrasyonundan daha önce sıcaklık yükselmesi de olarak ortaya çıkabilmektedir. Rulmanın çalışan yüzeyinde eşit yaşanan sürtünme veya yağlama eksikliği kendisini hemen vibrasyon genliği olarak göstermese bile sürtünme sonucu rulman yatağında ısınma olarak ortaya çıkacaktır. Dönme halindeyken birden ortaya çıkan yüksek ısınma durumunda rulman rengi değişir. Isı ile ortaya çıkan tahribat çoğaldıkça rulman bilezikleri, bilyalar ve kafes yumuşayarak erir ve deformasyona sebep olur. Durumun tespiti ve erken önlem alınması kestirimci bakım için önemli bir avantaj olduğundan vibrasyon ile birlikte rulman sıcaklığının da ele alınması elzemdir. Resim 3.7’de PT100 sıcaklık sensörü görülmektedir.



Resim 3.7. PT100 sıcaklık sensörü

PT100’ler 0°C sıcaklıkta 100Ω dirence sahiptirler. Çizelge 3.1’de aslında daha geniş ölçüm aralığına sahip olan PT100 sıcaklık sensörlerinin -100°C ile 350°C sıcaklıklar arasındaki sıcaklığa bağlı olarak ohm (Ω) cinsinden direnç değerlerinin değişimini gösteren çizelge

görülmektedir [53]. Resim 3.8’de ise PLC’nin analog input girişine fan motorunun rulman yatak sıcaklığını iletmek için motorun rulman yatağındaki PT100 termodirenc, sensörünün metal koruması, terminal bağlantı kutusu ile sahadaki uygulaması görülmektedir.

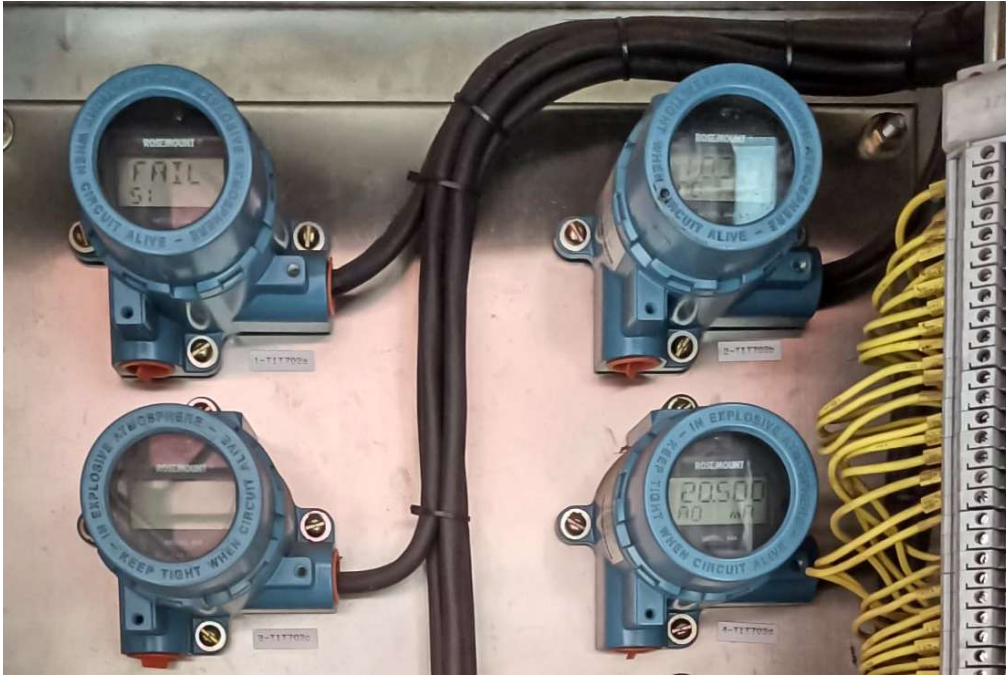
Çizelge 3.2. PT100 RTD sensöre ait sıcaklığa bağlı direnç değişimleri

0,	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,87	61,47	61,06	60,66	-90
-80	68,33	67,92	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70	-80
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73	-70
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73	-60
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,13	76,73	-50
-40	84,27	83,88	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70	-40
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67	-30
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,41	89,01	88,62	-20
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55	-10
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48	0
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51	0
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40	10
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28	20
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15	30
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01	40
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86	50
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69	60
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51	70
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32	80
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12	90
100	138,50	138,88	139,26	139,64	140,02	140,39	140,77	141,15	141,53	141,91	100
110	142,29	142,66	143,04	143,42	143,80	144,17	144,55	144,93	145,31	145,68	110
120	146,06	146,44	146,81	147,19	147,57	147,94	148,32	148,70	149,07	149,45	120
130	149,82	150,20	150,57	150,95	151,33	151,70	152,08	152,45	152,83	153,20	130
140	153,58	153,95	154,32	154,70	155,07	155,45	155,82	156,19	156,57	156,94	140
150	157,31	157,69	158,06	158,43	158,81	159,18	159,55	159,93	160,30	160,67	150
160	161,04	161,42	161,79	162,16	162,53	162,90	163,27	163,65	164,02	164,39	160
170	164,76	165,13	165,50	165,87	166,24	166,61	166,98	167,35	167,72	168,09	170
180	168,46	168,83	169,20	169,57	169,94	170,31	170,68	171,05	171,42	171,79	180
190	172,16	172,53	172,90	173,26	173,63	174,00	174,37	174,74	175,10	175,47	190
200	175,84	176,21	176,57	176,94	177,31	177,68	178,04	178,41	178,78	179,14	200
210	179,51	179,88	180,24	180,61	180,97	181,34	181,71	182,07	182,44	182,80	210
220	183,17	183,53	183,90	184,26	184,63	184,99	185,36	185,72	186,09	186,45	220
230	186,82	187,18	187,54	187,91	188,27	188,63	189,00	189,36	189,72	190,09	230
240	190,45	190,81	191,18	191,54	191,90	192,26	192,63	192,99	193,35	193,71	240
250	194,07	194,44	194,80	195,16	195,52	195,88	196,24	196,60	196,96	197,33	250
260	197,69	198,05	198,41	198,77	199,13	199,49	199,85	200,21	200,57	200,93	260
270	201,29	201,65	202,01	202,36	202,72	203,08	203,44	203,80	204,16	204,52	270
280	204,88	205,23	205,59	205,95	206,31	206,67	207,02	207,38	207,74	208,10	280
290	208,45	208,81	209,17	209,52	209,88	210,24	210,59	210,95	211,31	211,66	290
300	212,02	212,37	212,73	213,09	213,44	213,80	214,15	214,51	214,86	215,22	300
310	215,57	215,93	216,28	216,64	216,99	217,35	217,70	218,05	218,41	218,76	310
320	219,12	219,47	219,82	220,18	220,53	220,88	221,24	221,59	221,94	222,29	320
330	222,65	223,00	223,35	223,70	224,06	224,41	224,76	225,11	225,46	225,81	330
340	226,17	226,52	226,87	227,22	227,57	227,92	228,27	228,62	228,97	229,32	340



Resim 3.8. Fan motoru rulman yatak sıcaklığı sensörünün metal koruması ve terminal bağlantı kutusu ile sahadaki uygulaması

Resim 3.9'da motorun sargılarında ve rulman yatağında bulunan PT100 termodirençlerin sensör yüzeyinin sıcaklığına göre aldığı direnç değerini, belirlenen aralığa göre 4-20 mA analog veriye çeviren Rosemount 644 marka ve model sıcaklık dönüştürücüleri görülmektedir.



Resim 3.9. PT100 den gelen direnç değerini 4-20 mA analog veriye çeviren dönüştürücü

Asenkron motorun nominal çalışma şartlarında dahi stator sargılarından akan akımlar, iletken özdirenci, sargı ve nüvelerde oluşan kaçak akımlar motor gövdesinde ısı olarak ortaya çıkmaktadır. Motor stator akımı ile stator sargı sıcaklığı arasında pozitif korelasyon vardır yani stator akımları arttıkça motor sargı sıcaklığı da yükselmektedir. Bu sıcaklığın yükselmesi (belirli bir eşik değerleri aştığında) sargı iletkenlerinde vernik gibi izolasyonu sağlayan yalıtım malzemelerinin yapısının bozularak delinme gerilimlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle motor sargılarının aşırı yükselmesi olası bir arıza kaynağıdır.

Asenkron motorun stator sargıları arasına yüksek hassasiyetli RTD tipi bir sıcaklık sensörü olan PT100 konulmuştur. Bu sayede sargı sıcaklığı ile iç direnci değişen PT100 üzerinden geçen akım, bir dönüştürücü ile 4-20 mA'e dönüştürülerek PLC'deki analog input sinyal modülüne iletilir. Daha sonra durum izleme, trend alma, alarm tanımlama veya uygulaması yapılan bulanık mantık temelli çıkarım ile kestirimci bakım uygulamak amacıyla kullanılmaktadır.

Resim 3.10'da PLC'ye iletmek için motorun sargıları arasına konulan silikon yalıtkanla izole edilmiş kablolu ve ince yapıdaki PT100 termodirenç sıcaklık sensörü ve Resim 3.11'de motor sargıları arasına yerleştirilmiş hali görülmektedir.



Resim 3.10. Motor sargıları arasına konulan silikon yalıtkanlı PT100



Resim 3.11. Motor sargıları arasına PT100 yerleştirilmesi

3.5.4. Değerlendirme verilerinin hazırlanması ve kaydedilmesi

Sahadaki fan motoru üretim sürecinde çalışmaya devam ederken motorun stator akımı, motor yatak vibrasyonu ile stator sargı ve rulman yatağı sıcaklık bilgilerini veri tabanına kaydetmek amacıyla hali hazırda üretimde çalışan fabrika otomasyonu kullanıldı. Sistem Siemens marka S7-400 PLC'ler ile iki adet birbirini takip eden ikiz CPU ve Haberleşme sistemi sayesinde PLC'lerden birinde sorun ortaya çıktığında işlemleri ve proses yükünü anında diğerinin devraldığı "redundancy" teknolojisini kullanarak çalışmaktadır. PLC'nin kontrol edildiği, mühendislik istasyonu (ES) olarak kullanılan bilgisayarda Siemens PCS7 yazılımı kuruludur. Bu yazılımın içerisindeki WinCC uygulamasının verilerin zamana bağlı artış ve azalışlarını kaydetme (trend takibi) özelliği ile analog adreslerden gelen verilerin belirlenen frekans ile veri tabanı dosyasına kaydedildi. Trendlerin tutulduğu bu veri tabanından istenilen değişkenlerin belirlenen zaman aralıklarındaki değerleri *.CVS formatında test verisi olarak kaydedilerek üyelik fonksiyonun değerlerinin bulunmasında referans olarak kullanılmak amacıyla Matlab uygulamasının kullanılacağı bilgisayara aktarıldı. Resim 3.12'de Sinter Fabrikası'nın çalıştırıldığı otomasyon sisteminin birimleri olan Siemens S7-400 PLC panosu ve mühendislik istasyonu (ES) olarak adlandırılan bilgisayarlarla birlikte görülmektedir. Bilgisayarın teknik verileri Çizelge 3.3'te verilmiştir.



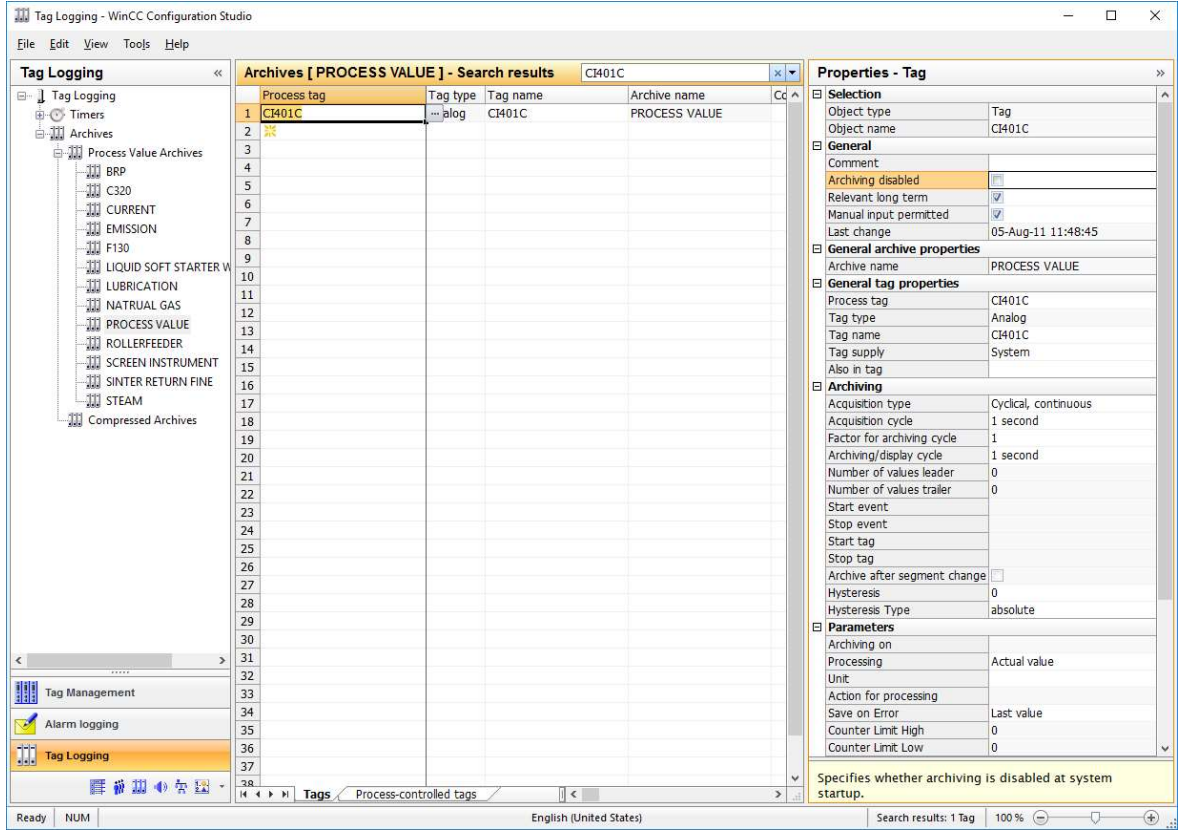
Resim 3.12. Sinter Fabrikası S7-400 PLC panosu ve ES bilgisayarları görüntüsü

Çizelge 3.3 Mühendislik istasyonu (ES) bilgisayarının teknik verileri

Bileşen	Modeli
Ana Kart	Intel Xeon W-2123 3.60 GHz
İşlemci	16GB DDR4
Sabit Disk	Seagate Barracuda 1TB
Ekran Kartı	NVidia Quadro P400
İşletim Sistemi	Windows 10 Enterprise

Sahadan gelen ve bulanık mantık çıkarım sisteminin değerlendirmesine tutulacak olan akım, vibrasyon ve sıcaklık verileri, sensörlerden okunup dönüştürücüler ile 4-20 mA seviyesine dönüştürülerek PLC'nin analog input girişlerine iletilmektedir. Veriler aktarıldıktan sonra yazılım içerisinde bir veri bloğunda tutulmaktadır. Data Block adındaki veri tabanı dosyasında ölçüm zamanı ile ilişkilendirilmiş bu veriler, Siemens'in Scada uygulaması olan WinCC'nin trend takip özellikleri sayesinde verilerin takip edilmesi ve operatör tarafından kolay bir şekilde yorumlanması için görselleştirilerek sunulmaktadır.

WinCC de trend olarak takip edilebilmesi için sıcaklık, akım ve vibrasyon verilerinin sayısal değerleri PLC yazılımında bazı TAG'lara tanımlanmıştır. Resim 3.13'te ilgili analog verilerinin "Process Value" değerlerine ait TAG'ları ve trendlerde tanımlanmasını gösteren ekran görüntüsü görülmektedir.

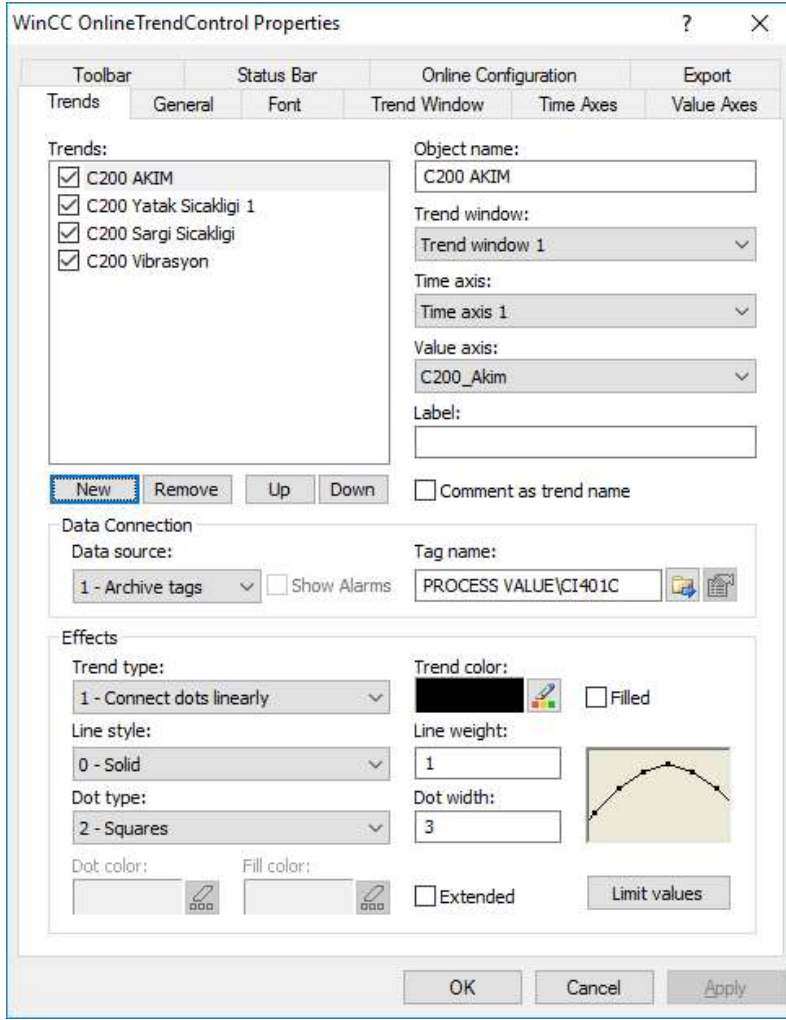


Resim 3.13. WinCC'de trend alınması için TAG'ların tanımlanmasının ekran görüntüsü

Sahadan toplanıp PLC'de belirlenen TAG'lar ile ilişkilendirilen veriler, scada yazılımında grafiksel olarak takip edilebilmektedir. Ayrıca istenilen zamanda istenilen kısmı "data export" özelliği ile dışarıya aktarılabilir.

WinCC'de istenilen trendlerinin belirlenmesi, trend grafiğindeki yatay-dikey eksenlerin tanımlanması, veri dışı aktarım özellikleri ve örnekleme süresi gibi ayarların yapılmasını sağlayan yazılım ekranını ve gerçekleşen ayarları Şekil 3.14'te görülmektedir.

Trend ayarları yapılırken değerlendirilecek bütün verilerin eş zamanlı olması için, sahadan alınan dört verinin de örnekleme frekansı 1 Hz olarak belirlendi. Her saniyedeki veri okunarak ilgili TAG'ın değeri değerlendirilecektir.



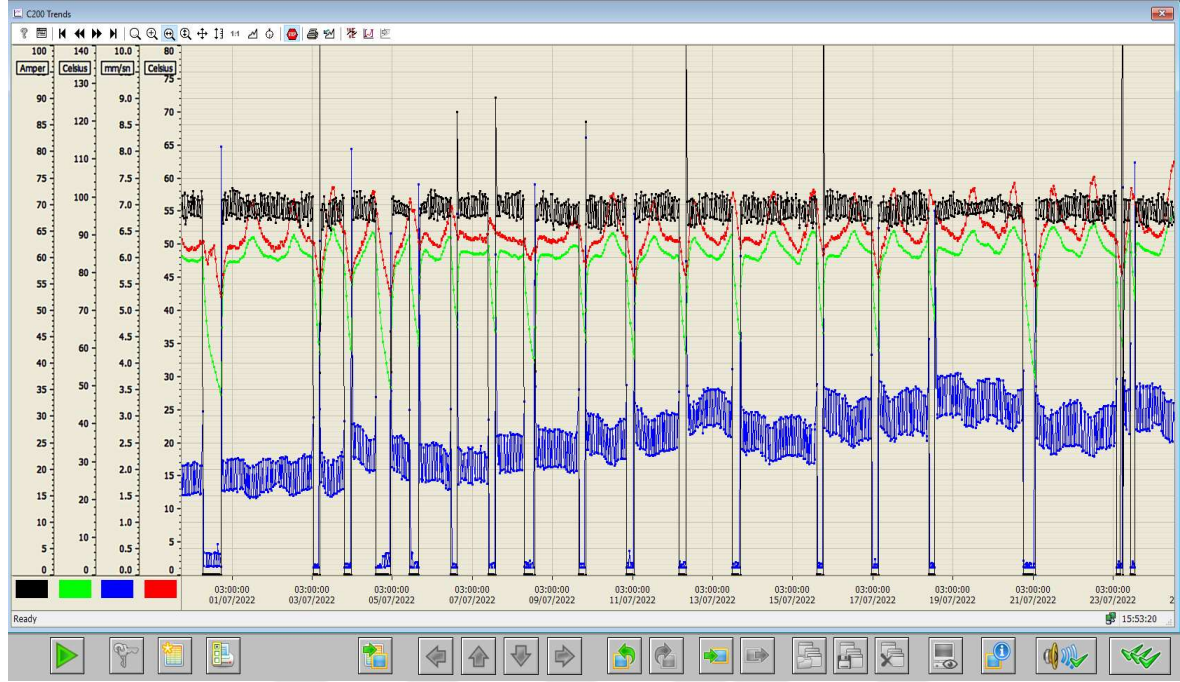
Resim 3.14. WinCC trend kontrol seçenekleri ekran görüntüsü

Sahada çalışmakta olan asenkron motorun fiziksel ve elektriksel durumunu takip ve kontrol için belirlenmiş büyüklükleri ölçen sensörlerin ürettiği akım, vibrasyon ve sıcaklık bilgilerini gösteren analog sinyaller sayısal verilere dönüştürüldükten sonra bir TAG ile ilişkilendirilmiştir. Bu bilgiler bir veri tabanında saklanmaktadır. Yapılan ayarlarla bir ekranda eş zamanlı olarak operatöre gösterilmektedir.

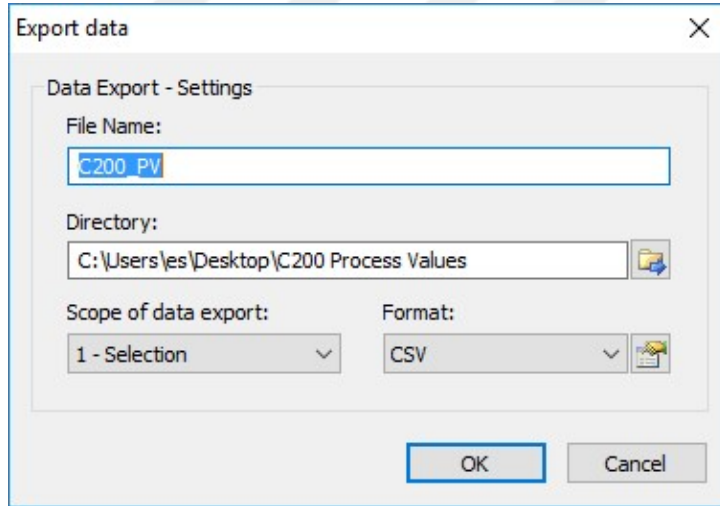
Operatör, bu trend ekranından asenkron motorun vibrasyon, sargı ve rulman sıcaklıkları ile motor stator akımını bir grafik üzerinde her bir veri farklı renkle gösterilerek takip edebilmektedir. Bu grafiğin üzerinden geriye dönük proses verilerini inceleyebilmektedir. Trend grafiğini oluşturan zaman etiketiyle ilişkilendirilmiş verilerden belirlenen aralıktakiler Microsoft Excel yazılımı ile okunacak şekilde dışarıya aktarılmıştır.

Şekil 3.15'te sahadan gelen dört veri için oluşturulmuş trend grafiğini gösterir uygulama penceresini, Şekil 3.16'da trend ekranındaki verilerin dışarı aktarılması için kullanılan

uygulama penceresini ve Şekil 3.17’de ise dışarı aktarılmış verilerin Excel ile açılmış halinin ekran görüntüsü görülmektedir.



Resim 3.15. Akım, vibrasyon ve sıcaklıkların trend grafiği



Resim 3.16. Trend verilerinin dışı aktarılması

A346924						3.07.2022 15:22:01					
	A	B	C	D	E	F					
1	C200 AKIM Time	C200 AKIM ValueY	C200 Yatak Sicakligi 1 ValueY	C200 Sargi Sicakligi ValueY	C200 Vibrasyon ValueY						
346929	03.07.22 15:22:06	67,88194275	58,59375	91,53646088	1,857638836						
346930	03.07.22 15:22:07	67,96875	58,59375	91,53646088	1,828703761						
346931	03.07.22 15:22:08	67,578125	58,59375	91,53646088	1,799768567						
346932	03.07.22 15:22:09	67,88194275	58,59375	91,53646088	1,70717597						
346933	03.07.22 15:22:10	67,92534637	58,59375	91,53646088	1,880787015						
346934	03.07.22 15:22:11	67,88194275	58,59375	91,53646088	2,00810194						
346935	03.07.22 15:22:12	67,96875	58,59375	91,53646088	1,961805582						
346936	03.07.22 15:22:13	67,578125	58,59375	91,53646088	1,892361164						
346937	03.07.22 15:22:14	67,49131775	58,59375	91,53646088	1,834490776						
346938	03.07.22 15:22:15	67,7517395	58,59375	91,53646088	1,788194418						
346939	03.07.22 15:22:16	68,40277863	58,59375	91,53646088	1,805555582						
346940	03.07.22 15:22:17	68,1857605	58,59375	91,53646088	1,799768567						
346941	03.07.22 15:22:18	67,96875	58,59375	91,53646088	1,880787015						
346942	03.07.22 15:22:19	67,578125	58,59375	91,53646088	1,915509224						
346943	03.07.22 15:22:20	68,22916412	58,59375	91,53646088	1,799768567						
346944	03.07.22 15:22:21	68,09896088	58,59375	91,53646088	1,851851821						
346945	03.07.22 15:22:22	67,578125	58,59375	91,53646088	1,793981433						
346946	03.07.22 15:22:23	67,96875	58,59375	91,53646088	1,712962985						
346947	03.07.22 15:22:24	67,88194275	58,59375	91,53646088	1,678240776						
346948	03.07.22 15:22:25	67,96875	58,59375	91,53646088	1,672453761						
346949	03.07.22 15:22:26	68,1423645	58,59375	91,53646088	1,765046239						
346950	03.07.22 15:22:27	67,7951355	58,59375	91,53646088	1,817129612						
346951	03.07.22 15:22:28	67,7951355	58,59375	91,53646088	1,805555582						
346952	03.07.22 15:22:29	67,7951355	58,59375	91,53646088	1,851851821						
346953	03.07.22 15:22:30	67,88194275	58,59375	91,53646088	1,799768567						
346954	03.07.22 15:22:31	68,22916412	58,59375	91,53646088	1,759259224						
346955	03.07.22 15:22:32	67,7951355	58,59375	91,53646088	1,684027791						
346956	03.07.22 15:22:33	68,22916412	58,59375	91,53646088	1,875						
346957	03.07.22 15:22:34	67,70833588	58,59375	91,53646088	1,961805582						
346958	03.07.22 15:22:35	68,09896088	58,59375	91,53646088	2,002314806						
346959	03.07.22 15:22:36	67,70833588	58,59375	91,53646088	1,921296239						
346960	03.07.22 15:22:37	67,96875	58,59375	91,53646088	1,799768567						
346961	03.07.22 15:22:38	67,96875	58,59375	91,53646088	1,736111164						
346962	03.07.22 15:22:39	67,7517395	58,59375	91,53646088	1,736111164						
346963	03.07.22 15:22:40	67,53472137	58,59375	91,53646088	1,759259224						
346964	03.07.22 15:22:41	67,53472137	58,59375	91,53646088	1,822916627						
346965	03.07.22 15:22:42	67,88194275	58,59375	91,53646088	1,822916627						
346966	03.07.22 15:22:43	68,01215363	58,59375	91,53646088	1,88657403						
346967	03.07.22 15:22:44	68,1857605	58,59375	91,53646088	1,770833373						
346968	03.07.22 15:22:45	67,70833588	58,59375	91,53646088	1,741898179						
346969	03.07.22 15:22:46	67,66493225	58,59375	91,53646088	1,701388836						
346970	03.07.22 15:22:47	67,7517395	58,59375	91,53646088	1,741898179						
346971	03.07.22 15:22:48	68,01215363	58,59375	91,53646088	1,776620388						
346972	03.07.22 15:22:49	68,1423645	58,59375	91,53646088	1,799768567						
346973	03.07.22 15:22:50	67,88194275	58,59375	91,53646088	1,903935194						
346974	03.07.22 15:22:51	68,01215363	58,59375	91,53646088	2,00810194						
346975	03.07.22 15:22:52	67,7951355	58,59375	91,53646088	1,950231433						
346976	03.07.22 15:22:53	67,96875	58,59375	91,53646088	1,932870388						
346977	03.07.22 15:22:54	68,01215363	58,59375	91,53646088	1,834490776						
346978	03.07.22 15:22:55	68,22916412	58,59375	91,53646088	1,892361164						
346979	03.07.22 15:22:56	67,7517395	58,59375	91,53646088	1,973379612						
346980	03.07.22 15:22:57	67,3611145	58,59375	91,53646088	2,060185194						

Resim 3.17. Trend grafiğini oluşturan verilerin Excel'e aktarılmış hali

Bulanık mantık temelli çıkarım sisteminin yapacağı değerlendirme ile kestirimci bakım uygulanacak olan asenkron motorun çalışma durumundaki akım, rulman sıcaklığı, stator sargı sıcaklığı ve vibrasyon verileri açıklanan ekipman ve yöntemlerle toplanarak bir Excel dosyasına kaydedildi.

3.5.5. Bulanık mantık çıkarım sisteminin tasarlanması

Bulanık mantık temelli çıkarım sistemi sahadan elde edilen proses verilerini değerlendirerek asenkron motorun bakıma ihtiyaç duyup duyulmayacağını belirleyecek veya bir başka ifade ile motor sağlığı göstergesi olarak çalışacaktır. Bu bağlamda çıkarım sisteminin örneklenmesi Matlab yazılımındaki “Fuzzy Logic Toolbox’ kullanılarak yapılacaktır. Elde edilen veriler girdi olarak kullanılacaktır. Üyelik fonksiyonları ve belirlenen bu üyelik fonksiyonlarının sınırları tespit edilecektir.

Akım parametresinin üyelik fonksiyonunun sınırlarını tespit etmek için Resim 3.4’te görülen asenkron motorun etiketinde yer alan nominal akım değeri ve şebekeden çekilen akım baz alınarak belirlenmiştir. Asenkron motorun stator sargı akımı, dengeli çalışma halindeyken sahadan ölçüm yapılarak elde edilmiştir. Motorun tahrik ettiği fanın önünde bulunan, açılıp kapatılması ile geçen hava miktarını belirleyen klappenin açık olması durumu ile kapalı olması durumunda çekilen akım farklıdır. Her iki durumda şebekeden çekilen akımlar ve motorun etiket değerleri dikkate alınarak akım için olan üyelik fonksiyonu parametreleri belirlenmiştir.

Vibrasyon parametresinin üyelik fonksiyonu değerleri ise Çizelge 3.4’te detayları görülen ISO10816-3 titreşim şiddeti değerlendirme normunda belirlenmiş standartlar ile fanın önünde bulunan klappenin açık ve kapalı konumunda yapılan ölçümlerle elde edilen değerler baz alınarak belirlenmiştir. Bu norm endüstrideki çalışan fan, kompresör, blower, pompa gibi yüksek güçlü makine türlerini kapsar. Titreşim hızı cinsinden ölçüm yapıldığında elde edilen değerler bu tablodaki standartlara göre değerlendirilmektedir [54].

Çizelge 3.4. Titreşim şiddeti değerlendirme tablosu

ISO 10816-3		Grup 1		Grup 2	
		Büyük Boy Makineler 300kW < güç < 50MW		Orta Boy Makineler 15kW < güç < 300 kW	
In/sn (pik)	mm/sn (rms)	Motor yükseklik > 315mm		Motor 160mm < yükseklik < 315mm	
0,61	11,0				
0,39	7,1				
0,25	4,5				
0,19	3,5				
0,16	2,8				
0,13	2,3				
0,08	1,4				
0,04	0,7				
0,00	0,0				
Yapı Temeli		Sabit	Esnek	Sabit	Esnek
Durum		Hasar Riski	Kısıtlı Kullanım	Sınırsız Kullanım	Yeni Makine

Motor stator sargı sıcaklıklarının değerlendirileceği bulanık mantık üyelik fonksiyonun değerleri ise (EIS) elektrik yalıtım sistemleri ve (EIM) elektrik yalıtım malzemelerinin ısı sınıfları açısından farkının ortaya konulduğu ve yalıtım malzemeleri ile yalıtım sistemlerinin ısı dayanımını açıklayan TS EN 60085 standartlarına göre belirlenmiştir. Sıcaklığın elektrik motorları için baskın bir yaşlanma faktörü olmasından dolayı uluslararası kabul gören termal sınıflar belirlenmiştir. İlgili belirlenmiş sınıf santigrat derece cinsinden önerilen maksimum sürekli kullanım sıcaklığıdır. Çizelge 3.5'te IEC tarafından belirlenmiş olan termal sınıflar görülmektedir [55].

Uygulamanın yapıldığı asenkron motorun yalıtım sınıfı, motor üreticisi tarafından yapılan testlerin sonucu tespit edilip asenkron motorun tanıtım etiketinde F sınıfı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. IEC 60085'e göre termal sınıflar için tanımlamalar

ATE - RTE °C		Termal Sınıf °C	Harf Gösterimi ^A
≥90	<105	90	Y
≥105	<120	105	A
≥120	130	120	E
≥130	155	130	B
≥155	180	155	F
≥180	200	180	H
≥200	220	200	N
≥220	250	220	R
≥250 ^B	275	250	-

A- İstenirse, harf tanımı parantez içinde eklenebilir, örn. Sınıf 180 (H). Etiket alanın küçük olduğu durumlarda, ürün termal sınıfı için yalnızca harf gösterimi kullanımı seçilebilir.

B- 250'nin üzerindeki termal sınıfların tanımları 25'lik artışlarla artırılacak ve buna göre belirlenecektir.

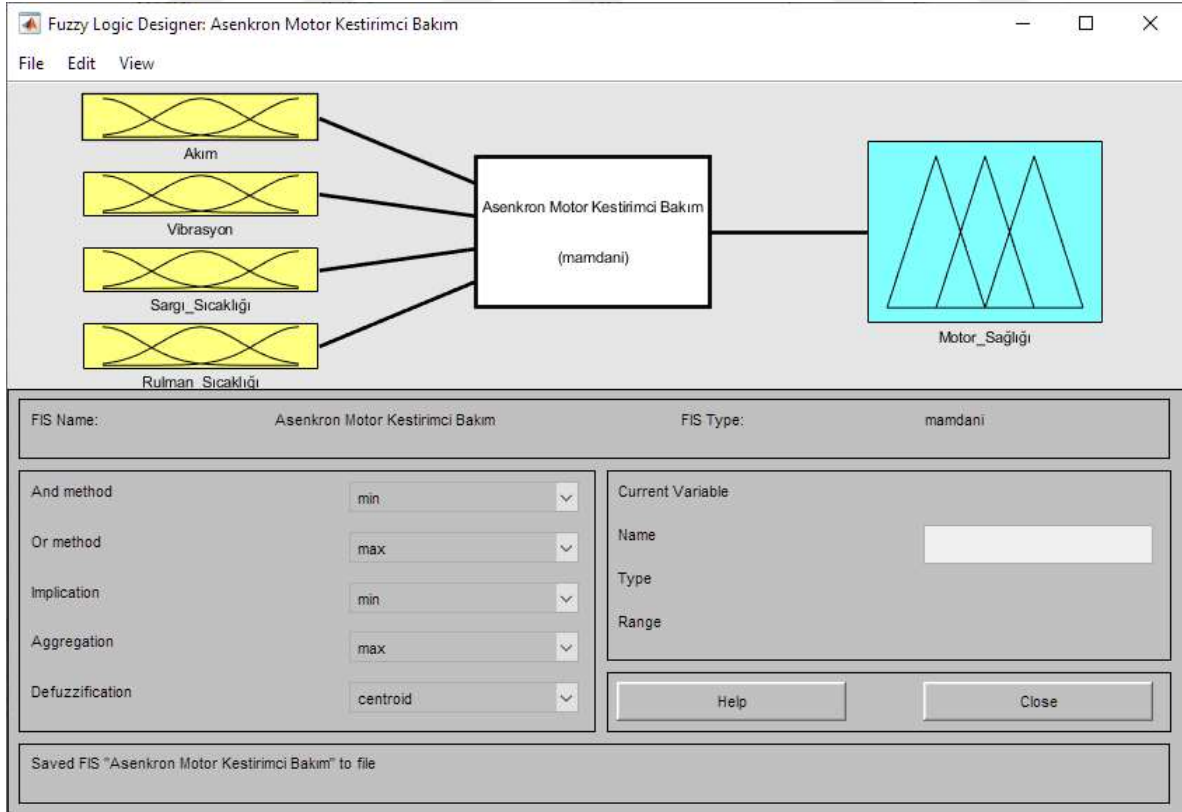
Vibrasyona sebebiyet vermeyen ama ısı olarak ortaya çıkarak rulman yatak sıcaklığının artmasına sebep olan durumlar mevcuttur. Rulman dış bileziğinin veya yatak dış yüzeyinin ölçümü ile elde edilebilen bu sıcaklık çoğunlukla rulmanın çalışmaya başlamasından bir süre sonra sabit durum seviyesine varana kadar yükselir. Sabit durum sıcaklığı; dönüş hızı, yük, yağlanma durumu ve hatalı montaj gibi sebeplerden dolayı yüksek olabilir. Rulman bileziklerinin ulaşabileceği sıcaklık değerleri rulman etiket verisinin sonuna eklenen S1, S2 gibi ekler ile verilmektedir. Rulman yatağı sıcaklık verisinin değerlendirileceği bulanık mantık çıkarım sistemindeki üyelik fonksiyonu parametrelerinin belirlenmesinde yeni rulman değişimi yapılmış olan proste çalışan asenkron motorun rulmanının normal yağlama durumundaki sabit durum sıcaklığı ve sistemde hali hazırda çalışan dengeli sistemden alınan veriler baz alınmıştır.

BM temelli çıkarım sistemi ile bir ASM'ye uygulanacak kestirimci bakım ihtiyacı ve motor sağlığı göstergesi için yapılan çalışma Matlab uygulamasının Fuzzy Logic Toolbox'ı

kullanılarak yapılmıştır. Materyal ve yöntem bölümünün kontrol verilerinin toplanması kısmında BM üyelik fonksiyonlarının değişken değerlerinin belirlenme yöntemleri anlatılmıştı. Bu bağlamda belirlenen değerler kullanılarak dört adet giriş ve bir adet çıkışa sahip olan çıkarım sistemi tasarlanmıştır.

BM temelli çıkarım sisteminde giriş değişkeni olarak kullanılacak verilerden stator akımı 1Hz olarak örneklenmiştir. Üç fazlı ASM'nin her bir fazından ölçüm yapılmış ve akımlardan birisi giriş değişkeni olarak kullanılmıştır. Giriş değişkeni olarak kullanılan vibrasyon ise, vibrasyon hızı ölçümü yöntemi kullanılarak 1Hz örnekleme frekansı ile ölçülmüş ve mm/sn cinsinden kaydedilmiştir. Stator sargıları arasında ve motor rulman yatağında bulunan PT100 sıcaklık sensöründen alınan değer bir dönüştürücü ile 4-20 mA'e çevrilip ilgili aralığa göre ölçeklendirilmiş ve santigrat derece (°C) cinsinden veri tabanına kaydedilmiştir.

Resim 3.18'de görülen çıkarım sistemine ait giriş değişkenleri sırasıyla Akım, Vibrasyon, Sargı_Sıcaklığı ve Rulman_Sıcaklığı'dır. Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmış ve çıktı olarak motor sağlığı ile bunun tersi olan kestirimci bakım ihtiyacını gösteren 0-100 arası değer belirlenmiştir.



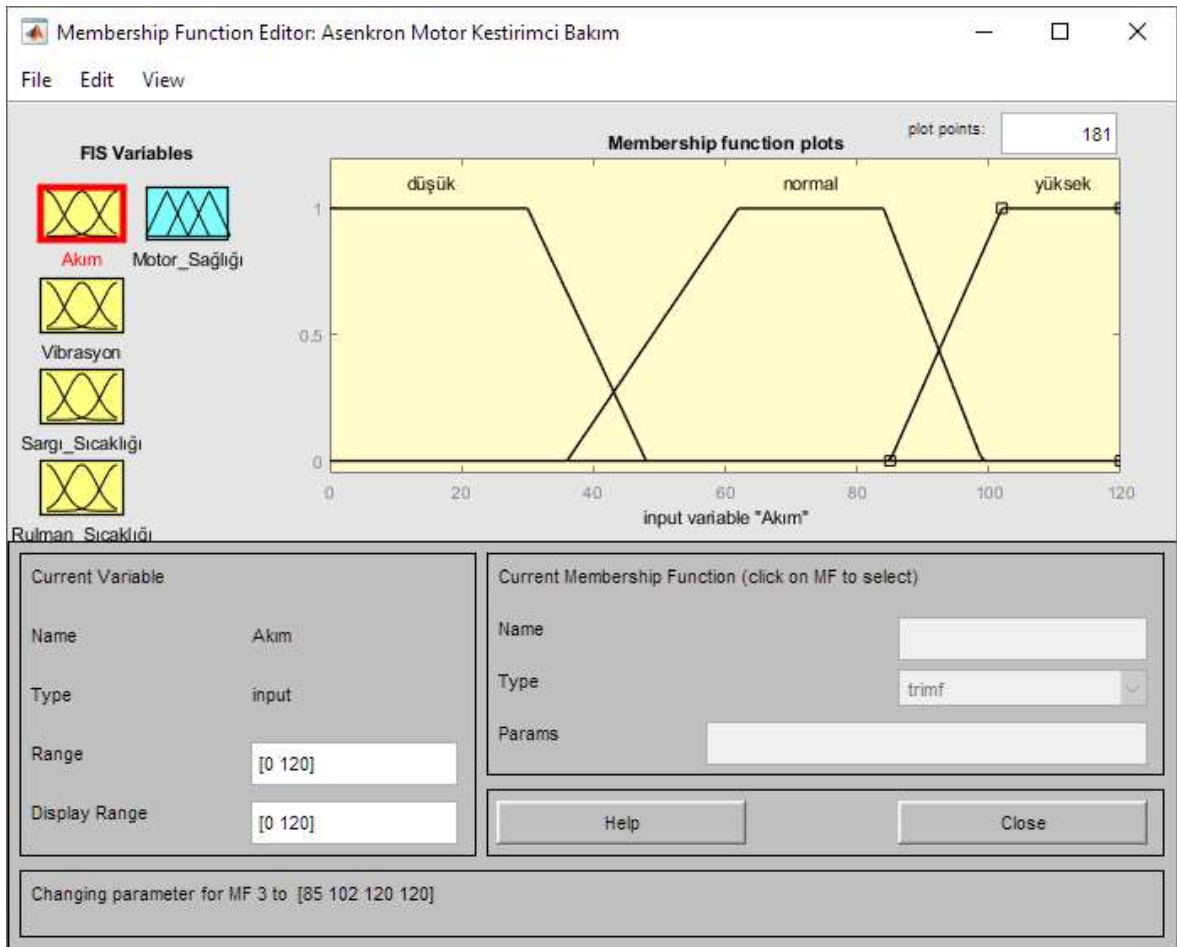
Resim 3.18. Bulanık mantık çıkarım sisteminin (fis) tasarımı

Akım değişkeni için Resim 3.19’da görüldüğü gibi düşük, normal ve yüksek olmak üzere üç ayrı üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Bütün üyelik fonksiyonları için trapez şeklinde üyelik fonksiyonu belirlenmiştir ve üyelik fonksiyonlarının parametre değerleri motor etiket bilgileri ile sağlıklı çalışan sistemden alınan proses verileri baz alınarak aşağıdaki gibi girilmiştir.

$$\text{Düşük} = [0 \ 0 \ 30 \ 48]$$

$$\text{Normal} = [36 \ 62 \ 84 \ 99]$$

$$\text{Yüksek} = [85 \ 102 \ 120 \ 120]$$



Resim 3.19. Akım değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu

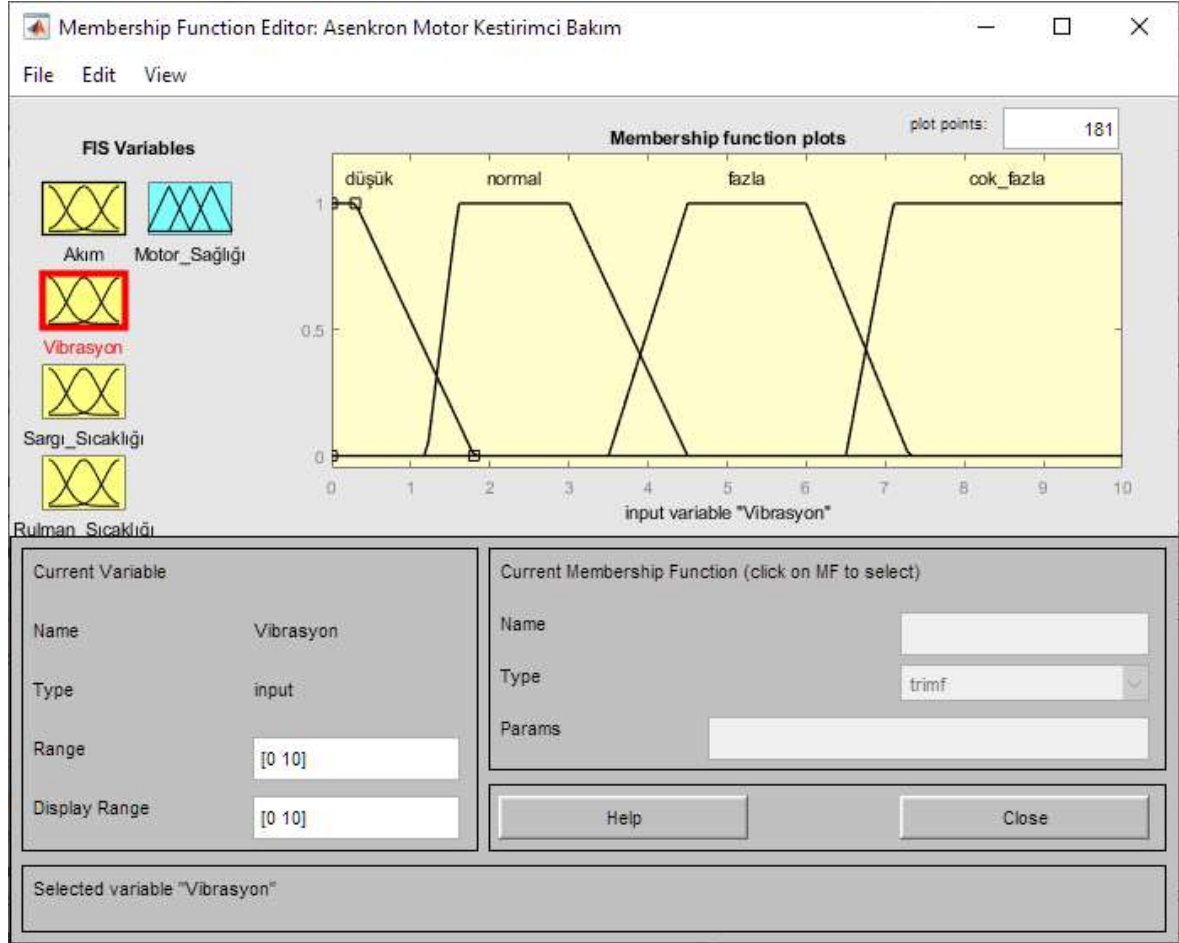
Vibrasyon verisinin bulanık mantık çıkarım sistemine değişken olarak girilmesi için Resim 3.20’de görüldüğü üzere düşük, normal, fazla ve çok fazla olmak üzere dört ayrı üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Hepsi için trapez şeklinde üyelik fonksiyonu seçilmiştir ve üyelik fonksiyonlarının parametre değerleri aşağıdaki gibi girilmiştir.

$$\text{Düşük} = [0 \ 0 \ 0.3 \ 1.8]$$

Normal = [1.2 1.6 3 4.5]

Fazla = [3.5 4.5 6 7.3]

Çok fazla = [6.5 7.1 10 10]

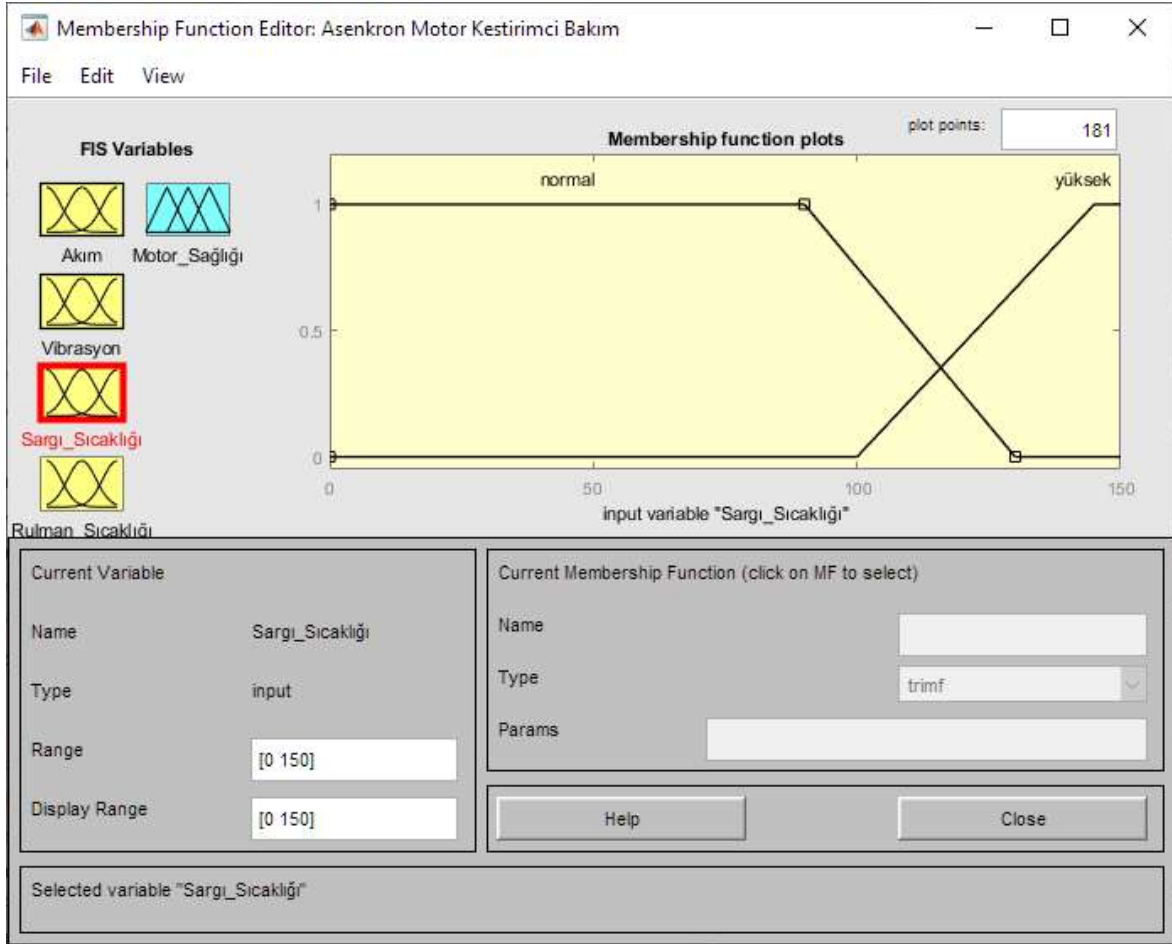


Resim 3.20. Vibrasyon değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Motor stator sargılarının sıcaklık verisinin bulanık mantık temelli çıkarım sistemine değişken olarak girilmesi için Resim 3.21’de görüldüğü üzere normal ve yüksek olmak üzere iki ayrı trapez şeklindeki üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Asenkron motorun bilgi etiketinde yazan izolasyon sınıfına ait sürekli çalışabileceği en yüksek sıcaklık değeri ve asenkron motorun sahada dengeli çalışma halindeyken yaz günü ortam sıcaklığı da dikkate alınarak belirlenen sargı sıcaklığının santigrat derece olarak değerleri baz alınarak üyelik fonksiyonlarının parametre değerleri aşağıdaki gibi girilmiştir.

Normal = [0 0 90 130]

Yüksek = [100 145 150 150]

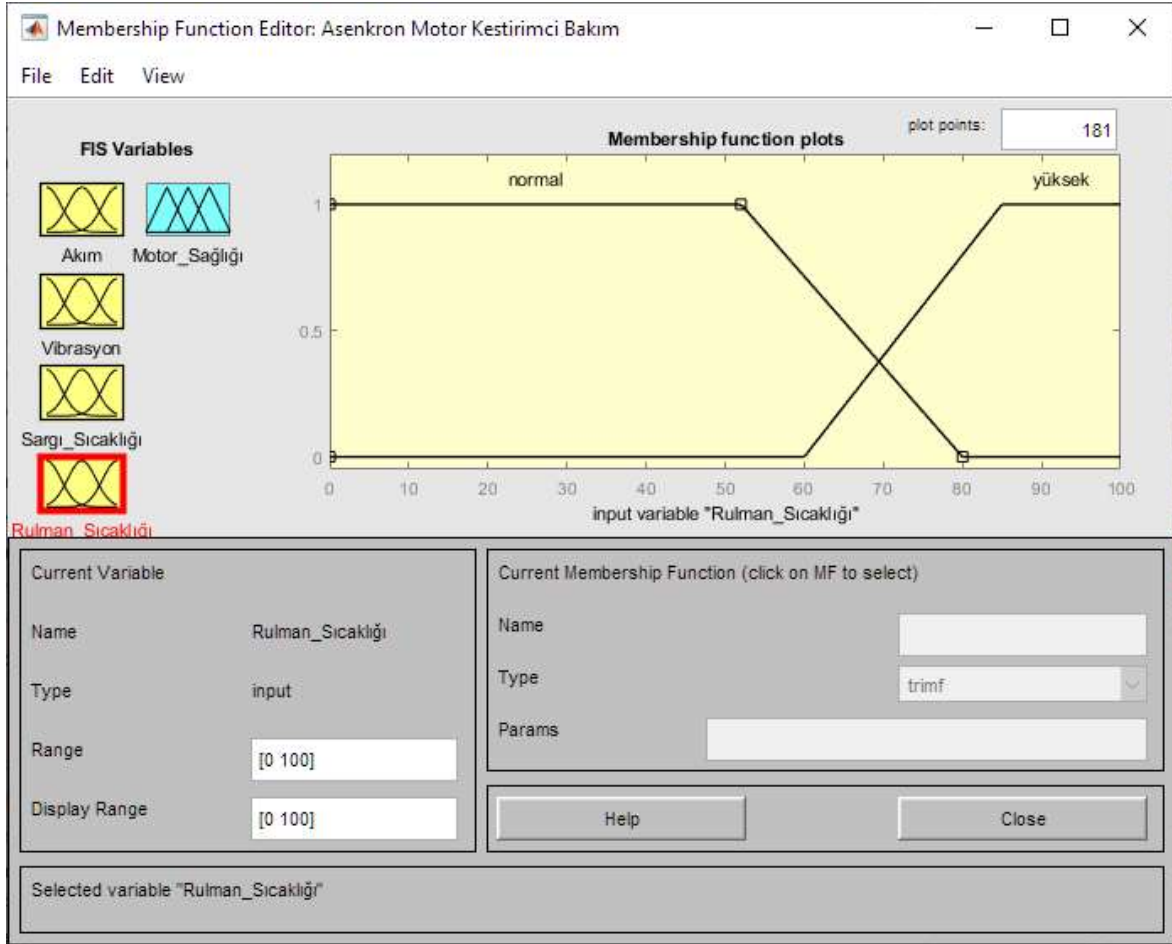


Resim 3.21. Stator sargı sıcaklığı değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Motor rulman yatağının sıcaklık verisinin bulanık mantık çıkarım sistemine değişken olarak girilmesi için Resim 3.22’de görüldüğü üzere normal ve yüksek olmak üzere iki ayrı trapez şeklinde üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Motorda kullanılan SN tip standart rulmanın sürekli çalışabileceği en yüksek sıcaklık değeri 120 ° C olmasına rağmen asenkron motorun sahada dengeli çalışma halindeyken ve rutin yatak yağlama işlemleri yapıldığı durumda yaz günü ortam sıcaklığı da dikkate alınarak belirlenen rulman yatağı sıcaklığı santigrat derece (°C) cinsinden öncelikli değer olarak alınmıştır. Dengeli halde çalışan motorun rulman yatağının yaklaşık 60°C sıcaklığı olmasından dolayı bu değer üzerine çıkmasını normal olmayan durum olarak tanımlayarak üyelik fonksiyonu parametreleri aşağıdaki gibi girilmiştir.

Normal = [0 0 52 80]

Yüksek = [60 85 100 100]



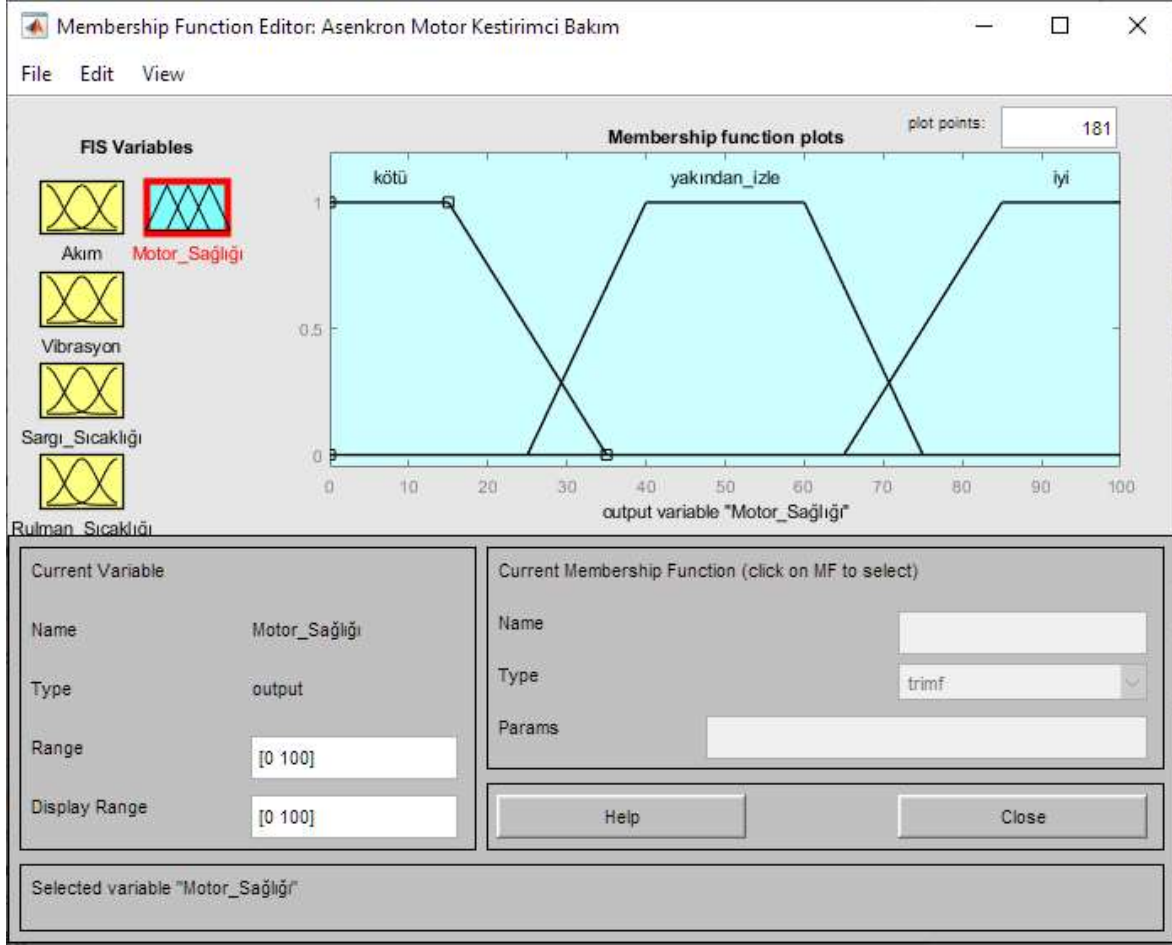
Resim 3.22. Rulman yatağı sıcaklığı değişkeni için bulanık mantık üyelik fonksiyonu

BM çıkarım sistemi; girişlerinden elde edilen verilerle çıkarım sisteminin kuralları doğrultusunda belirlenen ve artan değer yönünde motor sağlığı göstergesini, azalan değer yönünde ise bakım ihtiyacını belirleyecek şekilde %0-100 aralığında belirlenmiş üyelik fonksiyonlarından oluşmaktadır. Resim 3.23'te görüldüğü üzere kötü, yakından izle, iyi olarak üç ayrı üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Üçü de trapez şeklinde yaklaşık eşit dağılımlı olarak belirlenmiştir. Parametreleri aşağıdaki gibi girilmiştir.

Kötü = [0 0 15 35]

Yakından İzle = [25 40 60 75]

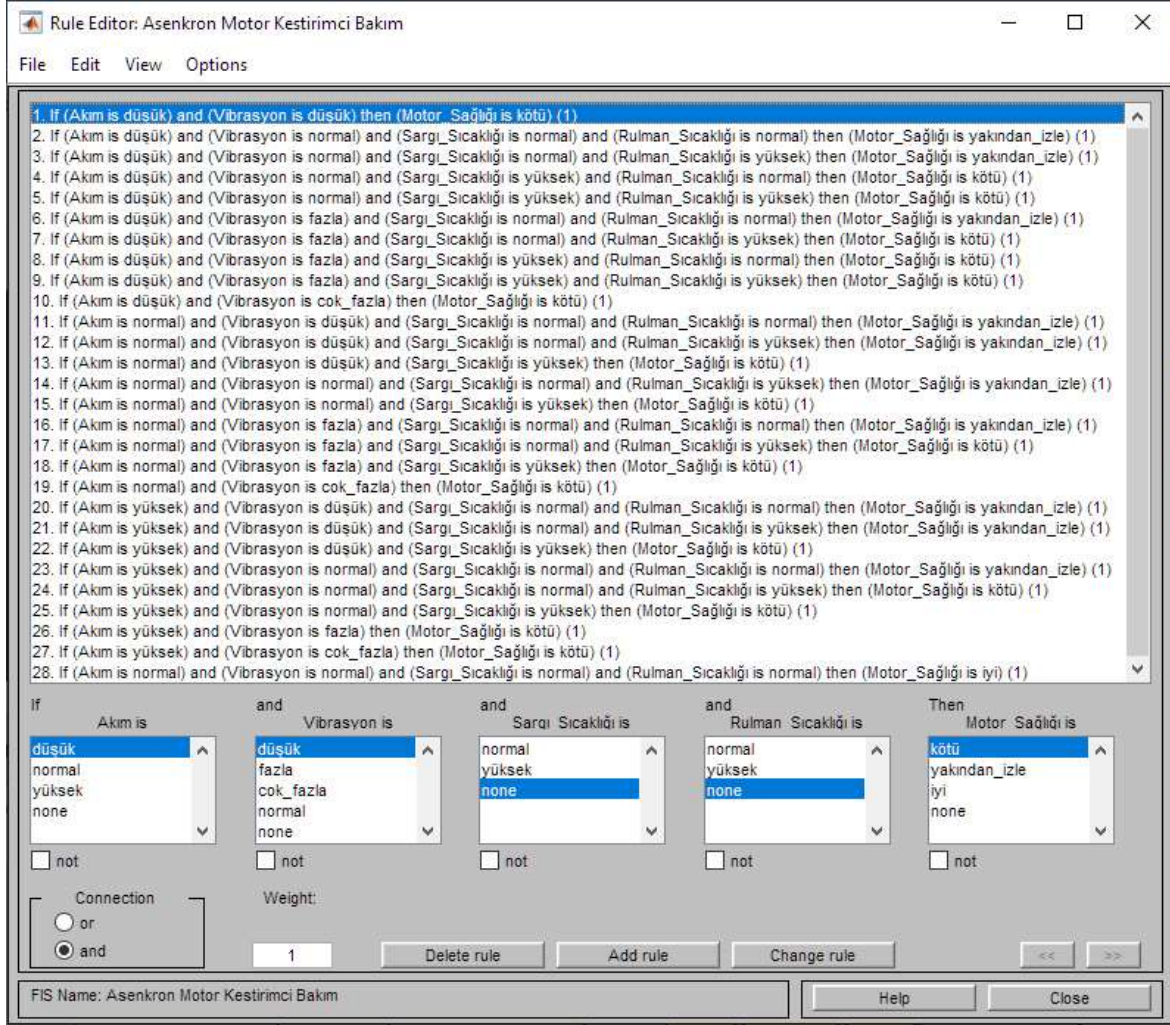
İyi = [65 85 100 100]



Resim 3.23. Motor sağlığı ve kestirimci bakım ihtiyacını gösteren çıkış değişkeni için üyelik fonksiyonu

Giriş değişkenlerinin değerlendirilmesi için konulacak kurallar belirlenirken teknik veriler, bu işte mesleki yeterliliğe sahip tecrübeli kişilerle yapılan görüşmeler ve kişisel tecrübeler dikkate alınmıştır. Kuralların oluşturulması, sistemi oluşturan olgularla ilgili yeterince tecrübe ve bilgi sahibi olmayı yani 'uzman' olmayı gerektirir. Belirlenen kurallar, çalışılan sistemle ilgili isabetli ve doğru bilgilerin yorumlanmasıyla tekrar düzenlenebilir.

Bu bağlamda farklı senaryolar değerlendirilip, hangi değişkenler ne değerleri aldığında motorun sağlığı hakkında nasıl bir değişiklik yapabileceği kurallara dökülmüştür. Bu kurallar ile belirlenen durumlar gerçekleştiğinde insan algısına hitap eden ve tasarımı nispeten kolay olan Mamdani çıkarım yöntemi için üyelik değerleri kurallardaki ve/veya operatörlerine göre MIN ya da MAX operatörlerine yönlendirilerek sonuç üretilir. Resim 3.24'te bulanık mantık çıkarım sistemine ait belirlenmiş kurallar görülmektedir.



Resim 3.24. Bulanık mantık çıkarım sistemi kuralları ekran görüntüsü

Bu kurallar doğrultusunda bulanık mantık temelli değerlendirme ile asenkron motorda farklı giriş değişkenlerine göre ortaya çıkması muhtemel arıza kaynaklı duruşların önüne geçerek motor sağlığı hakkında fikir sahibi olmayı ve buna göre de bakım planlanmasının yapılmasını sağlamaktadır.

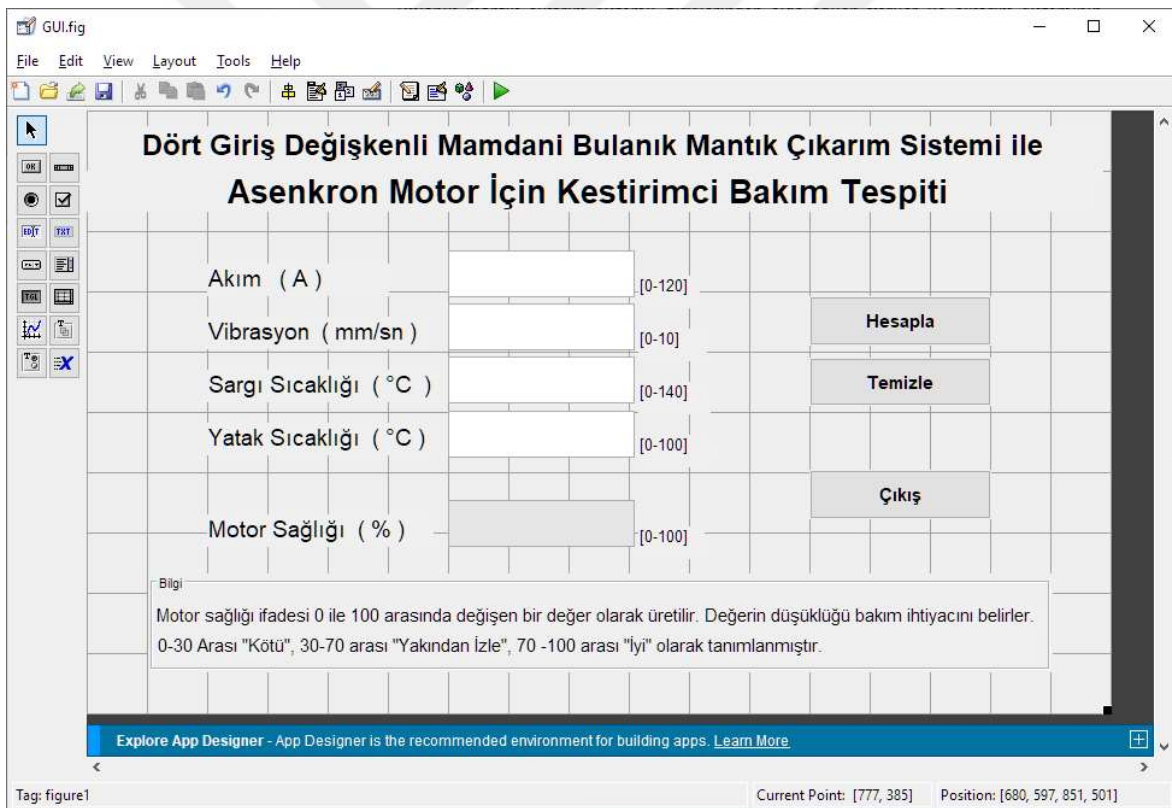
Çizelge 3.6'da bulanık mantık çıkarım sistemi tarafından değerlendirmede kullanılan ve Matlab Fuzzy Toolbox'a girilen kurallar tablo halinde verilmiştir. Belirlenen kurallar doğrultusunda giriş değişkenlerinden alınan veriler Mamdani çıkarım sistemi ile sonuçlandırılarak çıkış değişkeni belirlenmektedir.

Çizelge 3.6. BM çıkarım sistemine ait kurallar tablosu

Sıra	Akım	Bağlaç	Vibrasyon	Bağlaç	Sargı Sıcaklığı	Bağlaç	Rulman sıcaklığı	Bağlaç	Sonuç
1	Düşük	Ve	Düşük		-		-	İse	Kötü
2	Düşük	Ve	Normal	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	Yakından İzle
3	Düşük	Ve	Normal	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Yakından İzle
4	Düşük	Ve	Normal	Ve	Yüksek	Ve	Normal	İse	Kötü
5	Düşük	Ve	Normal	Ve	Yüksek	Ve	Yüksek	İse	Kötü
6	Düşük	Ve	Fazla	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	Yakından İzle
7	Düşük	Ve	Fazla	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Kötü
8	Düşük	Ve	Fazla	Ve	Yüksek	Ve	Normal	İse	Kötü
9	Düşük	Ve	Fazla	Ve	Yüksek	Ve	Yüksek	İse	Kötü
10	Düşük	Ve	Çok Fazla		-		-	İse	Kötü
11	Normal	Ve	Düşük	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	Yakından İzle
12	Normal	Ve	Düşük	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Yakından İzle
13	Normal	Ve	Düşük	Ve	Yüksek		-	İse	Kötü
14	Normal	Ve	Normal	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Yakından İzle
15	Normal	Ve	Normal	Ve	Yüksek		-	İse	Kötü
16	Normal	Ve	Fazla	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	Yakından İzle
17	Normal	Ve	Fazla	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Kötü
18	Normal	Ve	Fazla	Ve	Yüksek		-	İse	Kötü
19	Normal	Ve	Çok Fazla		-		-	İse	Kötü
20	Yüksek	Ve	Düşük	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	Yakından İzle
21	Yüksek	Ve	Düşük	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Yakından İzle
22	Yüksek	Ve	Düşük	Ve	Yüksek		-	İse	Kötü
23	Yüksek	Ve	Normal	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	Yakından İzle
24	Yüksek	Ve	Normal	Ve	Normal	Ve	Yüksek	İse	Kötü
25	Yüksek	Ve	Normal	Ve	Yüksek		-	İse	Kötü
26	Yüksek	Ve	Fazla		-		-	İse	Kötü
27	Yüksek	Ve	Çok Fazla		-		-	İse	Kötü
28	Normal	Ve	Normal	Ve	Normal	Ve	Normal	İse	İyi

3.5.6. FIS kullanan GUI yazılım tasarımı ile kestirimci bakım tespit uygulaması

Önerilen çıkarım sistemince giriş değişkenlerine göre belirlenen çıkış değişkeninin görsel olarak ifade edilmesi için Matlab GUI ile bir uygulama tasarlanmış ve kodlanmıştır. Resim 3.25'te görülen uygulamanın arayüzüne, dört adet input verisinin girileceği veri giriş bölümü eklenmiştir. Bu bölümlere girilen veriler ilgili değişkenlere atanmaktadır. FuzzyToolbox'ta tasarlanan çıkarım sistemi bir FIS dosyasına kaydedilmiştir. Uygulamada giriş değişkenine atanan veriler tasarlanan bu FIS içerisinde işleme sokulmaktadır. Hesapla butonuna basıldığında sonuç üretilecek ve üretilen bu çıkış değeri, uygulama arayüzünde motor sağlığı bölümünde yüzde olarak gösterilmektedir. Ayrıca temizle butonu ile değerlendirme sonrasında üretilen çıktının silinip yeni değerlerin kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. Çıkış butonu uygulamayı kapatmaktadır.



Resim 3.25. Matlab GUI ile yapılan BM çıkarımlı ASM sağlığı uygulamasının tasarımı

Arayüze ait kodlama şöyledir:

```
function varargout = GUI(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GUI_OpeningFcn, ...
```

```

        'gui_OutputFcn', @GUI_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function GUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
function varargout = GUI_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
function akim_Callback(hObject, eventdata, handles)
function akim_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function vibration_Callback(hObject, eventdata, handles)
function vibration_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function coiltemp_Callback(hObject, eventdata, handles)
function coiltemp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function bearingtemp_Callback(hObject, eventdata, handles)
function bearingtemp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function figure1_WindowButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
function bearingtemp_DeleteFcn(hObject, eventdata, handles)
function calculate_Callback(hObject, eventdata, handles)
x=str2num(get(handles.akim,'string'));
y=str2num(get(handles.vibration,'string'));
z=str2num(get(handles.coiltemp,'string'));
t=str2num(get(handles.bearingtemp,'string'));
fis = readfis('tez.fis');
output = evalfis(fis,[x y z t])
set(handles.sonuc,'string',num2str(output));
function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.akim,'String','');
set(handles.vibration,'String','');
set(handles.coiltemp,'String','');
set(handles.bearingtemp,'String','');
set(handles.sonuc,'String','');

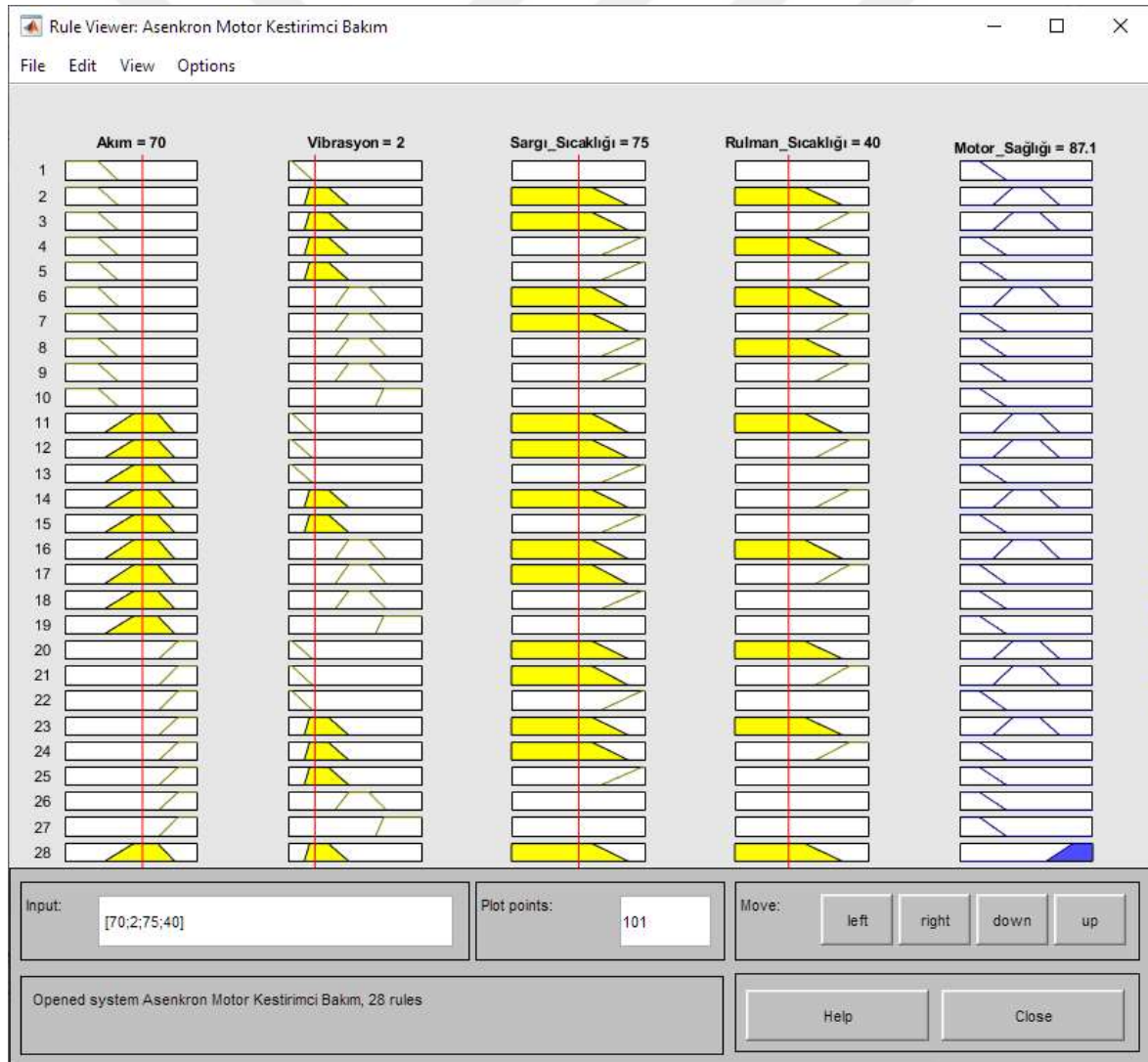
```

```
function close_Callback(hObject, eventdata, handles)
delete(handles.figure1);
clear
function sonuc_Callback(hObject, eventdata, handles)
function sonuc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function akim_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
set(handles.akim,'String','');
function vibration_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
set(handles.vibration,'String','');
function coiltemp_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
set(handles.coiltemp,'String','');
function bearingtemp_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
set(handles.bearingtemp,'String','');
```


4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Kural Görüntüleyici, bütün bulanık çıkarım sürecinin bir seferde yorumlanmasına imkân verir ayrıca belirli üyelik fonksiyonlarının genel sonucu nasıl etkilediğini de görsel olarak sunar. Sonuçların kontrol edilebildiği ve giriş değişkenine göre çıkış değişkeninin hangi kurallar üzerinden oluşturulduğunu simüle eden kural görüntüleyici (Rule Viewer) Resim 4.1’de görülmektedir.

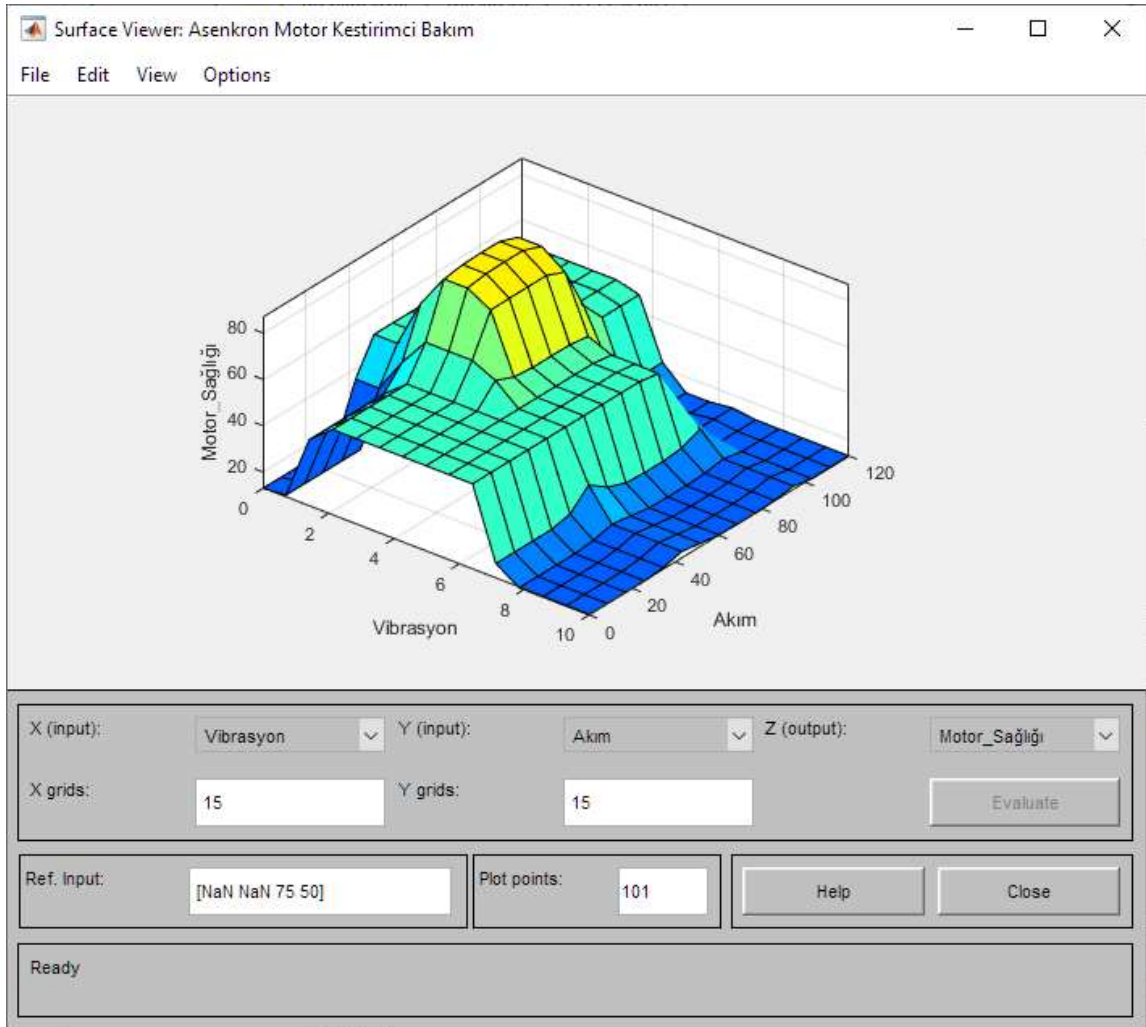
Resim 4.1’deki kural görüntüleyici de giriş değişkenleri olan akım, vibrasyon, sargı sıcaklığı ve rulman yatak sıcaklığı için sırasıyla [70;2;75;40] girilmiş ve çıkarım sisteminin sonucunda motor sağlığı olarak 100 üzerinden 87,1 puan çıktı üretmiştir.



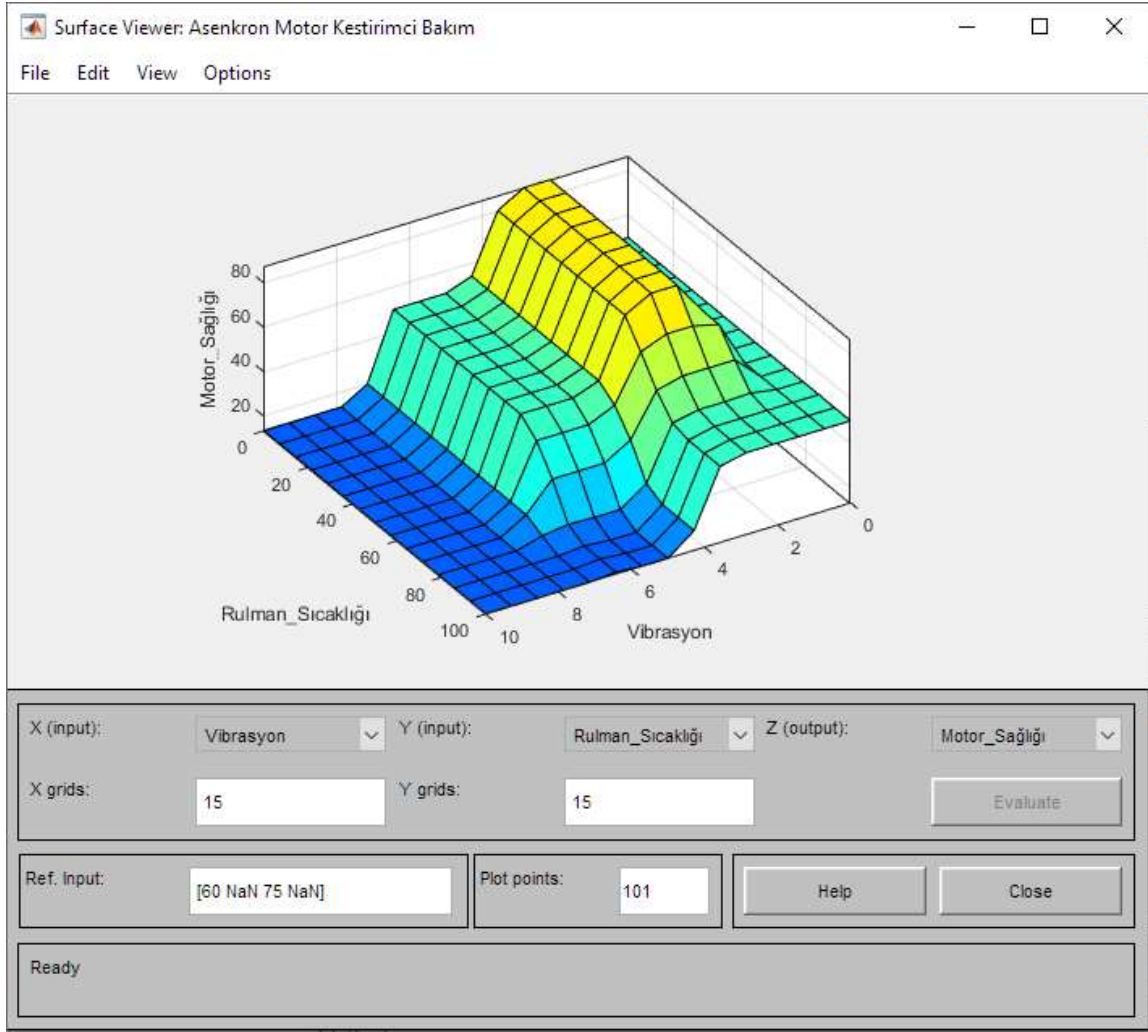
Resim 4.1. Kural görüntüleyicide yapılan benzetim ve sonuçları

Bulanık mantık çıkarım sistemi ile tasarlanmış sistemin ürettiği sonuçlar üç boyutlu uzayda yüzey görüntüleyici (Surface Viewer) kullanılarak görüntülenebilir. “Akım – vibrasyon” giriş değişkenlerinin ve “rulman sıcaklığı – vibrasyon” giriş değişkenlerinin, konulmuş olan kurallara göre oluşan çıkış değişkenini gösterir üç boyutlu uzaydaki yüzey görünümü sırasıyla Resim 4.2’de ve Resim 4.3’te görülmektedir.

Bu görsellerde, hangi bölgede bakım planı gereksinimi duyulacağı görülmektedir. Sarı bölgeler sorunsuz çalışma, turkuaz bölge yakından izlenerek çalıştırılabilir girdilere sahip olduğunu mavi bölge ise acil bakım planlanması gerektiren çok düşük motor sağlığını göstermektedir.



Resim 4.2. Akım - vibrasyon girişlerine göre çıkış değişkeninin üç boyutlu uzayda yüzey görünümü



Resim 4.3. Rulman sıcaklığı - vibrasyon girişlerine göre çıkış değişkeninin üç boyutlu uzayda yüzey görünümü

Matlab GUI ile tasarlanan uygulamanın arayüzünde ilgili kısımlara girilen değerler, tasarlanmış olan çıkarım sisteminde değerlendirmeye sokulmaktadır. Temizle butonu ile girdiler silinip yeni değerler çıkarım sistemine sokulabilmektedir. Resim 4.4'te Matlab GUI ile hazırlanmış olan uygulama ve örnek çalışmasının ekran görüntüsü görülmektedir.

Veri tabanındaki bilgiler çıkarım sistemine girdi olarak verildiğinde giriş değişkenlerinin değerine göre ASM'nin durumunu ortaya koyarak motorun sağlığı için 0 ile 100 arasında bir değer üretmektedir. Resim 4.4'teki input bölümüne sahadan ölçülen değerler giriş değişkeni olarak girildikçe çıkış değişkeni üretilmektedir. Bu elde edilen sonuç artan değer yönünde motor sağlığını, düşen değer yönünde ise bakım ihtiyacını belirlemektedir.

Dört Giriş Değişkenli Mamdani Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ile Asenkron Motor İçin Kestirimci Bakım Tespiti

Akım (A)	70.25	[0-120]
Vibrasyon (mm/sn)	2.17	[0-10]
Sargı Sıcaklığı (°C)	76.98	[0-140]
Yatak Sıcaklığı (°C)	47.32	[0-100]
Motor Sağlığı (%)	87.098	[0-100]

Hesapla

Temizle

Çıkış

Bilgi
 Motor sağlığı ifadesi 0 ile 100 arasında değişen bir değer olarak üretilir. Değerin düşüklüğü bakım ihtiyacını belirler. 0-30 Arası "Kötü", 30-70 arası "Yakından İzle", 70 -100 arası "İyi" olarak tanımlanmıştır.

Resim 4.4. Matlab GUI ile hazırlanmış olan uygulama ve örnek çalışmasının ekran görüntüsü

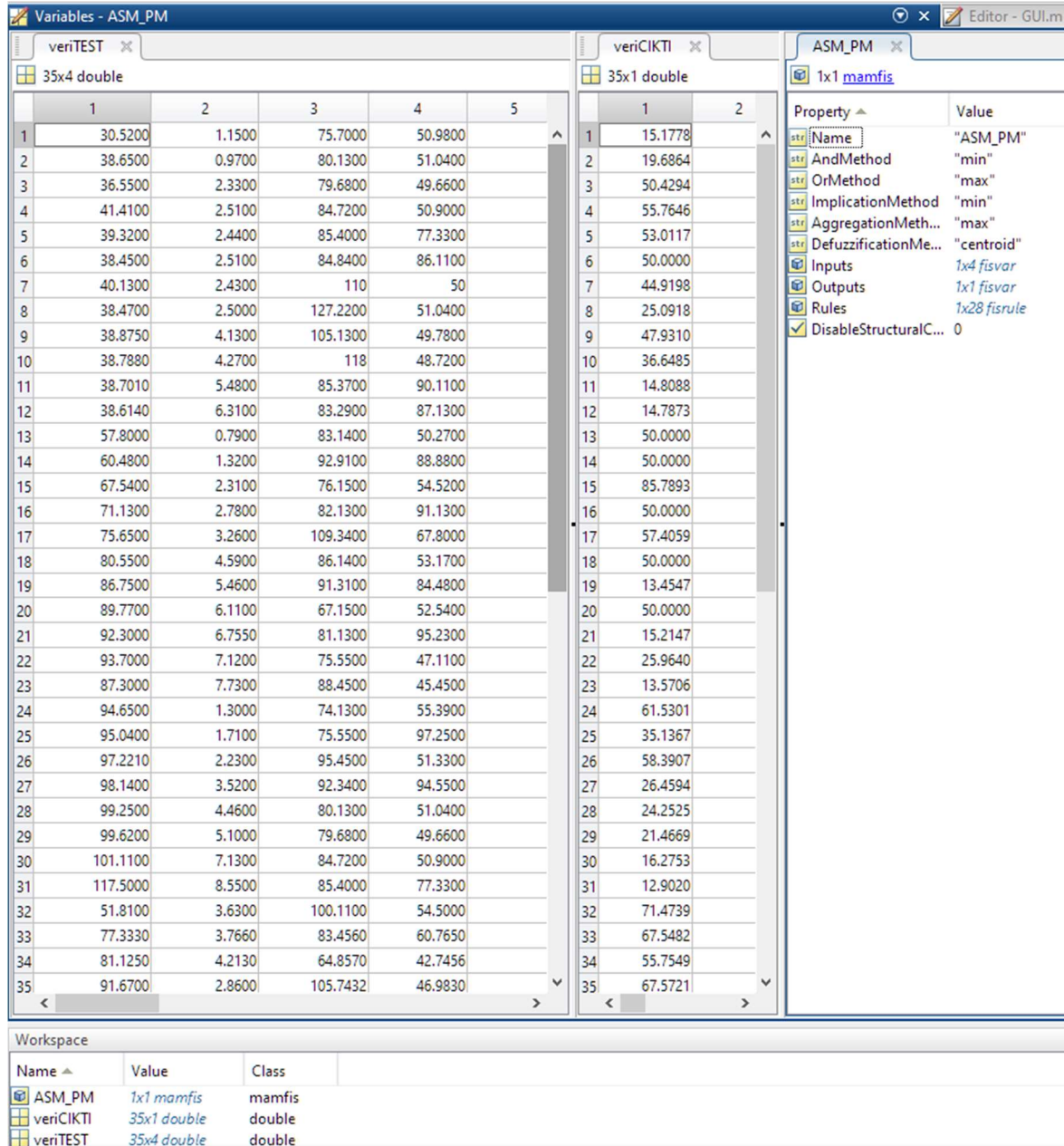
Sahada çalışan ASM'den toplanarak elde edilen veriler, sistem kararlı ve dengeli çalışma halinde elde edildiğinden bütün senaryoları kapsayacak çeşitlilikte olamamaktadır. Çıkarım sistemi ile test edilecek veri seti, bir günlük saha verisinin tamamı yerine bütün senaryoları içerecek şekilde oluşturulmuştur. Kural senaryolarının testinde kullanılacak veriler, sahadan alınmış veriler baz alınarak her bir kuralı tetikleyecek şekilde düzenlenerek yeniden oluşturulmuştur.

ASM'nin yol verme süresi boyunca oluşan kalkış akımı ve start anında oluşan yüksek vibrasyon, kural tablosu ve test verilerinde kapsam dışı bırakılmıştır. Motorun anma devrinde stabil çalışma dönemi dikkate alınmıştır.

Resim 4.5'teki ekran görüntüsünde görülen test verileri, Matlab'da 35x4 bir tablo olarak "veriTEST" adıyla oluşturulmuştur. Daha önceden tasarlanmış olan Mamdani tabanlı çıkarım sistemi Matlab WorkShop'unda "ASM_PM" adıyla kaydedilmiştir. Matlab komut satırında verilen aşağıdaki komut ile bu test verileri çıkarım sisteminde değerlendirilerek her bir satır numarası ilgili satıra denk gelerek 35x1 tablo olacak şekilde bir sonuç üretmiştir.

```
>> veriCIKTI=evalfis(ASM_PM,veriTEST)
```

Resim 4.5'te Matlab üzerinde test verisi olarak çalışan giriş tablosu ve çıkarım sistemine sokulduktan sonra üretilen sonuçları gösteren çıkış değişkeni tablosu ayrıca çıkarım sisteminin tasarım verileri görülmektedir.



Resim 4.5. Giriş, çıkış tabloları ve çıkarım sistemi özelliklerini gösterir ekran görüntüsü

Çalışma halindeki ASM'nin olası akım, vibrasyon, stator sargı sıcaklığı ve rulman yatak sıcaklığı değerlerini içeren; saha verilerinden yola çıkarak bütün senaryoları içerecek şekilde belirlenmiş olan test verileri, BM temelli çıkarım sistemine sokulduğunda sistemin ürettiği çıkış değerleri ve bu değerlerin tanımlamaları Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1. BM çıkarım sisteminde giriş değişkenleri ve ürettiği sonuçlar

Giriş Değişkeni				Çıkış Değişkeni	
Akım (A)	Vibrasyon (mm/sn)	Sargı Sıcaklığı (°C)	Rulman Sıcaklığı (°C)	Motor Sağlığı (%)	Tanımlama
30.5	1.15	75.70	50.98	15.17	Kötü
38.65	0.97	80.13	51.04	19.68	Kötü
36.55	2.33	79.68	49.66	50.42	Yakından İzle
41.41	2.51	84.72	50.90	55.76	Yakından İzle
39.32	2.44	85.40	77.33	53.01	Yakından İzle
38.45	2.51	84.84	86.11	50.00	Yakından İzle
40.13	2.43	110	50	44.91	Yakından İzle
38.47	5.50	127.22	41.04	25.09	Kötü
38.87	4.13	105.13	49.78	47.93	Yakından İzle
38.78	4.27	118	48.72	36.64	Yakından İzle
38.70	5.48	85.37	90.11	14.80	Kötü
38.61	6.31	83.29	87.13	14.78	Kötü
57.8	0.79	83.14	50.27	50.00	Yakından İzle
60.48	1.32	92.91	88.88	50.00	Yakından İzle
67.54	2.31	76.15	54.52	85.78	İyi
71.13	2.78	82.13	91.13	50.00	Yakından İzle
75.65	3.26	109.34	67.8	57.40	Yakından İzle
80.55	4.59	86.14	53.17	50.00	Yakından İzle
86.75	5.46	91.31	84.48	13.45	Kötü
89.77	6.11	67.15	52.54	50.00	Yakından İzle
92.3	6.75	81.13	95.23	15.21	Kötü
93.7	7.12	75.55	47.11	25.96	Kötü
87.3	7.73	88.45	45.45	13.57	Kötü
94.65	1.30	74.13	55.39	61.53	Yakından İzle
95.04	1.71	75.55	97.25	35.13	Yakından İzle
97.22	2.23	95.45	51.33	58.39	Yakından İzle
98.14	3.52	92.34	94.55	26.45	Kötü
99.25	4.46	80.13	51.04	24.25	Kötü
99.62	5.10	79.68	49.66	21.46	Kötü
101.11	7.13	84.72	50.9	16.27	Kötü
117.50	8.55	85.4	77.33	12.90	Kötü
51.81	3.63	100.11	54.5	71.47	İyi
77.33	3.76	83.45	60.76	67.54	Yakından İzle
81.12	4.213	64.85	42.74	55.75	Yakından İzle
91.67	2.86	105.74	46.98	67.57	Yakından İzle

Sadece motor stator akımları ile BM temelli çıkarım yapan sistem tasarımlar literatürde mevcuttur. Bunlar kısaca örneklenecek olursa; kısa devre yapan statorun dönüşlerini modellemek için stator akımı izlenmesine dayanan ve stator sargı arızalarının tespiti için BM temelli bir yöntem sunan çalışma yapılmıştır [6]. Kırık rotor çubuğunun tespiti için arıza durumunda tam güçte çalışmayan motorun besleme grafiğindeki genlik farkını izleyen BM temelli bir MCSA kullanımı öneren çalışma mevcuttur [7]. Kısa devre, açık devre ve aşırı gerilim durumlarında performans analizi yapmak için stator akımlarının üyelik fonksiyonu olarak tanımlandığı, BM temelli bir simulink modeli üzerinden farklı arıza durumları için motorun sağlığını gösteren çalışma yapılmıştır [9]. Aşırı voltaj, düşük voltaj, aşırı akım, tek faza kalma gibi arızalar meydana geldiğinde, stator akımını izleyen PIC mikrodenetleyicili bir BM modeli kullanarak, motora ve ilgili ekipmana verilen zararı en aza indirmeyi hedefleyen çalışma mevcuttur [16]. Bir ASM'nin durumunun izlenmesi için yüksüz, normal yük ve aşırı yükte olan çalışma rejimlerinde akım durumlarını inceleyerek motor sağlığını belirleyen, Matlab üzerinde BM temelli bir durum izleme çalışması mevcuttur [21]. Yalnız akım analizine dayanan bu çalışmalarla birlikte mantık olarak benzer nitelikte olup sadece vibrasyon analizi ile BM temelli çıkarım yapan sistem tasarımları da literatürde mevcuttur. Kısaca bahsedilecek olursa; Bir BM kontrolcüsü ile motorun durumunu titreşim analizi yoluyla izlemek için Matlab/SIMULINK'te bir ASM simülasyon modeli geliştirilerek motorun durumunun takibi yapılarak hataların erken tespit edilmesine ve kestirimci bakım yapılmasına yardımcı olacak sistem önerilmiştir [18]. Rulmanlarda ortaya çıkabilecek arızaların tespiti amacıyla titreşim analizi ve gürültü ölçümü yöntemlerini kullanarak rulmanın çeşitli bölgelerinde eş zamanlı ölçümler yapılmış, hilbert dönüşümünden geçirildikten sonra zarf analizine sokularak rulman arızalarının belirlendiği bir çalışma yapılmıştır [27]. ISO-10816-1 orta ölçekli makinelerin titreşim değerlendirme standardı baz alınarak BM temelli bir titreşim analizi kullanılarak kestirimci bakım uygulaması modellenmiş ve simülasyonunu yapılmıştır [28]. MEMS tabanlı bir vibrasyon sensörü kullanılarak derin öğrenme ve makine öğrenmesi ile vibrasyon analizi temelli arıza tespiti ve kestirimci bakım sistemi tasarlanmıştır [36].

Görüldüğü üzere, ekipmanlar genellikle bir veya iki gösterge üzerinden incelenerek tespit ve teşhis çalışmaları yapılmıştır. Az sayıda kıstasa bağlı olarak arıza tespit ve teşhisine yönelik çalışmalar, çalışma konusu parametresi haricindeki arıza durumlarında yetersiz kalmaktadırlar. Duruşlara engel olunmasında ve toplam ekipman etkinliğini yüksek tutulmasına dair faydaları düşük olmaktadır. Arıza konusuna bir bütün olarak bakıp arıza

kaynağı olabilecek diğer etmenleri de arıza tespit sistemine dâhil etmek sistemin verimini yükseltecektir.

Sahada çalışan ASM'den alınan, akım ve vibrasyon bilgilerini içeren analog verinin hangi aralıklarda olduğunu belirleyip veriyi anlamlandırmak amacıyla yapılan literatürdeki çeşitli çalışmalar bu tez çalışmasında bir araya getirilmiştir. Üzerine motor sargıları ve ekipman tahrik miline termal açıdan izleme yapılabilecek şekilde stator sargısı ve rulman yatağı sıcaklığı da BM temelli çıkarım sistemine giriş değişkeni olarak eklenmiştir. Dört giriş değişkenli BM temelli bir çıkarım sistemi oluşturulmuştur. Bu sayede ASM'nin sağlığının titreşim, motor stator akımı, sargı sıcaklıkları ve rulman yatak sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak % cinsinden belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak da henüz fiilen gerçekleşmemiş arızadan önce giriş parametrelerine göre motor sağlığının düşük çıkması sonucunda bakım ihtiyacının belirlenmesi sağlanmış olmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstride; üretimin sürekliliğinin sağlanması, plansız duruşların en düşük seviyede tutulması hatta hiç olmaması çok önemlidir. Ayrıca ekipmanların üretim sürekliliğinin artırılması için gerekli olan bakım prosedürlerinin gerçekleşmesinde harcanan maliyetlerinin düşüklüğü önem arz etmektedir. Bu bağlamda yapılmış literatürdeki çalışmalar, endüstriyel dünyada ekipman tahrikinin sağlandığı ASM'lerin; akım analizi veya vibrasyon analizi gibi yöntemlerle arıza öncesinde arızanın ne olduğunun tespiti ve bu bağlı olarak erken uyarı üzerine kuruludur.

Bu çalışmada, sistem operatörlerinin çalışan sistemin verilerini takip ettiği Scada HMI sistemlerinde gözden kaçırdıkları, takip etmedikleri ya da aradaki küçük değişimleri fark etmediği proses verilerinin, araya insan faktörü girmeden, insanın muhakemesine en yakın kabul edilen bulanık mantık ile değerlendirmesinin yapılabilmesi için bir çıkarım sistemi önerilmiştir. Önerilen çıkarım sisteminde çalışan sistemdeki sensörlerden alınan asenkron motora ait izlenebilir verilerin ortaya koyduğu göstergeler, motor sağlığını belirleyecek; sistemin arızaya geçme ve arızadan dolayı duruşa sebebiyet verme yolunda olduğu hakkında bilgi verecektir. ASM'den veya tahrik ettiği sistemden kaynaklı olası arızaların, çalışan sistemde yaşanacak duruşlara sebep vermeden önce fark edilmesi sistemin en önemli özelliğidir.

Önerilen sistem; arızanın ne olduğundan çok, arızanın yaşanıp yaşanmayacağı ile alakalı bir çıkarım sistemidir. Endüstriyel üretim yapan işletmeler ilk etapta toplam ekipman etkinliğini artırmayı amaçlar. Plansız duruşların önüne geçmek istenilir, dolayısıyla ASM'deki arızanın içeriğinden ziyade arızanın gerçekleşme ihtimali ile ilgilenilir. Gerçekleşecek muhtemel arızanın tespiti ilk anda teşhisinden daha fazla önem arz etmektedir. Burada uygulanan BM temelli çıkarım sisteminde, giriş değişkenlerinden yola çıkarak motorun sağlığı ile ilgili üretilen çıktıdan bakım ihtiyacı olup olmadığı belirlenebilmektedir. Kestirimci bakım sayesinde olası arıza gerçekleşmeden önlem alınabilmenin ve bununla birlikte üretim kaybı ve bakım maliyetinin düşmesi sağlanabilecektir.

BM temelli çıkarım sistemi tarafından bakım ihtiyacı gerektirdiği tespit edilen bir başka deyişle motor sağlığının düşük çıktığı durumlarda; öngörülen bakım süresinin uzunluğuna göre iki farklı eylem planlanabilir. Bunlar; ya uygun bir zamanda yapılacak planlamayla

bakım yapılıp sistemi devreye sokmak ya da ASM'nin hazır bulunan bakımlı yedeği ile değiştirilerek hızlıca üretime devam edilmesidir.

Bütün bu belirlenmiş parametre ve standart eşik değerlerin başka yerleşkelerde ve şartlarda uyarlanması istenilirse; kullanılan referans değerler, çıkarım sisteminin kullanılacağı ekipmana ait bilgiler, etiket verilerine ve sistemin kendi ortam şartlarına göre belirlenmelidir.

Gelecek çalışmalarda bir bulanık mantık denetleyicisi tasarlanarak, çalışan sistemden alınan veriler gerçek zamanlı olarak işlenerek endüstriyel anlamda da kullanılabilir hale getirilebilir. ASM'nin stator akımı verileri, endüstride kullanıldığı haldeki üç fazlı olarak değerlendirilip fazlar arası akım farkları sisteme giriş değişkeni olarak eklenebilir. Bu sayede, motor stator sargıları kaynaklı arızaların da duruşa sebebiyet vermemesi için çıkarım sistemine dâhil edilmiş olur.

Sadece ASM'den değil, tahrik ettiği mekanik temelli sistemden kaynaklı arızaları da çıkarım sistemine dâhil etmek için tahrik mekanizmasına da ayrı bir vibrasyon sensörü eklenip yeni bir değişken olarak eklenebilir. Buradan yola çıkılarak, arıza ayırımı yapabilmek ve elektriksel veya mekaniksel olarak sınıflandırabilmek için çıkış değişkeni de ikiye çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

1. Mete M., Bakım Yönetiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli, İstanbul: İstanbul Üniversitesi F.B.E., 2007, p. 1.
2. Aslan T. ve Yılmaz E., Bulanık Mantık Yöntemi ile Belirsizlik Şartlarında Faaliyet-Hacim Kar Analizi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 2018.
3. Altaş İ.H., Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı, *Enerji, Elektrik, Elektromekanik 3e*, p. 1, Temmuz 1999.
4. Janier J.B. and Zaharia M. F. Z., Condition Monitoring System for Induction Motor Using Fuzzy Logic Tool, *First International Conference on Informatics and Computational Intelligence*, 2011.
5. Lakrout A., Bendjebbar M. and Henini N., Electric Stator Faults Detection in Induction Motor based on Fuzzy Logic Technique, *International Conference on Applied Smart Systems (ICASS'2018)*, Médéa, ALGERIA, 2018.
6. Mini.V.P, Sivakotaiah S. and Ushakumari S., Fault Detection and Diagnosis of an Induction Motor using Fuzzy Logic, *IEEE Region 8 SIBIRCON*, Irkutsk Listvyanka, Russia, 2010.
7. Misra R. and Pahuja G.L., Fuzzy Logic Based Rotor Health Index of Induction Motor, *Int. J. Emerg. Electr. Power Syst.*, cilt 16, no. 5, pp. 443-449, 2015.
8. Mitrofani A., Emiris M. and Koulouriotis E., An Industrial Maintenance Decision Support System based on Fuzzy Inference to Optimize Scope Definition, *30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Athens, Greece, 2020.
9. Shetgaonkar S. S., Fault Diagnosis in Induction Motor Using Fuzzy Logic, *Proceedings of the IEEE 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication*, Ponda ,Goa, India, 2017.
10. Agyare O. R., Asiedu A. B. and Biney A. R., Fuzzy Logic Based Condition Monitoring of a 3-Phase Induction Motor, *IEEE Africon*, Accra, Ghana, 2019.
11. Pereira L. A., Gazzana D. S. and Pereira L. F. A., Motor Current Signature Analysis and Fuzzy Logic Applied to the Diagnosis of Short-Circuit Faults in Induction Motors, *31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2005.*, Porto Alegre, Brazil, 2005.
12. Azgomi H. F. and Poshtan J., Induction Motor Stator Fault Detection via Fuzzy Logic, *2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Mashhad, Iran, 2013.

13. Drakakia M., Karnavas Y. L., Tzionas P. and Chasiotis I. D., Recent Developments Towards Industry 4.0 Oriented Predictive Maintenance in Induction Motors, *Procedia Computer Science*, no. 180, pp. 943-949, 2021.
14. Hartati, Manuaba and Mataram M., Induction Motor Monitoring System Base on Fuzzy Logic Controller, *Journal of Electrical, Electronics and Informatics*, cilt 1, no. 4, pp. 15-19, 2020.
15. Talaat H., Ezzat M. and Saleh M., Fuzzy Logic Based Induction Motor Condition Monitoring, *9th International Conference on Electrical Engineering ICEENG*, 2014.
16. Surwase A.D., Jalit A.S. and Chavan M.D., Fault Detection and Protection of Induction Motor Using Fuzzy Logic, *Proceedings of IEEE International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology ICIEEIMT*, 2017.
17. Uyar O. ve Çunkaş M., Fuzzy logic-based induction motor protection system, *Neural Comput & Applic*, no. 23, pp. 31-40, 2012.
18. Pharne S. and Patil A., Fault Diagnosis of Motor using Fuzzy Logic Technique, *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing*, 2017.
19. Sampio G.S., Filho A. and Silva L., Prediction of Motor Failure Time Using An Artificial Neural Network, *Sensors*, cilt 19, no. 4342, pp. 1-17, 2019.
20. Koca Y.B. ve Ünsal A., Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekaniksel Arızalarının Değerlendirilmesi, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, cilt 2, no. 7, pp. 37-46, 2017.
21. Patil M., Shaikh A. and Mudholkar R., Motor Health Detection using Fuzzy Logic, *International Journal of Engineering Research and Development*, cilt 9, no. 3, pp. 73-83, 2012.
22. Baban C., Baban M. and Suteu M., Using a fuzzy logic approach for the predictive maintenance of textile machines, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, no. 30, pp. 999-1006, 2016.
23. Tabak A. ve Özkaymak M., Elektrik Motorlarında Uygulanan Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 8, no. 4, pp. 889-905, 2020.
24. Hongxia W., Xiaohui Y. and Ming Y., Study on Predictive Maintenance Strategy, *Advanced Science and Technology Letters*, cilt 10, no. 137, pp. 52-56, 2016.
25. Karaköse M. ve Yaman O., Complex Fuzzy System Based Predictive Maintenance Approach in Railways, *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, cilt 9, no. 16, pp. 6023-6032, 2020.

26. Yei L. ve ark. A Model-Based Method for Remaining Useful Life Prediction of Machinery, *IEEE Transactions on Reliability*, cilt 3, no. 65, pp. 1314-1326, 2016.
27. Demir H. ve Müştak O., Rulman Hasarlarının Titreşim ve Gürültü Analizi ile Tespiti, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 25, pp. 571-581, 2021.
28. D. Hüseyin, Vibration-Based Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis Using Fuzzy Logic, *Electronic Letters on Science & Engineering*, cilt 2, no. 2, pp. 31-37, 2006.
29. Bektaş O., Kestirimci Bakım İçin Döner Mekanizma Bozulma Eğrisinin Tanımlanması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 19, pp. 420-428, 2020.
30. Gürsoy M.Ü. ve ark., Endüstri için Kestirimci Bakım, *International Journal of 3D Printing Technologies And Digital Industry*, cilt 3:1, pp. 56-66, 2019.
31. Keskenler F.M. ve Keskenler E.F., Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi, *Takvim-i Vekayi*, cilt 1, no. 5, pp. 1-10, 2017.
32. Özdemir O. ve Kalıncara Y., Bulanık Mantık: 2000-2020 Yılları Arası Tez ve Makale Çalışmalarına Yönelik Bir İçerik Analizi, *Acta Infologica*, cilt 2, no. 4, pp. 155-174, 2020.
33. Akar M., *Sabit Miknatıslı Senkron Motorda Yapay Zekâ Yöntemleri ile Mekanik Hataların Teşhisi*, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
34. Aydın İ., *Gerçek Zamanlı Durum İzleme ve Arıza Teşhisi İçin Bağışık Akıllı Hesaplama Tekniklerini İncelenmesi*, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
35. Teke Ç., *İmalat Sektöründe Uygun Bakım ve Stratejisinin Belirlenmesi İçin Bir Yöntem Tasarımı ve Uygulanması*, Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
36. Yurtsever M., *Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Titreşim analizi Tabanlı Arıza Teşhis ve Kestirimci Bakım sistem Tasarımı*, İzmir: Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2020.
37. Bradley W.J., *Current Based Fault Detection and Diagnosis of Induction Motors*, Bradford: Design and Technology University of Bradford, School of Engineering, 2013.
38. Ferraris G., Alternatif akımla elektromanyetik rotasyon, *Electrician*, cilt 36, pp. 360-75, 1885.
39. Boldea I., *The Induction Machine Hand Book*, New York: CRC Press, 2002.

40. Akar M., Evirici ile Sürülen Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Tespiti, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 2009.
41. Bayindir R. ve ark., Fault detection and protection of induction motors using sensors, *IEEE transactions on energy conversion*, Cilt 23-3, pp. 734-741, 2008.
42. Yeh C., Sayed-Ahmed A. and Povinelli R., A Reconfigurable Motor for Experimental Emulation of Stator Winding Inter-Turn and Broken Bar Faults in Polyphase Induction Machines, *IEEE Transactions on Energy*, cilt 4, no. 23, pp. 1005-1014, 2008.
43. Nandi S., Toliyat H.A. and Li X., Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines-A Review, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, cilt 4, no. 20, pp. 719-729, 2005.
44. Siddique A., Yadava G. S. and Singh B., A Review of Stator Fault Monitoring Techniques of Induction Motors., *IEEE Transactions on Energy Conversion*, cilt 1, no. 20, pp. 106-114, 2005.
45. Araujo R. d. S., Desgaste Prematuro e Falhas Recorrentes em Rolamentos de Motores de Indução Trifásicos Alimentados por Inversores de Frequência., Belo Horizonte: UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
46. Blanchard M. W., Involving Operators in Your Equipment Maintenance Plans, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.lce.com/Involving-Operators-in-Your-Equipment-Maintenance-Plans-1882.html>. [Erişim: 23 03 2022].
47. Wang KS, Li Z, Braaten J and Yu Q, Interpretation and compensation of backlash error data in machine, *Advances in Manufacturing*, no. 3, pp. 97-104, 2015.
48. Zadeh L. A., Fuzzy sets, *Information and control*., cilt 3, no. 8, pp. 338-353, 1965.
49. Mert Z. G. ve Yılmaz S., Kocaeli mahalleleri donatı yeterliliğinin bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilmesi., *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 3, no. 22, pp. 167-183, 2009.
50. Özdemir O., *Bulanık mantık ile belirlenmiş öğrenme stillerine dayalı öğrenme ortamlarının öğrencilerin başarı ve tutumlarına etkisi*, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eğitim Programları ve Öğretimi ABD, Doktora Tezi., 2009.
51. Işıklı Ş., Lotfi a. Zadeh'nin hayat hikâyesi ve bulanık paradigmanın üç temel unsuru., *Kutadgubilig: Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi*, no. 17, pp. 89-101, 2010.
52. Mamdani E. H. and Assilian S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller., *International journal of man-machine studies*, cilt 7, no. 1, pp. 1-13, 1975.

53. Medina A., PT100 Temperature / Resistance Table, [Çevrimiçi]. Available: https://www.academia.edu/6375902/PT100_TEMPERATURE_RESISTANCE_TABLE_C_9_8_7_6_5_4_3_2_1_0_C. [Erişim: 14 06 2022].
54. Brannon E., Simplified Vibration Monitoring: ISO 10816-3 Guidelines, CBM Connect, 4 2 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.cbmconnect.com/simplified-vibration-monitoring-iso-10816-3-guidelines/>. [Erişim: 25 06 2022].
55. IEC, IEC 60085 Electrical insulation – Thermal evaluation and designation, IEC International Standart, 2007.



DİZİN

4

4-20 mA · 3, 38, 39, 41, 42, 45, 46, 48, 56

A

akım · iv, 1, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 14, 19, 22, 39, 40, 41, 42, 46, 48, 49, 50, 53, 67, 71, 74, 75

analog · 36, 37, 39, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50

arıza · iv, 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 37, 46, 62, 73, 74, 75

asenkron motor · 5, 6, 10, 13, 17, 18, 40, 41

ASM · xiv, 3, 5, 6, 7, 13, 18, 40, 42, 55, 56, 69, 73, 74, 75

B

bakım · 3, iv, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 20, 21, 22, 23, 43, 46, 53, 55, 56, 60, 61, 62, 68, 69, 73, 74

bakım ihtiyacı · iv, 1, 12, 22, 53, 55, 69, 74

BM · xiv, 5, 7, 10, 24, 29, 30, 31, 32, 55, 56, 72

bulanık · 3, iv, xiv, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 46, 48, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 67, 74, 79, 80

bulanık mantık · 3, iv, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 23, 24, 25, 29, 46, 48, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 74

Ç

çıkartım sistemi · 7, 12, 53, 55, 60, 62, 73

D

Durulaştırma · 33

duruş · 1, 11, 22

E

elektriksel · 11, 17, 50, 75

Endüstri · 4, 5, 6, 8

erken uyarı · 74

Excel · 47, 51, 52, 53

F

fan motoru · 40, 47

Fırsat Bakımı · 20, 21

Fuzzy · v, 8, 53, 55, 76, 77, 78, 79

i

input · 3, 38, 39, 41, 42, 46, 48

izolasyon · 12, 18, 58

K

kestirimci · 3, iv, 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 43, 46, 53, 55, 56, 60, 61

kestirimci bakım · iv, 2, 4, 8, 9

kısa devre · 4, 5, 11, 12, 13, 14, 17, 18

Kural · 28, 30, 67

M

Makine · xv, 2, 22, 54, 78

maliyet · 22, 25

Mamdani · 31, 32, 33, 56, 61, 62, 80

manyetik alan · 3, 14

Matlab · iv, 7, 8, 12, 47, 53, 55

mekaniksel · 3, 11, 17, 43, 75

motor sağlığı · iv, 3, 7, 12, 53, 55, 56, 60, 62, 67, 69

O

onarım · 1, 21

P

PLC · iv, xv, 3, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49

Proaktif Bakım · 21

proses · 5, 38, 39, 47, 50, 53, 57, 74

PT100 · 41, 43, 44, 45, 46, 47, 56, 80

R

rulman · 3, 9, 10, 11, 12, 19, 40, 43, 44, 45, 47, 50, 53,
56, 59, 67, 68, 71

S

sargı · 3, 4, 11, 12, 13, 18, 40, 46, 50, 53, 54, 58, 59, 67

Scada · 36, 37, 49, 74

sensör · 42, 45

sıcaklık · iv, 1, 3, 6, 7, 8, 12, 18, 22, 41, 43, 44, 45, 46,
47, 48, 49, 51, 55, 56, 58, 59

Sinter · 40, 47, 48

sinyal · 3, 8, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 46

sistem · iv, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 19, 30, 36, 73, 78

T

TAG · 49, 50

TEE · xv, 11, 21, 22

termodirenç · 39, 44, 46

titreşim · iv, 1, 3, 4, 7, 9, 11, 30, 42, 53

transducer · 41, 45, 46, 56

trend · 3, 46, 47, 49, 50, 51

Ü

üyelik fonksiyonu · xiv, 5, 26, 27, 28, 29, 40, 53, 55, 56,
57, 58, 59, 60, 61

V

veri tabanı · 47, 48

vibrasyon · 10, 12, 17, 18, 22, 40, 42, 43, 48, 49, 50, 51,
53, 56, 67, 68, 69, 71, 74, 75

W

WinCC · iv, 36, 37, 47, 49, 50

Y

yalıtım · 17, 18, 19, 46, 54



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

