

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAKIM ONARIM UYGULAMALARI İÇİN
BİR BULANIK KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)
Hazırlayan
Serkan ÇETİNKAYA**

**Danışman
Doç.Dr. Hülya TORUN**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAKIM ONARIM UYGULAMALARI İÇİN
BİR BULANIK KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Serkan ÇETİNKAYA**

**Danışman
Doç. Dr. Hülya TORUN**

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Serkan ÇETİNKAYA

İmza

“Bakım Onarım Uygulamaları İçin Bir Bulanık Karar Destek Sistemi Tasarımı”
adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma
Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Serkan ÇETİNKAYA

İmza

Danışman

Doç. Dr. Hülya TORUN

İmza

Xxxx Xxxxx ABD Başkanı

Unvan İsim SOYİSİM

İmza

Doç. Dr. Hülya TORUN danışmanlığında **Serkan ÇETİNKAYA** tarafından hazırlanan “**Bakım Onarım Uygulamaları İçin Bir Bulanık Karar Destek Sistemi Tasarımı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Gün / Ay / Yıl

JÜRİ:

Danışman : Doç.Dr. Hülya TORUN

Üye : Unvan İsim SOYİSİM

Üye : Unvan İsim SOYİSİM

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, bulanık mantık yaklaşımını uzmanlık alanım olan bakım onarım uygulamaları ile birleştirmemi sağlayan değerli hocam DoÇ. Dr. Hülya Torun'a ve her konuda desteğini esirgemeyen eşime teşekkür ederim.

Serkan ÇETİNKAYA

Temmuz 2019 , KAYSERİ

BAKIM ONARIM UYGULAMALARI İÇİN BİR BULANIK KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

Serkan ÇETİNKAYA

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2019
Danışman: Doç. Dr. Hülya TORUN

ÖZET

Ekipman kritiklik seviyesinin belirlenmesi güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımının ilk ve en önemli adımıdır. Bakım onarım organizasyonları işletme makine ve ekipmanlarının kullanılabilirlik sürelerini maksimum seviyede tutmak ile görevli birimlerdir. Makine ve ekipmanları kullanılabilir tutabilmek adına en önemli faaliyetler planlı bakım çalışmalarıdır. Bir ekipman için uygulanacak bakım modelinin seçiminde yetkili bir çok parametreyi göz önünde bulundurmalıdır. Bunlardan en önemlisi ise işletme için en kritik makine veya ekipman için en etkin bakım modelinin uygulanmasıdır. **Makine kritiklik seviyesinin belirlenmesinde uygulanacak kriterlerin belirlenmesi belirsizlik ve kişisel uzman görüşü içerebilir. Bu parametrelerin**

Bulanık mantık, Aristo mantığında var - yok (0-1) biçimindeki keskin aitlik durumunu ortadan kaldırarak olayın bir kümeye ait olma durumunu üyelik dereceleri ile ifade etmektedir. Bulanık mantık yaklaşımının en büyük avantajı giriş ve çıkış değişkenlerine sahip karar mekanizmasının işlediği bir sistemde ölçülemeyen ve belirlenemeyen parametrelerin ihmal edilmesinin önüne geçilerek karar mekanizmasında değerlendirilmesinin sağlanmasıdır.

Bu çalışmada bakım onarım uygulamaları için bir bulanık karar destek sistemi tasarlanmıştır. Bu doğrultuda güvenilirlik merkezli bakım planlamasının en önemli aşaması olan makine ve ekipman kritiklik seviyesinin belirlenmesi amacıyla MATLAB fuzzy logic toolbox kullanılarak bulanık kural tabanlı sistem modellenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bir işletme için tüm organizasyonları kapsayan ve işletmenin tüm değerlerini göz önünde bulunduran 8 giriş değişkenli bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma şu şekilde geliştirilebilir.....

Anahtar Kelimeler: Bakım onarım , bulanık karar destek sistemi , bulanık kural tabanlı sistem , kritiklik analizi , güvenilirlik merkezli bakım , mamdani çıkarım sistemi

THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS
TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE
THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE THESIS TITLE
İsim SOYİSİM

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, Month Year
Supervisor: Title(Unvan-İngilizce) İsim SOYİSİM

ABSTRACT

Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract Abstract
Abstract Abstract Abstract Abstract

Keywords: Xxxx, Xxxxx, Xxxx, Xxxxx, Xxxx, Xxxxx, Xxxx, Xxxxx

İÇİNDEKİLER

BAKIM ONARIM UYGULAMALARI İÇİN BİR BULANIK KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu	2
1.2. Araştırmanın Amacı	2
1.3. Araştırmanın Önemi.....	2

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1.Yöntem	3
2.2. Materyaller	3

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1 Araştırma Modeli.....	4
3.2 Evren ve Örneklem	4
3.2.1 Yöntem Başlık Örneği.....	4

4. BÖLÜM**TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER**

4.1.Tartışma.....	5
4.2.Sonuç ve Öneriler	5
KAYNAKÇA	6
EKLER.....	8
EK 1.....	8
ÖZGEÇMİŞ.....	9

KISALTMALAR

GMB : Güvenilirlik Merkezli Bakım

FIS : Fuzzy Inference System

İSG : İş Sağlığı ve Güvenliği

MTTR : Mean Time to Repair

MTBF : Mean Time Between Failure

OEE : Overall Equipment Effectiveness

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Tablo adı verilmelidir. Referans yazılmamalıdır !.....	4
---	---

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	GMB Analiz Adımları	3
Şekil 1.2.	Katı-sıvı arayüzey şekli ile basınçlar arasındaki ilişki [1]	3
Şekil 1.3.	Bir çerçeve içerisine sıkıştırılmış sıvı film.	4
Şekil 1.4.	Atomların dağılımına göre Gibbs serbest enerjisinin değişimi [7].....	7
Şekil 1.5.	Katı ve sıvı fazların Gibbs serbest enerjilerinin sıcaklıkla değişimi.....	9
Şekil 1.6.	İkili ötektik faz diyagramı [11].	12
Şekil 1.7.	A-B-C sistemi için üçlü faz diyagramı [13].....	14
Şekil 1.8.	A-B-C üçlü sistemi için ölçekli faz diyagramı.	15
Şekil 1.9.	A-B-C üçlü ötektik sistemin üç boyutlu faz diyagramı [14].....	16
Şekil 1.10.	A-B-C üçlü ötektik sistemin iki boyutlu faz diyagramı.....	16
Şekil 1.11.	Zamana bağlı sıcaklık değişimi ve alt soğuma.	17
Şekil 1.12.	Çözünürlük alt soğumasına neden olan faktörlerin şematik gösterimi[16].	19
Şekil 1.13.	Eğrilmiş arayüzeyin Gibbs serbest enerjisinin sıcaklıkla değişiminin gösterimi.....	23
Şekil 1.14.	İki bileşenli bir alaşımda sabit sıcaklıkta serbest enerjinin bileşimle değişimi	25
Şekil 1.15.	Molar serbest enerji- Bileşim diyagramında arayüzey enerjisinin katı-sıvı arayüzeyi dengesine etkisinin gösterimi.	25
Şekil 1.16.	Katı-sıvı arayüzey eğriliğinden dolayı katılık(solidus) ve sıvılık(liquidus) eğrilerindeki değişimin gösterimi.	26
Şekil 1.17.	Küresel olmayan yüzeyler için Gibbs-Thomson denkleminin çıkarılmasında kullanılan diyagram [1,19].	29
Şekil 1.18.	(a) Bir fcc kristalinin γ -eğrisi. (b) Kristalin üç boyutlu denge şekli. [8].....	31
Şekil 1.19.	Arayüzey enerjisinin θ açısı ile değişimi [21].	31
Şekil 2.1.	Homojen çekirdeklenmede embriyonun serbest enerjisinin embriyo yarıçapına bağlılığı [8].	41

Şekil 2.2.	Heterojen çekirdeklenmenin şematik gösterimi [57].....	43
Şekil 2.3.	Aktivasyon enerjisinin ve çekirdeklenme hızının alt soğumaya göre değişimi [8]..	44
Şekil 2.4.	Kristal büyütmesi katı-sıvı arayüzey morfolojileri: (a) düzlemsel, (b) hücresel, (c) dendritik.....	45
Şekil 2.5.	Dengedeki üç fazın kesişiminin şematik gösterimi [8].....	47

GİRİŞ

Tez çalışmasında, endüstriyel tesislerin üretim makinaları ve ekipmanları için bakım modelinin ve bakım periyotlarının seçimine yönelik makine kritiklik analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla bulanık karar destek sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Güvenilirlik merkezli bakım... makine kritiklik analizi... bulanık mantık... bulanık karar destek sistemi...

Çalışmadaki amaç kritiklik analizinde uzman personel tecrübelerinin dilsel ifadelerine dayanan giriş değişkenlerinin de dikkate alındığı bir kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirmektir.

Literatürde özellikle güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımının ilk adımı ve diğer bakım faaliyetlerinin başlangıç noktası olan kritik makine belirleme adımının tüm işletme değerlerinin göz önünde bulundurulmadan gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu kapsamda çalışma gerçeğe yakın sonuçlar vermesi nedeniyle önemlidir.

Kritiklik analizinde bulanık mantık yaklaşımı kullanılmış olup yazılım aracı olarak MATLAB fuzzy logic toolbox kullanılmıştır.

1. BÖLÜM

BAKIM ONARIM ORGANİZASYONU VE GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM

Bakım genel anlamda bir işletmedeki bütün varlıkların ve cisimlerin iyi durumlarının korunması ve devamının sağlanması ile ilgili tedbir ve faaliyetlerinin sürekli olarak yerine getirilmesi işlemidir. İşletmelerdeki bakım onarım faaliyetleri “bakım onarım birimi” tarafından gerçekleştirilmektedir [1]. Bakım felsefesinin gelişim sürecinin ilk aşaması İkinci dünya savaşı öncesi dönem olarak kabul edilir. Bu dönemde teknolojinin mekanik ve elektronik sistemler bakımından zayıf oluşu nedeniyle arıza duruşlar büyük önem arz etmemekte ve farklı bakım stratejilerine gerek duyulmamaktadır. Birinci aşama olarak kabul edilen dönemin bakım stratejisi sadece temizlik, yağlama ve arıza durumunda müdahaleye dayanmaktadır. İkinci dünya savaşının gerçekleştiği 1930 yılları bakım felsefesi için ikinci aşamadır. Bu dönemde karmaşık teknolojilerdeki savunma sistemlerine ihtiyacın artması ile kullanılan makine ve ekipmanlar daha kompleks hale gelmiştir. Önemli bir göreve hizmet eden bu makine ve ekipmanların %100 kullanılabilirliğinin sağlanması büyük önem arz ettiğinden önleyici bakım stratejileri bu dönemde gelişmiştir.

Sanayinin gelişiminin büyük ivme kazandığı 1970 yılları bakım felsefesinin gelişiminde üçüncü aşama olarak kabul edilir. Üretimde kapasite kullanımını optimum seviyede tutma çalışmaları ve maliyet düşürme amaçlı uygulamalar güvenilirlik merkezli bakım (GMB) gibi üst düzey bakım stratejilerinin gelişmesini sağlamıştır.

1.1. Bakım Modelleri

Bakım modelleri en temelinde planlı ve plansız bakım olarak ikiye ayrılmaktadır. Bir işletmenin hangi bakım modelini uygulayacağı işletme kaynaklarına

ve üretim modeline bağlıdır. Minimum bakım personeline ve yine minimum yedek parça stok imkânına sahip, bunun yanında kısmi üretim kayıplarını kabul edebilecek üretim stratejisine sahip bir firma için plansız bakım modeli kullanılabilecek tek bakım modelidir.

1.1.1. Plansız / Arizi Bakım (Breakdown Maintenance – Corrective Maintenance)

Plansız bakım modelinde bir makine veya ekipman arıza yapana kadar müdahale söz konusu değildir. Arıza durumları ise makinenin en hızlı çalışır duruma gelmesini sağlayacak pansuman çözümler ile giderilir. Bu çözümler zamanla makinelerde daha büyük problemlere neden olur.

Plansız bakım modelinin diğer bakım modellerine göre görünürdeki maliyeti daha düşüktür. Plansız bakım modeli ile çalışan bir işletme düşük sayıda bakım personeli istihdam eder ve yedek parça stok maliyetleri düşüktür. Bu model küçük hacimli, alternatif makine ve ekipman imkanına sahip ve düşük değer üreten işletmeler için doğru bir yaklaşım olabilir. Bunun yanı sıra büyük işletmelerde de arızı bakım modeli bazı makine ve ekipmanlar için kullanılabilir. Planlı bakım faaliyetleri için gerekli kaynağı tüm makineleri için oluşturamayan bir işletme alternatif üretim imkânı olan makineler için plansız bakım yaklaşımını kullanabilir. Hangi makine için plansız bakım stratejisinin kullanılacağını kararı başarılı bir makine ve ekipman kritiklik analizi ile mümkündür.

1.1.2. Planlı / Koruyucu Bakım (Preventive Maintenance)

Planlı bakım modeli orta ve büyük işletmeler için uygulanması zorunlu bir üretim stratejisi olarak kabul edilir. Planlı bakımın temelinde bir üretim tesisinde en önemli üretim kaynağı olan makine ve ekipmanların en etkin şekilde kullanımının sağlanması yatmaktadır.

Planlı bakım modelinde bir makinenin arızı durumu beklenmeksizin gerekli önlemler alınır. Bu önlem faaliyetleri de planlı bakımın alt başlıkları şeklinde farklı bakım modelleri şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Hangi planlı bakım modeli kullanılırsa kullanılsın bir işletme planlı bakım modelini uygulamak istiyorsa plansız bakım modeline göre daha fazla ve yetkin bakım personeli istihdam etmeli, daha fazla yedek

parça stok maliyetlerine katlanmalı ve bu bakım faaliyetlerinin uygulanabilmesi için plandlı üretim kayıplarını göze almalıdır.

1.1.2.1. Periyodik Bakım (Periodic Maintenance)

Periyodik bakım makine ve ekipman performansını en üst seviyede tutmayı hedefleyen bir bakım modelidir. Bu model ile makine veya ekipmanın arıza oluşması beklenmeden kontrolü veya bakımı gerçekleştirilir.

Gerçekleştirilecek müdahale zamanına iki farklı şekilde karar verilir. Bunlardan birincisi zaman bazlı periyodik bakımdır. Zaman bazlı periyodik bakımda belirlenen zaman aralıklarında makinenin kontrolü, yağlaması, bakımı veya ekipman değişimleri gerçekleştirilir. Bakımın gerçekleştirileceği zamanın tayininde makine imalatçı firma bildirimleri ve bakım personellerinin geçmiş arıza tecrübeleri etkilidir. İkinci yaklaşım ise stok bazlı periyodik bakımdır. Bazı durumlarda (geçmişe dayalı arıza verilerinin bulunamaması, tecrübeli bakım personelinin istihdam edilememesi vb. durumlar) ekipman bakım periyodu zamana bağlı gerçekleştirilemez. Bu gibi durumlarda ekipmanın çalışma durumu yaptığı işlev sayısına göre gerçekleştirilir.

Periyodik bakım modelinin işletmeler için oluşturduğu en büyük dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Zaman bazlı bakım modelinde bakımın uygulanacağı zamanın tayini tecrübeye dayalı olduğundan tam zamanında müdahale imkânı sunmaz. Bu da firmaya gereksiz planlı duruş, gereksiz yedek parça değişimi olarak yansır
- Fazla sayıda bakım personeli istihdamı gerektirir
- Yedek parça değişimi yapılan bakımlarda yeni parça montaj edildiğinde makine yeniden ayar gerektirebilir. Bu da üretim için ekstra duruş demektir

1.1.2.2. Kestirimci / Uyarıcı Bakım (Predictive Maintenance)

Periyodik bakım modelinin tecrübeye dayalı erken müdahale kaynaklı dezavantajlarını ortadan kaldıran kestirimci bakım yaklaşımı müdahale zamanının tayininde daha doğru ve hassas karar verilmesini sağlar.

Kestirimci bakım yaklaşımında makine ve ekipmanlar farklı yöntemler ile izlenir. Bu izleme aslında ekipmanın normal çalışma durumunun anlık çalışma durumunun verileri ile karşılaştırılması şeklinde uygulanır. Amaç oluşan farklılıkları anlık tespit ederek olası arızaların önüne geçmektir.

Kestirimci bakım modelinde titreşim analizi, yağ analizi, termal analiz, ultrasonik analiz vb. yöntemler uygulanır. Bu modelin dezavantajı ise kullanılacak izleme cihazlarının maliyetlerinin yüksek oluşudur. Bir diğer maliyet gerektiren durum ise izlenen verilerin yorumu ve müdahale planının oluşturulması için yetkin bakım personeli ihtiyacıdır.

1.1.3 Toplam Üretken Bakım / TÜB (Total Productivity Maintenance / TPM)

Toplam üretken bakım tüm işletme çalışanlarını kapsayan, otonom bakım faaliyetlerini ön planda tutan arıza önleme yaklaşımını benimseyen günümüz büyük ölçekli işletmelerde sıkça kullanılan bir bakım yönetim yaklaşımıdır. TÜB makine verimliliğinin artmasını hedeflerken tüm çalışanları sürece dâhil edip şirket kültürünü geliştirmeyi hedefler [25].

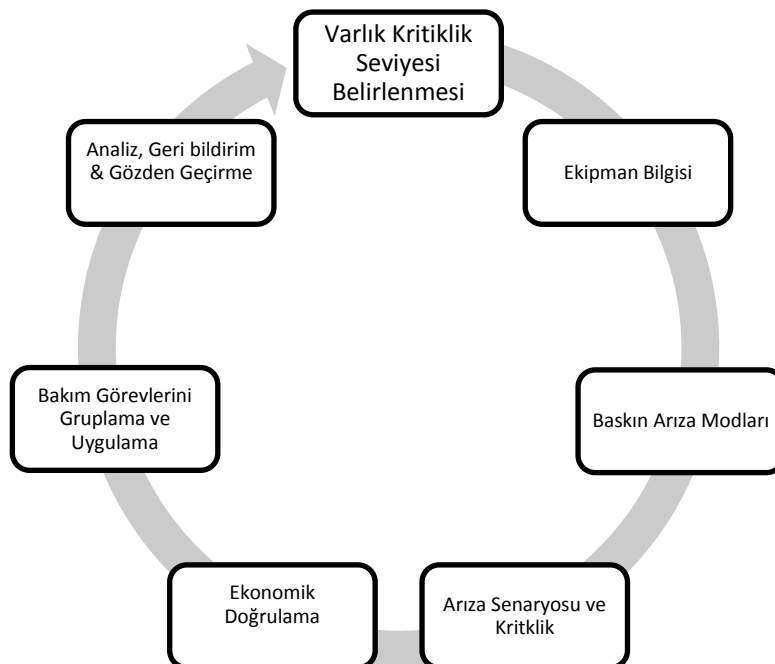
Toplam üretken bakıma yeni başlayan bir işletme için ilk adım model bir makine seçimidir. TÜB faaliyetleri ilk model makinede uygulanır. Amaç model makinede tüm çalışanların katılımı sağlanarak sıfır arıza ulaşmak ve toplam üretken bakım yaklaşımı yaygınlaştırmaktır. Böyle kapsamlı bir bakım yaklaşımının bir işletmede kültür haline getirilmesi için zamana ihtiyaç vardır. Bu nedenle faaliyetlerin ilk uygulama noktasının seçimi en önemli hamledir. İşletme faaliyetlerin başlayacağı makine seçimi için öncelikle makinelerini farklı değişkenlere göre değerlendirerek kritiklik analizini gerçekleştirir. Bu analiz sonucunda işletme için kritikliği en yüksek makine model makine olur.

1.1.4 Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB)

Güvenilirlik, belirli koşullarda ve limitlerde bir ekipmanın fonksiyonunu yerine getirme olasılığı olarak tanımlanır. Güvenilirlik merkezli bakım ise bir işletme içerisindeki makine veya ekipmanın arıza dağılımlarına göre bakım stratejisinin seçiminde kullanılan bir bakım yaklaşımıdır. GMB makine donanımının yerine işlevin korunmasına odaklanmaktadır [1].

GMB , karmaşık makine ve sistemler için doğru bakım modelinin seçiminde kullanılan bir prosedürdür. GMB yaklaşımı ilk olarak 1980 yılında Çin de ortaya çıkmıştır ve ilk GMB standartı yayınlanarak 1992 de uygulanmaya başlanmıştır. GMB uygulamalarında temel problem , uygulama kalitesinin tecrübeye dayalı oluşudur [4].

Güvenilir merkezli bakımın ana çerçevesi, önleyici bakım programının hazırlanmasında geliştirici sistem ve donanımlar için doğru yönlendirmenin gerçekleştirilmesidir. Bu kapsamda GMB süreci 10 aşamada gerçekleşir ve her aşamada bir sorunun cevabı aranır. İlk 3 aşama, GMB yaklaşımındaki en önemli aşamalardır. Bu aşamalarda sistem ile alakalı geçmişe yönelik bilgiler toplanır, en endişe verici ve en çok riske sahip arıza durumları belirlenir. İncelenen veriler ardından analiz edilir. Bu analiz çalışması yönetim , bakım ve üretim personellerinin bir araya gelmesi ile gerçekleştirilir [7]. Güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımının analiz adımları aşağıdaki gibidir (Şekil 1.1) ;

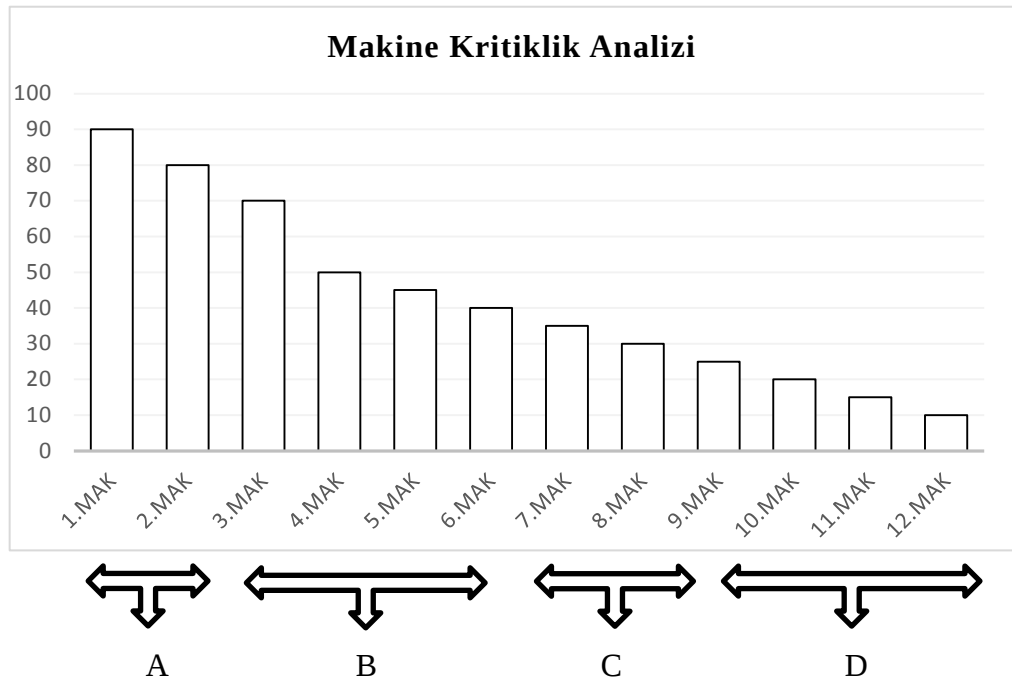


Şekil 1.1. GMB Analiz Adımları

1. Varlık Kritiklik Analizi ve Varlık Seçimi

Güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımının ilk ve en önemli adımı varlıkların kritiklik analizlerinin gerçekleştirilerek, varlık seçimidir. Buradaki kritiklik, ekipmanın üretim, kalite, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) veya arıza ile ilgili performans göstergelerine göre değerlendirilmesine göre belirlenir (Şekil 1.2) .

Bu kritiklik analizi ile GMB analizi için belirlenmiş ekipman listesi oluşacaktır. GMB süreci, kritiklik seviyesini daha detaylı belirleyeceğinden, ilk baştaki süreç daha kısa zaman alıyor olacaktır. Analiz için seçilmeyen ekipmanlar için arıza bakım modeli uygulanabilir. Arızanın sonuçları önemliyse analiz kapsamına alınıp değerlendirilmesi yapılır. Şekil 1.2’de örnek bir analiz sonuç tablosu sunulmuştur ;



Şekil 1.2. Kritiklik Analizi Sonucu Örnek Tablo

2. Varlık Bilgisi

Analizi gerçekleştirilecek makine ve ekipman için geçmiş arıza verilerinin toplanması adıımıdır. Tahminlere dayalı bir analiz gerçekleşmemesi için geçmiş verilerin değerlendirilebiliyor olması önemlidir.

3. Baskın Arıza Modu

Geçmiş arıza verilerinin arasından baskın ve yüksek zarara uğratan arızaların ayıklanması aşamasıdır.

4. Arıza Senaryosu ve Kritiklik

GMB analiz sürecinde arıza moduna yol açan bozulma mekanizmasının anlaşılması, etkin bakım modelinin belirleyebilmek adına gerekmektedir. Bozulmanın başlaması, gelişimi ve fonksiyonel arızaya yol açma süreci arıza senaryosunda bulunur.

5. Arıza Modu Özellikleri ve Görevler

GMB analiz süreci sonucunda tanımlanan görevler, arıza modları için maliyet açısından verimli olacak şekilde optimize edilmektedir. Öncelikli olarak belirlenmesi gereken, ilgili arıza modu için yapılacak bakım faaliyetinin gerçekten arızanın gelişim süreci için faydalı olup olmayacağıdır.

6. Ekonomik Doğrulama

GMB analizinin diğer önemli adımı uygulanması ön görülen bakım görevlerinin riski azaltacağı ve ekonomik olarak verimli olma durumunun teyit edilmesidir.

7. Bakım Görevlerini Gruplama ve Uygulama

GMB analiz süreci sonucunda, arıza modları ve bu arıza modları için belirlenen bakım faaliyetleri belirlenir. Belirlenen bu görevlerin uygulanabilmesi için gruplama yapılır. Bu gruplama günlük / otonom bakım faaliyetleri ve diğer / profesyonel bakım faaliyetleri olarak gerçekleştirilir. Belirlenen bakım faaliyetlerinin uygulanabilmesi için, iş emirleri halinde ekip bazlı gruplanarak SAP üzerinden otomatik olarak doğru zamanda bildirilmeleri gerekir.

8. Analiz, Geri Bildirim & Gözden Geçirme

Gerçekleştirilen faaliyetlerin değerlendirildiği aşamadır.

1.2. Bakım Onarım Organizasyonu Performans Göstergeleri (KPI)

İşletmelerde her organizasyonun başarısını ve iyileştirme faaliyetlerini hangi yönde gerçekleştirmesi gerektiğini belirleyen, bunun yanında makine kritiklik seviyesi

belirlemede kullanılan performans göstergeleri (KPI) mevcuttur. Bu KPI parametrelerinin bazıları organizasyonlar için ortak olabileceği gibi, organizasyonların kendi süreçlerine özgü KPI'ları da vardır. Uygulanan bir bakım stratejisinin performansı, İki Arıza Arasında Geçen Ortalama Süre (MTBF), Ortalama Arıza Giderme Süresi (MTTR), verimlilik, bakım maliyeti, varlıkların kullanılabilirliği vb. çeşitli bakım göstergeleri ile analiz edilebilir. Bu performans göstergeleri, bakım stratejisi öncesi ve sonrasında meydana gelen değişiklik şeklinde hesaplanır [5]. Bakım onarım faaliyetlerinde kullanılan performans göstergeleri aşağıda başlıklar halinde anlatılmıştır.

1.2.1. Ortalama Arıza Giderme Süresi (MTTR-Mean Time to Repair)

MTTR ortalama arıza giderme süresidir. Bu performans göstergesi bakım organizasyonu için en temel ölçütlerden bir tanesidir. MTTR değeri, genel olarak, giderilmiş arızalar için harcanan toplam sürenin, bu arızaların sayısına bölünmesi ile elde edilir. Birimi dakika olarak alınır ve aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$MTTR = \frac{\text{Plansız Duruş Süresi}}{\text{Plansız Duruş Sayısı}}$$

1.2.2. İki Arıza Arasında Geçen Ortalama Süre (MTBF-Mean Time Between Failure)

MTBF, ardışık iki arıza arasında beklenen ortalama süreye denir. Üretilen cihazların ilk arızalarına kadar çalışır vaziyette geçirdiği toplam sürenin, üretilen cihaz sayısına bölünmesi ile hesaplanır. MTBF değerinin kümülatif hesaplanması grafiksel incelemelerde daha doğru yorum yapma imkanı sunar. Birimi saat olarak alınır ve aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$MTBF = \frac{\text{Planlanan Çalışma Süresi} - \text{Plansız Duruş Süresi}}{\text{Plansız Duruş Sayısı}}$$

1.2.3. Hazır Bulunma Oranı (Availability)

Bir cihazın veya tezgahın çalışmaya hazır bulunma orantısıdır. Doğal olarak bu değer ne kadar yüksek ise makine veya ekipman o kadar verimli çalışıyor anlamına gelir. Aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\text{Hazır Bulunma Oranı} = \frac{\text{Çalışma Süresi} * 100}{\text{Çalışılan Süre} + \text{Plansız Duruş Süresi}}$$

1.2.4. Toplam Ekipman Etkinliği (OEE-Overall Equipment Effectiveness)

OEE, bir makine veya ekipmandan işletmenin ne oranda yararlanabildiğini gösteren ve iyileştirme çalışmalarında temel alınabilecek bir performans göstergesidir. OEE (Toplam Ekipman Etkinliği) aşağıdaki parametreler dikkate alınarak hesaplanır:

1- Ekipmanın kullanılabilirlik oranı

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{(\text{Planlanmış Üretim Süresi} - \text{Plansız Duruş})}{\text{Planlanmış Üretim Süresi}}$$

2-Performans Oranı

$$\text{Performans} = \frac{(\text{Standart Çevrim Zamanı} * \text{Üretim Miktarı})}{\text{Planlanmış Üretim Süresi} - \text{Plansız Duruş}}$$

3-Kaliteye Etki

$$\text{Kalite} = \frac{\text{Sağlam Ürün Miktarı}}{\text{Toplam Üretim Miktarı}}$$

$$\text{OEE} = \text{Kullanılabilirlik} * \text{Performans} * \text{Kalite} * 100$$

1.2.5. Aylık Bakım Maliyeti

Bakım maliyeti, bakım için harcanan işçilik, yedek parça ve servis maliyetleri toplamıdır.

$$\text{Bakım Maliyeti} = \text{Bakım İşçilik Maliyeti} + \text{Malzeme ve Servis Maliyeti}$$

1.2.6. İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Riski

Bir makine için en önemli değişkenlerden bir tanesidir. İSG riski uzman personel tarafından makine özelliklerine göre belirlenir.

1.2.7. Alternatif Makine ile Üretim İmkânı

Makine veya ekipman arıza durumunda işletmenin alternatif bir makine ile üretime devam edebilme kabiliyeti olarak tanımlanır.

1.2.8. Makine Doluluk Oranı

Makinanın 24 saat içerisinde çalışma durumu olarak tanımlanır.

2. BÖLÜM

BULANIK MANTIK VE BULANIK KURAL TABANLI SİSTEM

Bulanık Mantık ilk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından tanımlanmıştır. Bulanık mantık, Aristo mantığında var - yok (0-1) biçimindeki keskin aitlik durumunu ortadan kaldırarak olayın bir kümeye ait olma durumunu üyelik dereceleri ile ifade etmektedir. Bulanık mantık yaklaşımının en büyük avantajı giriş ve çıkış değişkenlerine sahip karar mekanizmasının işlediği bir sistemde ölçülemeyen ve belirlenemeyen parametrelerin ihmal edilmesinin önüne geçilerek karar mekanizmasında değerlendirilmesinin sağlanmasıdır. Bulanık mantık ile tecrübelerin ve kişisel görüşlerin değerlendirilmesi sağlanarak tüm giriş değişkenleri değerlendirilip en doğru sonuca ulaşmaya çalışılmaktadır [8]. Bulanık mantık yaklaşımında sürecin tanımlanması yerine sürecin girdi ve çıktıları belirlenir. Bu amaçla değişkenlerin süreçteki ağırlıkları belirlenir [9].

Bulanıklık bir değişken için derecelendirme yöntemidir. Günlük hayatta durumları keskin kümelerle dahil etmek her zaman doğru değildir. Bulanık mantığın en sık kullanıldığı iki durumdan birincisi , karmaşık ve yeterli bilginin olmadığı durumlar ,

ikincisi , insan deneyimlerine ihtiyaç duyan süreçlerdir. Klasik kümelerdeki keskin ve ani geçişler varken bulanık kümelerde yumuşak ve sürekli bir geçiş söz konusudur [26].

Bulanık mantık yapay zeka çalışmalarının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bulanık mantık kontrol sistemlerinde, tıp, ekonomi, mühendislik, çevre, yöneylem araştırması, psikoloji, güvenilirlik, güvenlik, alanlarında kullanılmaktadır [27].

2.1. Bulanık Küme

Zadeh tarafından yapılan tanıma göre bulanık küme $\mu(x)$ üyelik fonksiyonu ile ifade edilen ve üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değerler alabilen kümelerdir. Üyelik fonksiyonu elemanları kümeye tam olarak ait ise üyelik derecesi “1”; elemanın kümeye hiç aitliği yoksa üyelik derecesi “0”; kısmi üyelik söz konusu ise 0 ile 1 arasında değerler alır [11].

X bir evrensel küme olsun. X 'in bir bulanık altkümesi $\tilde{A}$, $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonu şeklinde açıklanır, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ simgesi x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesini ifade etmektedir. Bulanık bir küme üstündeki bir simgeyle klasik kümelerden ayrılır. Örneğin $\tilde{A}$, bulanık A kümesini ifade eder. Aynı zamanda $\tilde{A}$ bulanık kümesi $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)): \forall x \in X\}$ sıralı çifti şeklinde de gösterilebilir.

En az bir x noktasında $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ üyelik değerini alan bir $\tilde{A}$ bulanık kümesine, normal bulanık küme ve $\lambda \in [0,1]$ için $\mu_{\tilde{A}}[\lambda x + (1 - \lambda)y] \geq \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(y)\}$ şartını sağlayan bir $\tilde{A}$ bulanık kümesine, konveks bulanık küme denir [12].

2.2. Bulanık Küme İşlemleri

2.2.1. Birleşim

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, X evreninde tanımlı iki bulanık küme olsun ve bu kümelerin üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ şeklinde verilsin. Bu iki kümenin birleşimi bu iki üyelik fonksiyonunun en büyük olanıdır [13]. Birleşim işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir ;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \cup \mu_{\tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$$

2.2.2. Kesişim

Üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ olan $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi bu iki üyelik fonksiyonunun en küçük olanıdır. Birden fazla küme için de yine bu kural geçerlidir [13]. Kesişim işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir ;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \cap \mu_{\tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$$

2.2.3. Tümleyen

Tümleyen bir kümenin dışındaki değerleri ifade eder. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için tümleyen işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir ;

$$\mu_{\tilde{A}'}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$$

2.2.4. Kapsama

$\forall x \in X$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$ şartının sağlandığı durumlarda $\tilde{A}$ bulanık kümesi $\tilde{B}$ bulanık kümesi tarafından kapsanır ifadesi kullanılır.

Bu ilişki matematiksel olarak $\tilde{A} \subset \tilde{B}$ şeklinde ifade edilir.

2. 3. Üyelik Fonksiyonu

Bulanık kümede , küme elamanları 0 ile 1 aralığında üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Diğer bir deyişle , 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öge için değeri üyelik derecesi olarak adlandırılırken, üyelik derecelerinin bir alt küme içindeki değişimlerine ise üyelik fonksiyonu denilmektedir. Böylece üyelik fonksiyonu altında toplanan üyeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahip olurlar [14].

Genel olarak küme üyelerini değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu adı verilir. Üyelik fonksiyonu grafiğinde x eksenini üyeleri gösterirken, y eksenini de üyelik derecelerini gösterir [15].

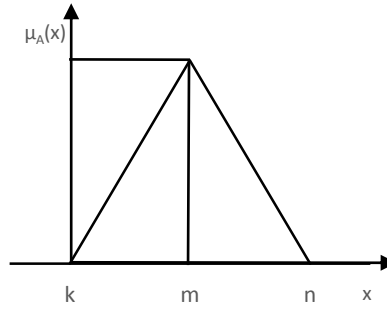
Bulanık kümelerde üyelik dereceleri arasındaki geçiş yumuşak ve sürekli bir şekilde olmaktadır. Pratik uygulamalarda en fazla kullanılan üyelik fonksiyonları

şöyledir, Üçgen üyelik fonksiyonu, Yamuk üyelik fonksiyonu, Gaussian üyelik fonksiyonu, Genelleştirilmiş bell üyelik fonksiyonu [16]. Çalışmada giriş ve çıkış değişkenleri yamuk üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

2.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu k, m, n olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. Fonksiyon şekil 2.1'deki gibidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\mu_{\tilde{A}}(x; k, m, n) = \begin{cases} x - k / m - k, & k \leq x \leq m \\ n - x / n - m, & m \leq x \leq n \\ 0, & x > n \text{ veya } x < k \end{cases}$$

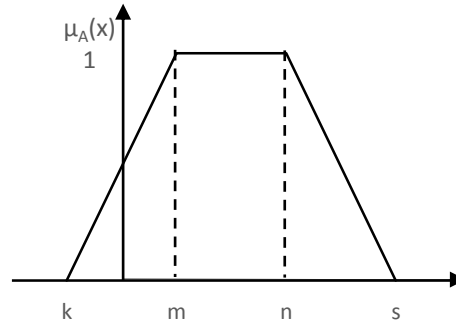


Şekil 2.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu Grafikselsel Gösterimi

2.3.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu k, m, n, s olarak dört parametre ile tanımlanır. Basit formüllere sahip olması nedeniyle uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Yamuk üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 2.2'deki gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; k, m, n, s) = \begin{cases} 0, & x < k \text{ veya } x > s \\ x - k / m - k, & k < x < m \\ s - x / s - n, & n < x < s \\ 1, & x < n \end{cases}$$

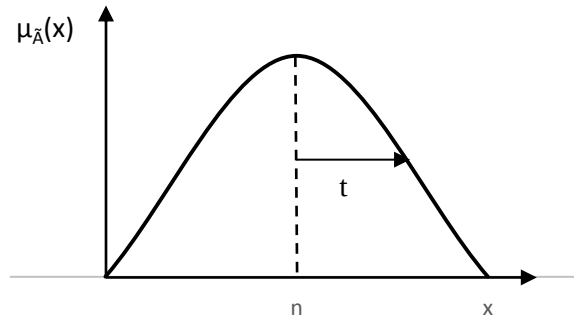


Şekil 2.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu Grafiksel Gösterimi

2.3.3 Gaussian Üyelik Fonksiyonu

x giriş değişkenidir, n üyelik fonksiyonunun merkezidir (üyelik fonksiyonunun maksimum değere ulaştığı nokta) ve t üyelik fonksiyonunun dağılımı ile ilgili bir sabittir [34]. Üyelik fonksiyonu formülasyonu aşağıdaki gibidir. Üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 2.3'deki gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-n}{t}\right)^2\right]$$

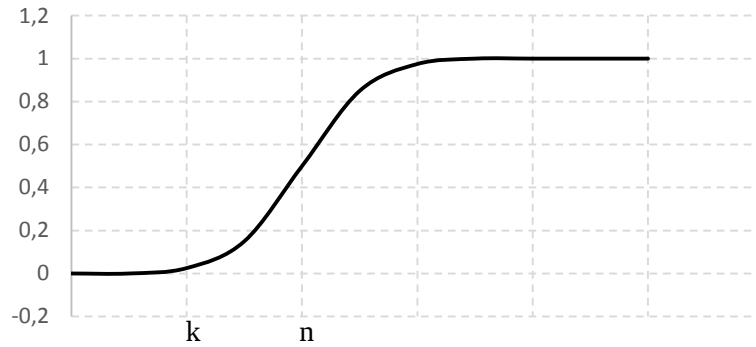


Şekil 2.3 Gaussian Üyelik Fonksiyonu Grafiksel Gösterimi

2.3.4 Sigmoid Üyelik Fonksiyonu

Bir sigmoid tip üyelik fonksiyonu genellikle sağa veya sola açık olur. Sigmoid üyelik fonksiyonunun genel ifadesi aşağıdaki formül ile gösterilir [35]. Sigmoid üyelik fonksiyonu grafiksel gösterimi Şekil 2.4'de sunulmuştur ;

$$f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-k(x-n)}}$$

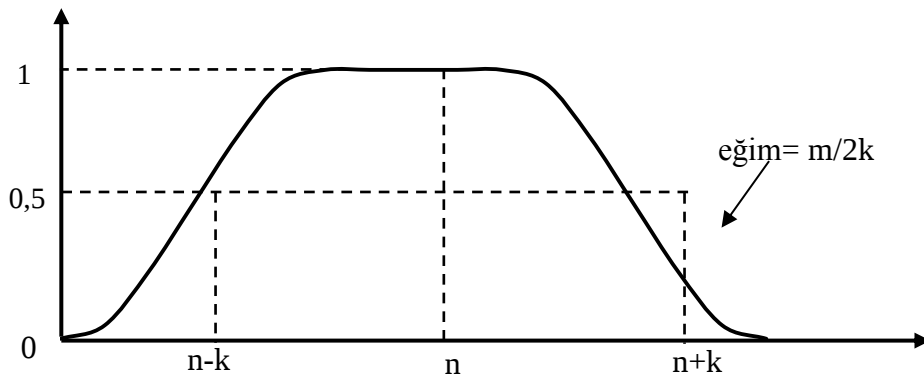


Şekil 2.4 Sigmoid Üyelik Fonksiyonu Grafiksel Gösterimi

2.3.5 Genelleştirilmiş Bell Üyelik Fonksiyonu

Genelleştirilmiş bell üyelik fonksiyonu simetrik bir çana benzer. Bu fonksiyonda üç parametre kullanır ; k, zil benzeri eğrinin genişliğini belirler; m, pozitif bir tamsayıdır; n, eğrinin merkezini belirler [36]. Genelleştirilmiş bell üyelik fonksiyonu grafiksel gösterimi Şekil 2.5’de sunulmuştur ;

$$\text{bell}((x, k, m, n) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - n}{k} \right|^{2m}}$$



Şekil 2.5 Genelleştirilmiş Bell Üyelik Fonksiyonu Grafiksel Gösterimi

2.4 Bulanık Mantık Kullanım Alanları ve Avantajları

Bulanık mantık insan düşünme tarzına uygun olması nedeniyle diğer kontrol sistemlerine göre avantaj sağlamaktadır. Sistem giriş değişkenlerinin bir çoğu insan

dilsel ifadelerinden oluşmaktadır. Bulanık mantık için matematiksel model zorunlu değildir , zamanla değişen ve lineer olmayan sistemler için en iyi çözümdür [15].

Japonya da Hitachi firmasının Sendai’de bir metro sisteminde gerçekleştirdiği bulanık kontrol sistemi başarılı olduktan sonra bulanık sistem uygulamaları Japonya’da yaygınlaşmıştır. Panasonic firması tarafından tasarlanan video kayıt cihazının elde tutulduğunda titreşimden kaynaklı bulanıklığın giderilmesi , Subaru ve Nissan firmalarının gerçekleştirdikleri vites sisteminde araba kullanılış stiline ve motor yüküne uygun dişli oranının seçimi, yine Nissan tarafından gerçekleştirilen ABS fren sistemleri, Hitachi ve Mitsubishi firmalarının asansör denetim sistemleri, Matsushita firmasının tasarımını gerçekleştirdiği çamaşır makinasında çamaşırların kirliliğine, ağırlığına ve kumaşın cinsine göre yıkama programı seçme bulanık mantığın kullanıldığı farklı uygulamalardan birkaç tanesidir. Bunun yanında Tokyo Institute of Technology'den M.Sugeno ses komutlarıyla bir helikopteri hareket ettiren ve hatta pilotlar için bile güç olan aracı havada sabit tutmayı başaran karmaşık bir bulanık kontrol sistemi tasarlamıştır. Bunun yanı sıra son zamanlarda lineer olmayan ve parametreleri zamanla değişen biyolojik proseslerin bulanık kontrolü ve modellenmesinde kullanılmaktadır [18].

Bulanık mantık biyoloji ve tıp biliminde , yönetim ve karar desteklerinde , ekonomi ve finans , çevre bilimi , mühendislik ve bilgisayar bilimlerinde, araştırma çalışmalarında , kalıp tanıma ve sınıflandırılması , psikoloji , güvenilirlik ve kalite kontrolü alanlarında sıkça kullanılmaktadır.

2.5 Bulanık Kural Tabanlı Sistem

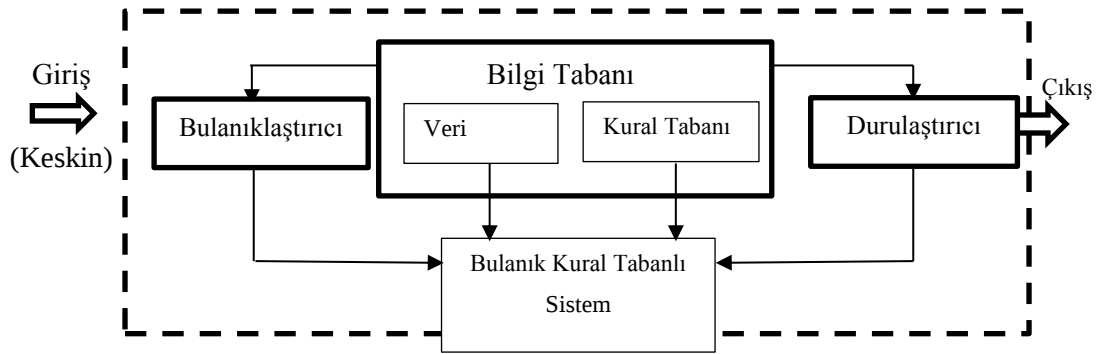
Bulanık çıkarım, bulanık mantık vasıtasıyla girdilerden çıktı elde etme işlemidir. Bulanık çıkarım daha önceki bölümlerde anlatılan bulanık üyelik fonksiyonlarının, üyelik değerlerinin, eğer-ise kurallarının ve bulanık mantık operatörlerinin kullanıldığı bir işlemdir. Bulanık kural tabanlı sistemde kullanılan birden fazla model vardır. Bunların en çok kullanılanları Mamdani , Larsen , Tsukamoto ve Takagi-sugeno-kang çıkarım modelleridir [19].

Bulanık kural tabanlı sistem giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parçalı ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir bütün halinde

davranmasını sağlayan bir mekanizmadır. Bu metot her bir kuralın sonuçlarını değerlendirir, harmanlar ve bir araya toplayarak tüm sistemin girdilere göre nasıl bir çıktı vereceğini belirler [20].

Yapay zeka alanında makinalarda bilginin işlenmesinde farklı bir yol ise bilginin dilsel ifadeler ile sunulmasıdır. Bir dilsel ifadede “eğer , ise“ kelimeleri ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan “eğer , ise“ kelimeleri arasında bulunan kısma ön şart , “ise” kelimesinden sonraki kısma ise çıkarım adı verilir [21].

Bulanık kural tabanlı sistem adımları şu şekildedir; ilk adımda bulanıklaştırma işlemi uygulanır, sonrasında çıkarım işlemi için uygun yöntemler uygulanır ve en sonda durulaştırma işlemi uygulanır (Şekil 2.6). Bu adımlar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 2.6 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Çalışma Mekanizması.

2.5.1 Bulanıklaştırma

Kural tabanlı bulanık sistem tasarımındaki ilk işlem bulanıklaştırmadır. Bu adımda sistemin kesin girişleri bulanıklaştırılarak sisteme tanımlanır. Bu giriş değişkenleri

sistemden gelen geri besleme işaretleri olabileceği gibi , dışardan gelen komutlar da olabilir. Sistemin kesin giriş değişkenleri için bulanıklaştırma adımında üyelik değerleri belirlenir ki aynı zamanda bu değerler bulanık kümedeki bulanıklık derecelerini gösterir [22].

Bulanıklaştırma özetle giriş değişkenlerinin sahip olduğu keskin değerlerin karar vericinin belirleyeceği değişken tipine göre belirlenmiş (üçgen, yamuk, gauss, v.b.) üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile bulanık değerlere dönüştürülmesi işlemidir. Bulanık çıkarım mekanizmasında bulanık kümeler üzerinde işlemlerin yapılabilmesi için ilk olarak bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilmelidir. [23].

2.5.2 Bulanık Kural Değerlendirmesi

Bulanıklaştırma adımı sonrasında tanımlanan giriş değişkenleri önceden sistem tasarımcısı tarafından belirlenen kurallara göre işleme alınır. Bulanık kural tabanı “eğer , ise” yapısına sahip bulanık kurallardan meydana gelir. Bulanık kurallar bulanık sistemin girişleri ve çıkışları arasındaki bağlantıyı sağlarlar ve çıkışlar tanımlanan kurallara göre belirlenir. “k” ve “m” giriş değişkenleri ile “s” çıkış değişkeni , olmak üzere iki giriş tek çıkış değişkeni bulunan bir bulanık mantık sistemi için örnek bir bulanık kural (P_i) şu şekilde elde edilir;

P_i : Eğer k A ise ve m B ise o halde s C’dir; (Değişkenler için farklı ağırlıklar (w) ile tanımlanabilir)

Örnek olarak verilen bulanık kuralda “A” ve “B” giriş değişkenlerine ait bulanık kümeleri ve “C” ise çıkış değişkenine ait bulanık kümeyi ifade eder. Bulanık kural sonunda yazılan “w” değişkeni ise ilgili bulanık kuralın ağırlığını ifade eden bir değişkendir ve bulanık kuralların tanımı gereğince genellikle [0, 1] değer aralığındadır [23].

2.5.3 Bulanık Çıkarım Süreci

Bulanık çıkarım mekanizması bir bulanık sistemin en önemli birimidir ve genel olarak insanın karar verme kabiliyetine paralel biçimde çıkarım yapar. Çıkarım mekanizması girişleri dikkate alarak bulanık kural tabanındaki tasarlayıcının belirlediği kurallara göre giriş değişkenleri için çıkış değişkenlerini hesaplar. Bulanık çıkarım mekanizması için

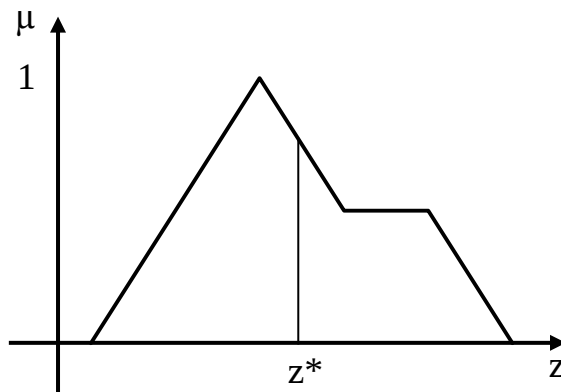
birçok model bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan Mamdani çıkarım yöntemidir. Bu tez kapsamında bulanık kural tabanlı sistem için “Mamdani çıkarım mekanizması” kullanılmıştır.

2.5.4 Durulaştırma

Kural tabanının sonucu ile elde edilen bulanık çıkış değerlerinin tekrardan kesin değerlere dönüştürüldüğü aşamadır. Bu işlem kullanılan bulanık sistem modeline göre (Mamdani, Sugeno vs.) değişkenlik göstermektedir. Mamdani tipindeki bulanık süreçte çıkışlar merkezi eğilim, maksimum noktası, ağırlık merkezi gibi yöntemlerle hesaplanırken Sugeno tip süreçlerde $ax + by + r$ şeklindeki doğrusal denklemlerle hesaplanırlar. Durulaştırma işlemi için literatürde değişik yöntemler kullanılmaktadır. En çok kullanılan yöntemler ağırlık merkezi, ağırlıklı ortalama ve maksimum durulaştırma yöntemlerdir [24].

2.5.4.1 Ağırlık Merkezi Durulaştırma Yöntemi

Bu durulaştırma yönteminde bulanık çıkarım mekanizması sonucunda elde edilen alanların ağırlık merkezi bulunur. Ağırlık merkezi durulaştırma yönteminin avantajı sezgisel yaklaşıma yakın olmasıdır. Matematiksel hesaplamanın yoğun oluşu bu yöntemin dezavantajıdır [24]. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi grafiksel gösterimi Şekil 2.7’deki gibidir;



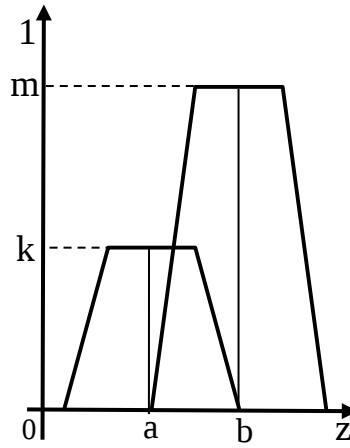
Şekil 2.7 Ağırlık Merkezli Durulaştırma Yöntemi Grafiksel

Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi matematiksel modeli aşağıdaki gibidir;

$$Z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_c(z) dz}$$

2.5.4.2 Ağırlıklı Ortalama Durulaştırma Yöntemi

Bu yöntemde durulaştırma tüm bulanık değerler ve üyelik dereceleri kullanılarak yapılır. Her bir üyelik fonksiyonunun, kendisinin maksimum değeri ile ağırlıklandırılmasıyla çıkış değeri hesaplanır [24]. Bu yöntem en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Avantajı matematiksel hesaplanmanın kolay olması ve sezgisel mantığa yakınlığıdır [23]. Grafikselsel gösterim Şekil 2.8’de verilmiştir ;



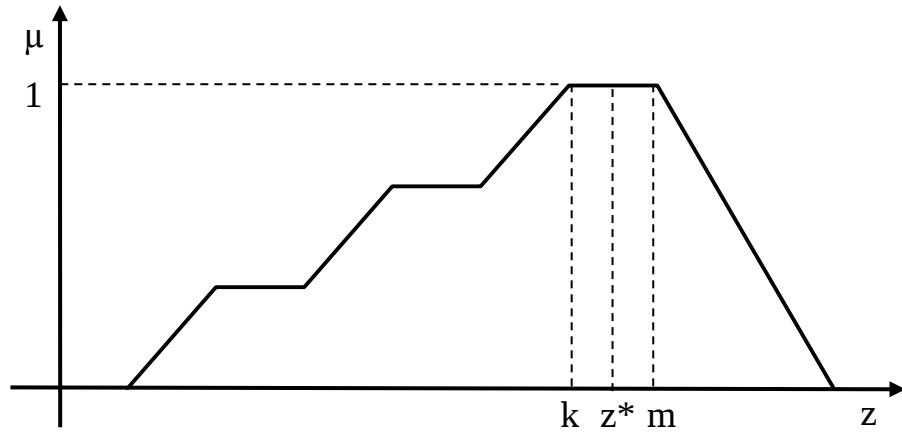
Şekil 2.8 Ağırlıklı Ortalama Durulaştırma Yöntemi Grafikselsel Gösterimi

Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi matematiksel modeli aşağıdaki gibidir ;

$$Z^* = \frac{ka + mb}{k + m}$$

2.5.4.3 Maksimumların Ortalaması Durulaştırma Yöntemi

Bu durulaştırma yönteminde ilk olarak elde edilen birleştirilmiş alan için en yüksek üyelik derecesine sahip aralık belirlenir. Sonrasında üç değişik yöntem kullanılarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. İlk yöntemde en yüksek üyelik derecesine sahip aralığın ilk değeri, ikinci yöntemde en yüksek üyelik derecesine sahip aralığın orta değeri ve üçüncü yöntemde ise en yüksek üyelik derecesine sahip aralığın son değeri durulaştırılmış keskin sonuç değeri olarak elde edilir [24]. Grafikselsel gösterim Şekil 2.9’da verilmiştir ;



Şekil 2.9 Maksimumların Ortalaması Durulaştırma Yöntemi Grafiksel Gösterimi

Maksimumların ortalaması durulaştırma yöntemi matematiksel modeli aşağıdaki gibidir;

$$z^* = \frac{a + b}{2}$$

2.5.6 Mamdani Çıkarım Yöntemi

Mamdani bulanık çıkarımı en sık görülen bulanık metodolojidir ve bulanık küme teorisi kullanılarak yapılan ilk kontrol sistemleri arasındadır. Yöntem 1975 yılında Ebrahim Mamdani tarafından, deneyimli personellerden sağlanan dilsel ifadelerle dayanan kuralları sentezleyerek bir buhar motorunun kontrolü için geliştirilmiştir. Mamdani'nin gerçekleştirdiği bu çalışma, Lotfi Zadeh'in 1973'te karmaşık sistemler ve karar süreçleri için bulanık algoritmalar üzerine yazdığı makaleye dayanmaktadır [33]. Mamdani çıkarım yönteminde bulanık girdi ve çıktı değişkenlerine göre çıkarım sistemi tasarlanır ancak çıkarım sistemi çalıştırılırken girdi değişkenlerinin keskin değerleri kullanılır.

Mamdani çıkarım yöntemi 4 adımda uygulanır ve bu 4 adım 2 girişli ve tek çıkışlı bir örnek üzerinden aşağıda anlatılmıştır, örnekte 3 kural tanımlanmıştır ;

Kural-1 : EĞER $x=K3$ **veya** $y=M1$ **İSE** $z=P1$

Kural-2 : EĞER $x=K2$ **ve** $y=M2$ **İSE** $z=P2$

Kural-3 : EĞER $x=K1$ **İSE** $z=P1$

Kurallar dilsel ifadeler ile şu şekilde tanımlanır ;

Kural-1 : EĞER MTTR iyi **veya** ekipman yeni **İSE** "C" kritiklik seviyesi

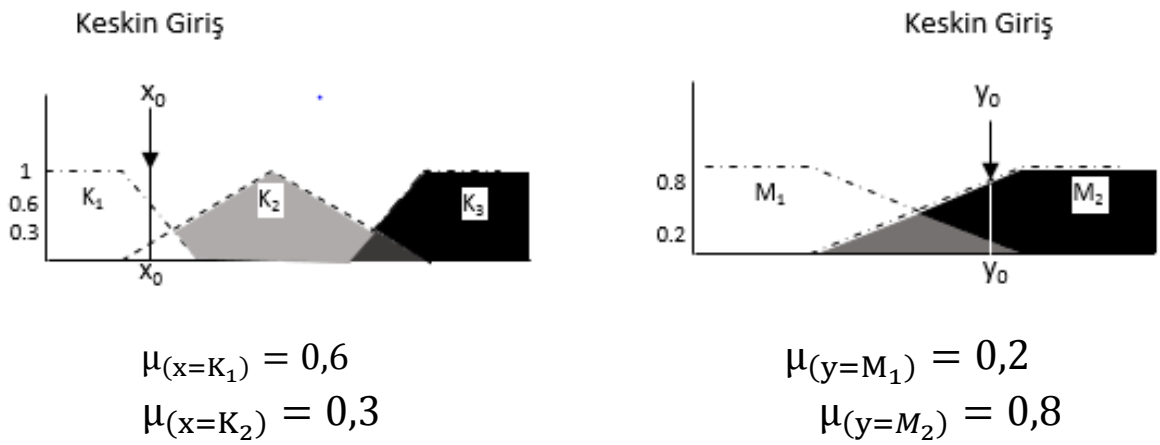
Kural-2 : EĞER MTTR normal **ve** ekipman yaşı **İSE** “B” kritiklik seviyesi

Kural-3 : EĞER MTTR kötü **İSE** “A” kritiklik seviyesi

Adım 1: Bulanıklaştırma

İlk adım, keskin girdilerin (MTTR ve Ekipman Ömrü) ele alınarak ve uygun bulanık kümelerin her birine ait olduğu dereceyi belirlemektir. Şekil 2.10 'a göre;

$$\mu_{K_1}(x)=0.6, \mu_{K_2}(x)=0.3, \mu_{M_1}(y)=0.2, \mu_{M_2}(y)=0.8$$



Şekil 2.10 Bulanıklaştırma Adımı Grafik Gösterimi

Adım 2: Mamdani çıkarım yöntemi

İkinci adımda, bulanık girdiler ele alınır ($\mu_{(x=K_1)} = 0.6$, $\mu_{(x=K_2)} = 0.3$, $\mu_{(y=M_1)} = 0.2$, $\mu_{(y=M_2)} = 0.8$) ve bunlar bulanık kuralların öncüllerine uygulanır. Belirli bir bulanık kuralın birden fazla öncülü varsa, bulanık operatör (VE / VEYA) kullanılır.

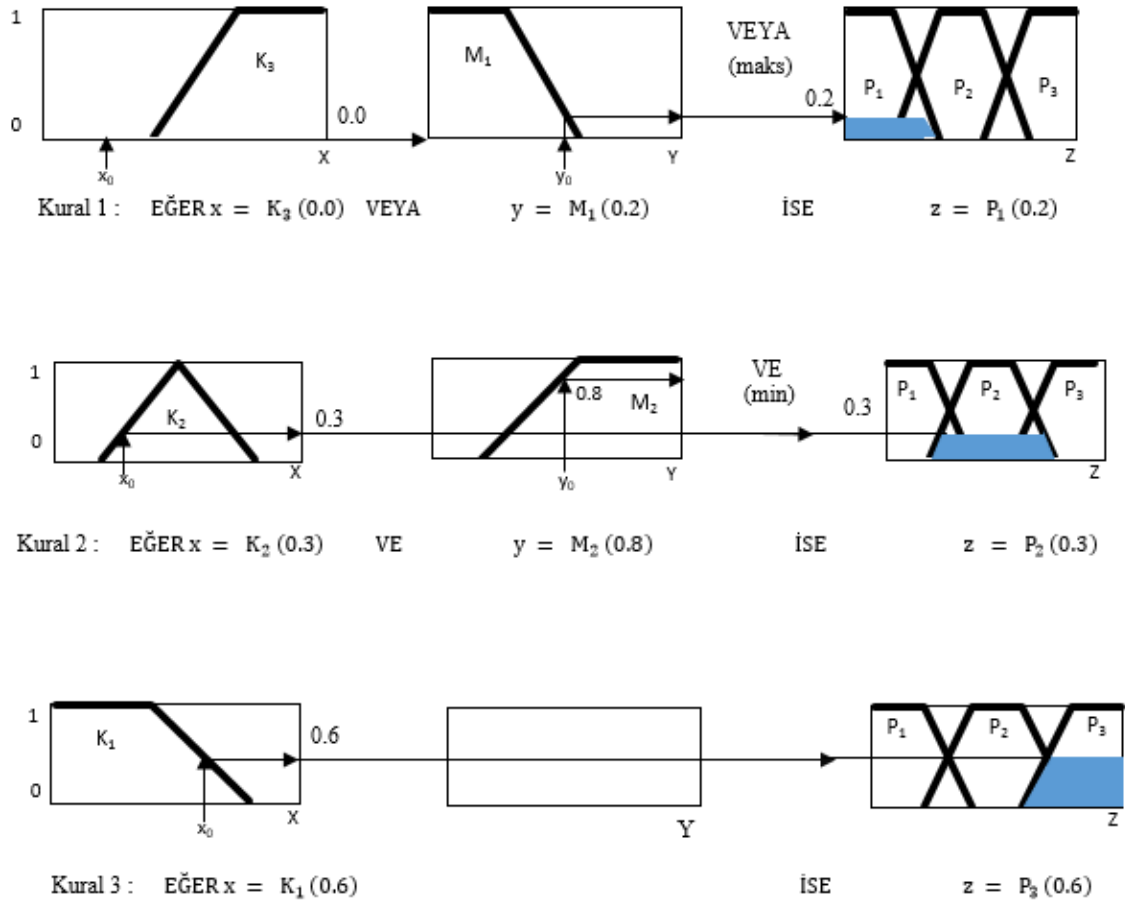
Kural öncüllerinin ayrılık durumunun değerlendirilmesinde “VEYA” operatörü kullanılır.

$$\mu_{K \cup M}(x) = \max [\mu_K(X), \mu_M(X)]$$

Kural öncüllerinin birbiri ile ilişkilerinin değerlendirilmesinde “VE” operatörü kullanılır.

$$\mu_{K \cap M}(x) = \min [\mu_K(X), \mu_M(X)]$$

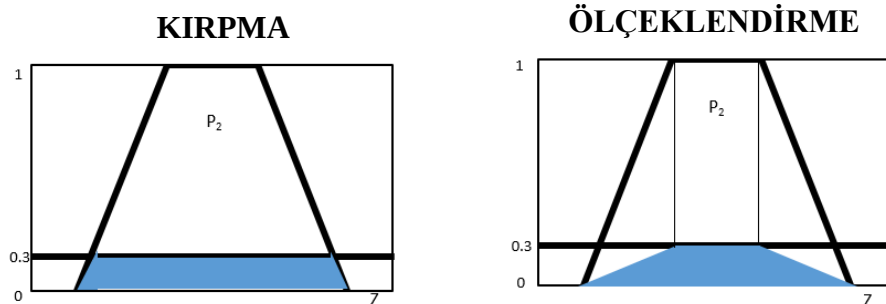
Şekil 2.11’de kuralların değerlendirme sürecinin grafiksel gösterimi sunulmuştur;



Şekil 2.11 Kuralların Değerlendirilmesi Grafik Gösterim

Bulanık kuralların işleyişinde en çok kullanılan çıkarım metotlarından iki tanesi Ölçeklendirme (Max – Dot) ve Kırpma (Min Max) metotlarıdır.

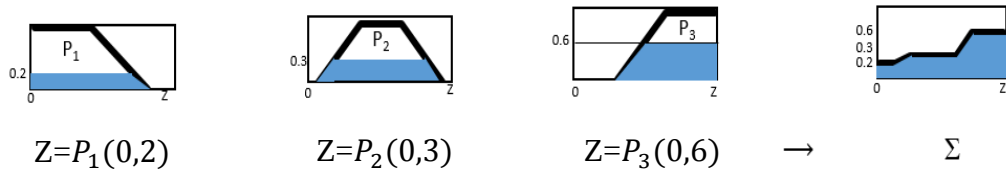
Kırpma metodunda üyelik fonksiyonunun üst kısmı kesildiğinden veri kaybı yaşanır. Yöntem , daha basit yapıda oluşu , hızlı hesaplanabilmesi ve durulaştırma sonuçlarının daha kolay elde ediliyor olması nedeniyle avantajlıdır. Daha karmaşık yapıya sahip ölçeklendirme metodu kümenin orijinal halini koruması ve veri kaybının daha az olması nedeniyle avantajlıdır. Kırpma ve ölçeklendirme metotlarının grafiksel gösterimi Şekil 2.12’de sunulmuştur ;



Şekil 2.12 Kırpma ve Ölçekleme Grafik Gösterim

Adım 3: Kural Çıktılarının Birleştirilmesi

Birleştirme, tüm kuralların çıktıların birleştirme sürecidir. Daha önce kırılmış veya ölçeklenmiş tüm kural sonuçlarının üyelik işlevlerini alıyoruz ve bunları tek bir bulanık küme halinde birleştiriyoruz. Kural çıktıların birleştirilme adımının grafiksel gösterimi Şekil 2.13’de sunulmuştur ;



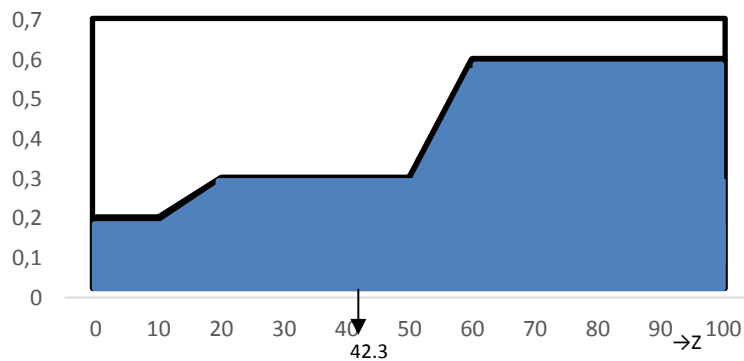
Şekil 2.13 Kural Çıktılarının Birleşimi Grafiksel Gösterim

Adım 4: Durulaştırma

Bulanık bir sistemin son çıktısı keskin bir sayıdır. Durulaştırma işleminin girişi bulanık bir küme, çıkışı ise tek bir sayıdır. Ağırlık merkezi metodunun uygulandığı durulaştırma işlemi için hesaplama ve grafiksel gösterim (Şekil 2.14) aşağıdaki gibidir ;

$$COG = \frac{(0+10+20) \times 0.2 + (30+40+50+60) \times 0.3 + (70+80+90+100) \times 0.6}{0.2+0.2+0.2+0.3+0.3+0.3+0.3+0.6+0.6+0.6+0.6}$$

$$= 42.3$$



Şekil 2.14 Durulaştırma Grafiksel Gösterim

2.5.7 Takagi-Sugeno-Kang Modeli

1985 yılında sunulan bu yöntem birçok bakımdan Mamdani yöntemine benzer. Bulanık çıkarım işleminin ilk iki kısmı olan girişleri bulanıklaştırma ve bulanık operatörü uygulama burada da aynıdır. Mamdani ve Sugeno arasındaki temel fark, Sugeno çıktı üyeliği fonksiyonlarının doğrusal veya sabit olmasıdır [29].

Çıktı değişkeni bulanık kümeye ait olmadığından bu modelde durulaştırma adımı kullanılmaz. Yaygın kullanımının sebebi kullanımının basit oluşu ve sayısal veriler kullanıldığında başarılı sonuçlar vermesi kaynaklıdır. “ s_{ij} ” doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlanan çıktı değişkenin parametreleridir. “ s_{ij} ” parametresi her kural için farklı değerdedir. Başlangıçta parametreler için rastgele değerler verilir. “ s_{ij} ” değerleri kullanılarak çıkış değişkenlerinin değerleri hesaplanır ve ardından gözlem değerleri ile karşılaştırılır. İstenilen durum hesaplanan değer ile gözlem değeri arasındaki hata oranının düşük olmasıdır. Hata oranı yüksek olursa “ s_{ij} ” değerleri değiştirilerek işlem tekrarlanır [37].

Bir Sugeno bulanık modelinde kural şu şekilde tanımlanır ;

$$\text{EĞER } (x = K_1) \text{ ve } (y = M_1) \text{ ise } (z = s_{10} + s_{11}x + s_{12}y)$$

$$\text{EĞER } (x = K_2) \text{ ve } (y = M_2) \text{ ise } (z = s_{20} + s_{21}x + s_{22}y)$$

2.5.8 Singleton Modeli

Singleton modelinde bulanık kural tabanındaki bulanık kuralların sonuç kısmında sabit keskin değerler bulunur. Bu yapı Mamdani ve Takagi-Sugeno tipi modellerin özel bir biçimidir [30]. Modelin kural yapısı aşağıdaki gibidir ;

P_1 : Eğer $x = K_1$ ve $y = M_1$ ise o halde $z = T_1$ 'dir.

P_2 : Eğer $x = K_2$ ve $y = M_2$ ise o halde $z = T_2$ 'dir.

2.5.9 Larsen Modeli

Larsen modelinin Mamdani modelinden ayıran özellik , sonuç kısmında bulanık kümenin oluşturulmasında “çarpım” işlemini kullanmasıdır [37]. İşlemin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir ;

$$\mu_T(z) = w * \mu_T(z)$$

Larsen yöntemine ait kural yapısı aşağıdaki gibidir ;

$$\text{EĞER } (x = K_1) \text{ ve } (y = M_1) \text{ ise } (z = T_1)$$

$$\text{EĞER } (x = K_2) \text{ ve } (y = M_2) \text{ ise } (z = T_2)$$

2.5.10 Tsukamoto Modeli

Tsukamoto modeli Sugeno modelinin değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Tsukamoto yönteminde, eğer-ise kurallarının sonucu, monoton üyelik fonksiyonuna sahip bulanık bir küme ile temsil edilmelidir [32]. Tsukamoto modeli diğer modellere göre daha az tercih edilir. Bunun nedeni kullanım zorluğu ve matlab gibi bilgisayar programları tarafından desteklenmemesi kaynaklıdır [37].

Tsukamoto modeli kural yapısı aşağıdaki gibidir ;

EğER ($x = K_1$) ve ($y = M_1$) ise ($z = T_1$)

EğER ($x = K_2$) ve ($y = M_2$) ise ($z = T_2$)

3. BÖLÜM

LİTERATÜR ALIşMALARI

Tez kapsamında güvenilirlik merkezli bakım stratejisinin en önemli adımı olan makine veya ekipman kritiklik analizi çalışmasının kural tabanlı bulanık mantık sistem tasarımı ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Makine veya ekipman kritiklik analizinin belirlenmesinde sayısal giriş değişkenlerine ek olarak sayısal ifade edilemeyen personel tecrübelerini yansıtan ve sadece dilsel ifade edilebilen birden fazla giriş değişkeni bulunmaktadır. Güvenilir bir analiz çalışması için değerlendirme aşamasında bu dilsel ifadelerin karar mekanizmasında değerlendirilmesi gerekir. Literatür araştırması bakım

alanında bulanık mantık modelinin kullanıldığı uygulamalara ağırlık verilerek gerçekleştirilmiştir.

No	Yazar (Yıl)	Uygulama Konusu	Yöntem
[]	Faris (2008)	DC Motor Kontrolü	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Sahoo et al. (2014)	Önleyici Bakım Periyodunun Belirlenmesi	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Yıldırım vd. (2007)	Zemin Sınıflandırması	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Ranga et al. (2016)	Transformatör İşlevsellik Durumunun Tanımlanması	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Niraj ve Kumar (2011)	Makineler için Uygun Bakım Uygulamaları	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Sudarsanam (2014)	Kompresör Bileşenleri için Bakım Maliyetini Azaltma	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Rezazadeh (2014)	Yüksek Bakım Maliyetlerini Düşürme Amaçlı Kestirimci Bakım Modeli	Hibrit Analitik Ağ İşlemi Modeli (ANP)
[]	Felecia (2014)	Güvenilirlik Merkezli Bakım Yaklaşımı	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Alışkan ve Ünsal (2016)	Senkron Motorun Hız Kontrolü	C# Görsel Programlama Dili ile Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı
[]	Öztürk ve Paksoy (2016)	Trafik Işıklarının Yanma Sürelerinin Optimize Edilmesi	C# Görsel Programlama Dili ile Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı
[]	Afzali et al. (2018)	İşletmelerdeki Enerji Dağıtım Sistemlerine Uygulanacak Bakım Faaliyetlerinin	WI Güvenilirlik Endeksleri
[]	Ratnayake ve Antosz (2017)	Riske Dayalı Bakım (RBM)	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Vafaei et al. (2019)	Durum Bazlı Bakım Stratejisinin Geliştirilmesi	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı

[]	Gupta ve Mishra (2018)	Kritiklik Analizinin Gerçekleştirilmesi	Analitik Ağ İşlemi Modeli (ANP)
[]	Mazurkiewicz (2015)	Konveyörlü Taşıma Sistemlerinde Meydana Gelen Bozulma Durumlarının Tespiti ve Önlenmesi	Bulanık Kural Tabanlı Sistem Tasarımı
[]	Vishnu ve Regikumar (2016)	Güvenilirlik Merkezli Bakım Stratejisinin Uygulanması	AHP Tabanlı Güvenilirlik Merkezli Bakım Stratejisi

Faris [] bir dc motorun doğrusal olmayan durumlardaki kontrolünün gerçekleştirilmesi için bulanık mantığa başvurmuştur . Gerçekleştirilen çalışmada dc motor hız kontrolü için bulanık mantık sistemi geliştirilmiş ve sistem matlab programında modellenmiştir. Dc motorun kontrolünde beklenti kararlı çalışma, yüksek performans ve güvenilir olması şeklindedir. Bunun en etkin ve en ucuz yöntemi bulanık mantık olarak gösterilmiş ve bu durum matlab programında sistem modeli üzerinde yapılan analizler ile ispatlanmıştır. Motor akımının ve hızının ayarlanması hedeflenen simülasyonda çıkış değişkeni olarak motorun hızı , referansa göre hata oranı belirlenip çıkış bulanık kümesi tasarlanmıştır. Modelin simülasyonuna göre akım ve açısal hız eğrileri elde edilmiştir. Bulanık kontrolör klasik bir kontrolör ile karşılaştırıldığında açısal hız değişimi, yerleşme zamanı ve maksimum aşım parametreleri yönünden daha iyi performansa sahiptir.

Sahoo et al. [] çalışmalarında bakım organizasyonlarında önleyici bakım aralığının ne olması gerektiği sorusuna bulanık mantık ile cevap aramışlardır. Arıza durumunun gerçekleşme zamanı sadece koşul bazlı durumların kontrolü ile belirlenemez. Çalışmada bir ekipmanın yeni ve anlık durumundaki farklılığın belirlenmesinde sayısal veriler ile ifade edilemediği veya bu verilerin yeterli olmadığı durumlarda doğru karar sisteminin oluşturulması için en iyi yöntemlerden biri bulanık mantık olarak gösterilmiştir. Bir işletme için hayati önem taşıyan kompresör üzerinde gerçekleştirilen çalışmada doğru bakım planının oluşturulmasında ilk adım arıza durumlarının kritiklik analizi ile başlar. Bu değerlendirme arızanın etkisi ve arızanın olasılığı şeklindeki 2 giriş değişkenine göre yapılır. Ardından belirlenen olası kritik arıza durumunun gerçekleşme zamanının tahminine yoğunlaşmıştır. Zaman tahmininde insan faktörünün değerlendirme kriteri olarak ele alınması için bulanık kural tabanlı sistem kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmadaki amaç makine kullanılabilirliğini arttırıp , maliyeti optimize etmektir.

Yıldırım vd. [] tarafından zemin sınıflandırmasında bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. 3 farklı elek no , likit limiti ve plastisite indisi grup indeksi şeklinde 6 giriş değişkeni ve zemin sınıfı şeklinde 1 çıkışlı oluşturulan bulanık kural tabanlı sistemde giriş değişkenleri dilsel olarak ifade edilip üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Matlab programının kullanıldığı çalışmada giriş değişkenleri tanımlandıktan sonra kurallar belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda AASTHO (Amerikan devlet otoyolları ve resmi taşımacılık birliği) sınıf tanımlama sistemi ile , tasarlanan bulanık mantık sisteminin sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların aynı çıktığı ifade edilmiştir. Buda zemin sınıflandırmasında tasarlanan kural tabanlı bulanık tabanlı sistemin kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Ranga et al. [] arıza durumunda bir işletmenin tamamen durmasına neden olabilecek transformatörlerin işlevsellik durumlarının tanımlanmasında bulanık mantık yönteminden yararlanmışlardır. Transformatörün durum değerlendirmesi gerçekleştirilecek test ve ölçümler , görsel incelemeler ,bakım ve işletme geçmişi , tasarım ve imalat kriterlerine göre yapılır. Bu girdi değişkenlerinin kesin matematiksel modeller ile ifade edilmesinin yerine bulanık mantık yaklaşımı ile dilsel olarak tanımlanması ile daha güvenilir bir durum tespiti hedeflenmiştir. Bunun yanında bulanık mantık belirsiz bilgilerin tanımlanmasında avantaj sağlamıştır. Mevcut modelde dört

girdiye dayanarak toplam kırk kural oluşturulmuştur. Bulanık kuralların tasarımında giriş 1 için en yüksek öncelik verilmiştir. Bunun nedeni gerçekleştirilen test ve ölçümlerin transformatör işlev durumu için en önemli değişken olmasıdır. Modelde her giriş değişkeni düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde 4 kriterde değerlendirilmiştir. Model çıktısı 0-1 aralığında tanımlanmış olup transformatör işlevsellik durumunu gösterir.

Niraj ve Kumar [] tarafından gerçekleştirilen çalışma makineler için uygun bakım uygulamalarının bulunmasını hedeflemiştir. Bir ürünün başarısı optimum üretim maliyeti ile doğru orantılıdır. Üretim maliyetini etkileyen önemli unsurlardan bir tanesi ise üretim makinelerinin tam kapasite kullanımını sağlayarak verimli ve etkili üretim yapabilmektir. Çalışmada bulanık mantık temelli bir bakım stratejisinin seçim nedeni çok değişkenli parametrelere sahip sistemlerde doğru karar sisteminin belirlenmesinin istenmesidir. Bulanık kural tabanlı sistemin kullanıldığı çalışmada modelleme matlab programı aracılığıyla yapılmıştır. Modelde duruş süresi ve arıza sıklığı şeklinde 2 giriş değişkeni üçgen üyelik fonksiyonları ile , çıkış değişkeni ise uygulanacak bakım modelleri şeklinde tanımlanmıştır. Ardından oluşturulan kurallara göre model uygun bakım stratejisinin belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışma bakım maliyetlerinin ve sürelerinin azaltılmasına yönelik iyi bir uygulama örneğidir.

Sudarsanam [] karmaşık makinelerden olan kompresör üzerindeki arıza riskine sahip bileşenler için eski bakım deneyimlerini ve çalışma koşullarını değerlendirerek uygun bakım planının seçimi ile bakım maliyetlerini azaltmayı hedeflemiştir. Kompresörün 2 önemli parçası olan piston segmanı ve yağ sızdırma segmanı için gözlem verilerine dayanılarak durum değerlendirilmesinin yapılmasında bulanık kural tabanlı sistem modellemesi kullanılmıştır. Çalışma 4 adımda gerçekleşmiştir. Birinci adımda segman aşınma durumu ve sıcaklığı şeklinde giriş değişkenleri tanımlanır. İkinci adımda sonuçların elde edileceği metodoloji geliştirilir. Üçüncü adımda kompresör hasar durumu belirlenir. Son aşamada hasarı minimize edecek uygun bakım yaklaşımı seçilir. Çalışmanın sonunda geleneksel yöntem ile bulanık mantık ile geliştirilen yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır ve bulanık mantık yaklaşımının daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Rezazadeh [] İran’da bir otomobil yedek parça üreticisinin yüksek bakım maliyetlerini düşürmeye amaçlayan bulanık sinir ağına ve çok kriterli karar verme yaklaşımına dayanan bir kestirimci bakım modeli kullanmıştır. Kestirimci bakım modeli arızanın önceden tahmin edilip öncesinde önlenmesi açısından önemli bir uygulamadır. Sonuçlar bakım maliyetlerde %42 düşüş olduğunu göstermektedir. Arıza tespit metodolojisinde ilk adım kritik parçalardan enjeksiyon basıncı, sıkma kuvveti, su sıcaklığı, manifold sıcaklığı, vida çapı gibi gerçek zamanlı proses bilgilerinin edinilmesi ile başlar. İkinci adım edinilen bilgiler ışığında teşhisin yapılmasıdır. Son adım operatörlerin bilgilendirilmesi, alarmların yükseltilmesi, ekipmanların kapatılması, yüksek katmanlı korumaların etkinleştirilmesi, montelenmesi ve araçları normal durumuna geri getirilmeye çalışılması gibi çıkarım değerlerine göre eylemler almaktır. Bu çalışmada, bir hibrit analitik ağ işlemi modeli (ANP) ve arıza sürelerini tahmin edip kontrol eden bulanık nöral ağlar tasarlanmıştır. Bu amaçla, kalıp imalat hatalarına etkileyen 6 faktör değerlendirmeye alınmıştır. Engellilik periyodunu hesapladıktan sonra ağın çıktı analizi, bulanık nöral ağların girdi değişkeni olarak kabul edildi. Bulanık nöral ağları kullanarak, 15 günlük sabit zaman dilimine dayanan sonuçlarla karşılaştırıldı.

Felecia [] çalışmasında günümüzün en etkin bakım stratejisi olan güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımı ile bulanık mantık yaklaşımını birleştirmiştir. Güvenilir merkezli bakım (GMB)yaklaşımının amacı sistemler için maliyeti ve zamanı optimize ederek doğru bakım modelinin seçimini sağlamaktır. Çalışmada bulanık mantık GMB uygulaması Endonezya’daki bir uluslararası iplik imalatı şirketinde gerçekleştirilmiştir. İplik işleme sürecinde bükme, burma ve sarma makinesi olmak üzere üç çeşit makine kullanılır. Her makine üretimin durmasına neden olan bileşenlere sahiptir. Bu firma önleyici, düzeltici, koşul bazlı ve arıza bakım şeklinde dört çeşit bakım uygulamaktadır. Her bir arıza için bir bakım türünün kullanımı firmadaki bakım personelinin tecrübesine dayanmaktadır. Çoğu zaman GMB karar diyagramında her soruya “evet” veya “hayır” şeklinde bir cevap vermez. Bu problemi çözmek için bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık çıkarım modeli girdi ve çıktı değişkenleri, üyelik fonksiyonu ve if_then kurallarını gerektirir. Bulanık girdi değişkenleri arıza etkisi , arıza modeli, arıza belirtisi şeklindedir. Girdi üyelik fonksiyonu her giriş değişkeni için sözel etiket oluşturarak oluşturulur. Girdi değişkenlerinin kombinasyonlarına dayanan 72 kural vardır. Bu

kurallar bulanık çıktı değişkenlerine dayalı bakım çeşidini belirlemek için kullanılır. Firmada dört çeşit bakım kullanıldığı için çıktı değişkenleri de bunu karşılamak amacıyla eşit bir şekilde bölünmüştür. Bulanık mantık GMB uygulaması sonucu firmada önleyici bakım yüksek arıza etkisi bulunan bileşenlere uygulanmalıdır. Düzeltici bakım arıza modeli belirlenebilen durumlar için uygundur. Arızası tespit edilebilen bileşenler için koşul bazlı bakım kullanılabilir. Arıza durumu önemli olmayan ve arıza modeli tespit edilemeyen bileşenler için uygundur.

Alışkan ve Ünsal [] çalışmalarında bir AC motor tipi olan senkron motorun hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. AC motorlar yapılarında matematiksel olarak ifade edilemeyen ve doğrusal olmayan sistem değişkenlerine sahiptir. Bu nedenle AC motorların kontrolünde bulanık mantık yaklaşımı kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışma diğer çalışmadan farklı bir uygulamaya yer vererek Mamdani, Larsen ve Tsukamoto çıkarım yöntemlerinin kullanarak bulanık mantık kontrolörlerinin farklı çalışma koşullarındaki performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışmada bulanık mantık denetleyici tasarımı MATLAB hazır araç kutusunu kullanmadan kullanıcı tanımlı kodlarla gerçekleştirilmiştir. Denetim işleminde, uzman personeller tarafından oluşturulan dilsel ifadeler ile oluşturulmuş kontrol yapısı kullanılmaktadır. Bulanık sistem bulanıklaştırma, kural tabanlı çıkarım mekanizması ve durulaştırma olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Tasarlanan model sonuçları incelendiğinde , Larsen ve Tsukamoto çıkarım yöntemlerinin kullanıldığı bulanık mantık denetleyiciler daha doğru sonuçlar edilmiştir.

Öztürk ve Paksoy [] çalışmalarında trafik ışıklarının yanma sürelerinin araç ortalama hızları ve birim alandaki araç sayısına göre optimize edilmesine yönelik bir model oluşturmuşlardır. Mamdani bulanık çıkarım yönteminin kullanıldığı modelin giriş değişkenleri hız ve yoğunluk iken çıkış değeri kırmızı ve yeşil ışık yanma süreleridir. Sistem yapısı Visual Studio 2010 ASP.NET ortamında C# Görsel Programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan modelde 9 adet kural belirlenmiştir. Oluşturulan model sonuçları değerlendirildiğinde araç bekleme sürelerinde %30 oranında iyileşme görülmüştür. Çalışmanın sonuç bölümünde modelin pratikte uygulanabilmesi , giriş değişkenlerinin ortamdan otomatik olarak sağlanması durumunda gerçekleşebileceği bildirilmiştir.

Afzali et al. [] çalışmasında işletmelerdeki enerji dağıtım sistemlerine uygulanacak bakım faaliyetlerinin öneminden bahsetmiştir. Bu kapsamda enerji dağıtım sistemlerinde uygulanacak bakım modelinin seçimine yoğunlaşmıştır. Dağıtım sistemlerinde uygulanacak bakım uygulamasında maliyeti düşürmek adına sistem bileşenlerin önceliklendirilmesi gerekir. Amaç en önemli bileşenlere odaklanarak düşük maliyetli bir bakım stratejisi sağlamaktır. Çalışma gerçekleştirdiğimiz tez çalışması ile benzer olarak dağıtım sistem bileşenlerinin önceliklendirilmesi ile ilgilenmektedir. Hesaplamalar matlab programı aracılığıyla yapılmıştır. İlk aşamada bir dağıtım sisteminin dağıtım besleyicilerinin güvenilirliği ile ilgili sayısal çalışmalar yapılmıştır. Sayısal çalışmada besleyicilerin önceliklendirilmesi WI güvenilirlik endeksleri tarafından yapılır. İkinci seviyede ise dağıtım besleyicilerin komponentleri üzerinde bir sayısal önceliklendirme yapılır. Çalışmanın dağıtım sistemi bileşenleri için yeni bir WI güvenilirlik endeksi , dağıtım sistemi bileşenleri için uygun bir RCM önceliklendirme yöntemi ve bakım önceliklendirilmesinin iki seviyede yapılması şeklinde getirdiği 3 yenilik vardır. Bileşenlerin güvenilirlik önem endeksi matlab programında modellenmiştir. WI endeksi en önemli endekstir, çünkü çalışılan tüm güvenilirlik endekslerinin uygun ağırlık katsayıları ile etkisini göz önünde bulundurur. Bu nedenle, WI endeksi değeri ne kadar yüksek olursa, güvenilirlik ve bakım işlemlerinde o kadar büyük önem taşır.

Ratnayake ve Antosz [] bakım maliyetlerini düşürmeyi hedefleyen riske dayalı bakım (RBM) gibi yaklaşımlar üzerine çalışmışlardır. RBM yaklaşımındaki asıl amacı doğru bakım stratejisinin , en efektif bakım periyotlarının ve optimum yedek parça stok miktarının belirlenmesidir. Çalışma Polonya’da ev içi plastik ürünler üreten bir firmanın başarısız giden bakım faaliyetleri sonrası mevcut koşulları değiştirmek için, mevcut bakım modellerini ve stratejilerini değiştirmeye verdiği karar doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Üretici firma bu amaçla riske dayalı bir bakım stratejisi geliştirmeye karar vermiştir. Makine sınıflandırmasında 3 kriter kullanılmıştır. Bunlardan ilk kriter makine zamanı ve kapsamı , ikincisi kullanılabilirlik ve sonuncusu iş güvenliği riskidir. Makinelerin sınıflandırılmasından sonra, makinelerin % 41'inin yüksek öncelikli olduğu , % 34'lerin orta öncelikli olduğu ve % 25'lerin az öncelikli olduğu ortaya çıkmıştır. Makinelerin RBM sınıflandırmasını geliştirmek için bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım kullanmak hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bulanık

çıkartım sistemi için risk matrisini kural tabanı olarak kullanmak mümkündür. Makalede bulanık çıkartım sisteminin kullanıldığı önerilen yaklaşımın herhangi bir bakım onarım yönetim yazılımına entegre edilebileceği ifade edilmiştir.

Vafaei et al. [] çalışmalarında durum bazlı bakım stratejisinin geliştirilmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır. Yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek amacıyla çalışmada bir otomobil firmasının üretim hattındaki örnekten bahsedilmiştir. Durum bazlı bakım modelinde amaç işletme makine ve ekipmanlarının çalışma koşullarını izleyerek ve veriler toplayarak gelecekteki olası arıza kaynaklı duruşların önceden tahminini gerçekleştirip öncesinde önlem almaktır. Bu işlemin zorluğu verilerin her zaman matematiksel olarak ifade edilememesi , çoğu bilginin dilsel ifade edilebilen insan kaynaklı oluşudur. Otomobil üretim tesisinde gerçekleştirilen uygulamada geçmiş arıza verilerinden sonucu en çok etkisinin olduğunu düşündüğümüz dört giriş değişkeni (duruş süresi , normal araba hurda miktarı , premium araba hurda miktarı ve OEE – Ekipman verimliliği) belirlenmiştir. Ardından giriş değişkenleri üç seviyede (yeşil-nominal durum , sarı-sorunlu davranış ve kırmızı-tehlikeli durum) üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Girdi değişkenlerinin tanımlanmasından sonra çıkış değişkeni tanımlanır. Çıkış değişkeni yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı şeklinde dört önem derecesine sahip olacaktır. Geliştirilen örnek uygulamada karar mekanizması için 8 kural oluşturulmuştur. Kural sayısının az olması birçok kuralın birbiri ile örtüşmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışma matlab programı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde geliştirilen bulanık erken uyarı sistemi , hatalı durumlar ile alakalı kesin bilginin bulunmadığı , karmaşık yapıya sahip ve doğrusal olmayan davranış sergileyen sistemlerin durum bazlı bakım stratejisinin geliştirilmesinde açıkça katkıda bulunur sonucuna varılmıştır.

Gupta ve Mishra [] gerçekleştirmeyi hedeflediğimiz çalışmaya çok benzer bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bileşen kritiklik analizinin gerçekleştirilmesi için analitik ağ sürecinin kullanıldığı çalışma cnc torna tezgahındaki bir vaka uygulaması ile desteklenmiştir. Kritiklik analizinin gerçekleştirilmesinde maliyet, fonksiyonel bağımlılık, karmaşıklık, sürdürülebilirlik ve güvenlik etkisi gibi beş ana kriter önerilmiştir. Bu çalışma, fonksiyonel bağımlılık kümesinin karar vermedeki ve bu küme içindeki tüm kriter kümeleri arasında en öncelikli olduğunu göstermektedir. Her alternatifin sürdürülebilirliği, karar vermede ikinci önceliğe sahiptir. Analitik Hiyerarşi

Süreci (AHP) ikili karşılaştırmaların belirsizliğini ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışma , güvenilirlik merkezli bakım prosedürü içinde öncelikli bakım planlamasının gerçekleştirilmesi için kritik bileşenin belirlenmesi için çözüm niteliğinde sunulmuştur.

Mazurkiewicz [] çalışmasında üretim sistemlerinin en önemli aktarma operasyon şekli olan konveyörlü taşıma sistemlerinde meydana gelen bozulma durumlarının tespitinde ve önleme faaliyetlerinin belirlenmesinde bulanık mantık tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Uygulamanın detayında konveyör bant bağlantı-birleşim noktalarının teknik durumunun tahmini yer almaktadır. Her giriş değişkeni için, üç üyelik işlevi uygulanmıştır. Geliştirilen sistemin birinci değişkeni ölçülen birleşim noktasındaki uzama miktarıdır. Bu değişken % 0 ile % 10 arasında değişiyorsa düşük (güvenli) , % 8 ila% 15 arasında değişiyorsa ortalama (acil) ve % 12 ve üzerinde ise yüksek ise (yüksek) alarm olarak kabul edilebilir. Benzer şekilde diğer giriş değişkeni ise, gerçek anlık uzama ile yapay sınır ağı tarafından öngörülen değeri arasındaki sapma miktarıdır. Bu değişken % 0-1 arasında düşük , % 10-30 arasında orta ve % 20'den fazla ise yüksek olarak kabul edilir. Bant uzama analizinde sistem cevabı olarak 4 adet çıkış değişkeni tanımlanmıştır. Y1 bağlantı noktasının doğru çalışıp çalışmadığını, Y2 durum kontrolünün gerektiğini, Y3 bağlantı noktasının değişiminin gerekip gerekmediğini, Y4 sistemin durdurulması gerekip gerekmediğini gösterir. Ardından sistem kural tabanı oluşturulmuştur. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı sistem, karmaşık ve sofistike taşıma sistemlerinin operatörleri için, olası önlemlerin alınmasını öneren, koruyucu sistemlerin yanlış göstergelerini düzelten ve izleme sistemi tarafından üretilen işlenmemiş bilgilerin fazlalığını ortadan kaldıran bir danışma aracı şeklinde tanımlanmıştır.

Vishnu ve Regikumar [] işletme makine ve ekipmanlarına uygulanacak bakım modelinin seçiminde, günümüzde en önemli bakım stratejilerinden olan güvenilirlik merkezli bakım stratejisinin uygulanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Güvenilirlik merkezli bakım aşamalarının ve uygulama detaylarının yer aldığı çalışma aynı zamanda yılda 20.000 mt üretim kapasitesine sahip titanyum dioksit üreten bir tesisin bakım geçmişi verileri kullanılarak gerçekleştirilen bir örneği de konu almaktadır. Çalışmada geçmiş arıza verilerinin karakteristiklerini ve dağılım tiplerini belirlemek amacıyla raptor 4.0 programı kullanılmış ve tesis bu programda simüle

edilmeye çalışılmıştır. Kritiklik analizi hata türü ve etkileri analizi – FMEA ile gerçekleştirilmiştir. Analizde tecrübeye dayalı oluşturulduğunu düşündüğümüz $EC = (30P + 30S + 25A + 15V) / 3$ şeklinde bir formülasyon kullanılmıştır. Burada EC, ekipman kritiklik seviyesini (%), P üretim, S güvenlik, A ekipman uygunluk durumu, V sermaye maliyeti şeklinde tanımlanmıştır. Makale sonuç olarak AHP tabanlı güvenilirlik merkezli bakım stratejisinin uygulanmasına yönelik örnek bir çalışma niteliğindedir. Geliştirilen sistem ile FMEA analizlerine dayandırılarak her makine ve ekipman için ayrı ayrı optimum bakım modeli belirlenmiştir. Sonuç olarak A sınıfı kritiklik seviyesine sahip makineler için zaman bazlı bakım yerine önleyici bakım modelinin uygulanmasına karar verilmiştir.

İncelenen çalışmalar neticesinde görülmüştür ki, literatürdeki çalışmaların bir çoğu bir üretim tesisinin makineleri için uygulayacağı bakım stratejisinin seçimi ile alakalıdır. Gerek güvenilirlik merkezli bakım gerek ise tüm bakım modellerinin bir arada düşünüldüğü durumlar olsun, tüm uygulamalarda ortak çıkış noktası bir işletmedeki en kritik ekipmana en etkin bakım modelinin uygulanmasıdır. Ancak literatürde kritiklik seviyesini belirlemeye yönelik çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Güvenilirlik merkezli bakım stratejisindeki en önemli aşama ana varlık ve alt varlıkları net olarak tanımlanmış bir sistemin, bileşenlerinin kritiklik analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmada MATLAB fuzzy logic toolbox aracılığıyla “Mamdani” modelinin uygulandığı bulanık kural tabanlı sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bileşen kritiklik analizinin gerçekleştirmek için tasarlanacak bulanık mantık tabanlı sistemi diğer çalışmalardan ayıracak bir diğer özellik ise analizin girdi değişkenlerinin bir işletmenin tüm koşullarını kapsıyor sayıda ve nitelikte olmasıdır.

4. BÖLÜM

EKİPMAN KRİTİKLİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR BULANIK KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

Ekipman kritiklik seviyesinin belirlenmesi güvenilirlik merkezli bakım yaklaşımının ilk ve en önemli adımıdır. İşletmelerde her organizasyon için en temel hedef mevcut imkanlar ile işletmeye en büyük karlılığı sağlamaktır. Bu kapsamda bakım onarım organizasyonları işletme makine ve ekipmanlarının kullanılabilirlik sürelerini maksimum seviyede tutmak ile görevli birimlerdir. Makine ve ekipmanları kullanılabilir tutabilmek adına en önemli faaliyetler planlı bakım çalışmalarıdır. Planlı bakım faaliyetleri ise maliyet , zaman ve iş gücü kabiliyetine göre farklı yöntemlere ayrılmaktadır. Bir ekipman için uygulanacak bakım modelinin seçiminde yetkili bir çok parametreyi göz önünde bulundurmalıdır. Bunlardan en önemlisi ise işletme için en kritik makine veya ekipman için en etkin bakım modelinin uygulanmasıdır.

İşletmelerde makine ve ekipmanların kritiklik seviyesine göre sınıflandırılması bu adımın uygulanacak bir çok faaliyetin başlangıç noktası olmasından dolayı çok önemlidir. Ancak bu analiz kolay gerçekleştirilebilecek bir aksiyon değildir.

Makine ve ekipmanların kritiklik analizi birçok giriş değişkenine bağlıdır. Bu değişkenler her işletme için farklı olabileceği gibi benzer olanlar ise farklı önem derecelerine sahiptir. Örneğin siparişleri esnek ve tüm üretim makineleri yedekli bir işletmede bir makinenin günlük 1 saatlik arızı duruşu göz ardı edilebilir. Ancak sıfır stok ile çalışan ve birbirine bağlı hat yapısına sahip üretim makinelerine sahip bir işletme için günlük 1 saatlik duruş çok önemlidir. Bu durumda ilgili makine veya makinede duruşa neden olan ekipman kritiklik seviyesi en yüksek değerdedir.

Üretim tesislerinde doğru verinin elde edilmesi ve saklanması çoğu zaman büyük problemler arasında olmuştur. Kritiklik seviyesi belirlemede değerlendirme kriteri olarak kullanılan giriş değişkenleri sayısal ifade edilemeyip tecrübeye dayalı olabileceği gibi , bazen de işletme sayısal doğru verilere sahip olamayabilir. Çalışmada bu şartlardaki bir değerlendirme için bulanık mantık tabanlı bir çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Makine ve ekipman kritiklik analizi için bulanık kural tabanlı sistem tasarımının gerçekleştirildiği çalışmada “MATLAB fuzzy logic toolbox” kullanılmıştır.

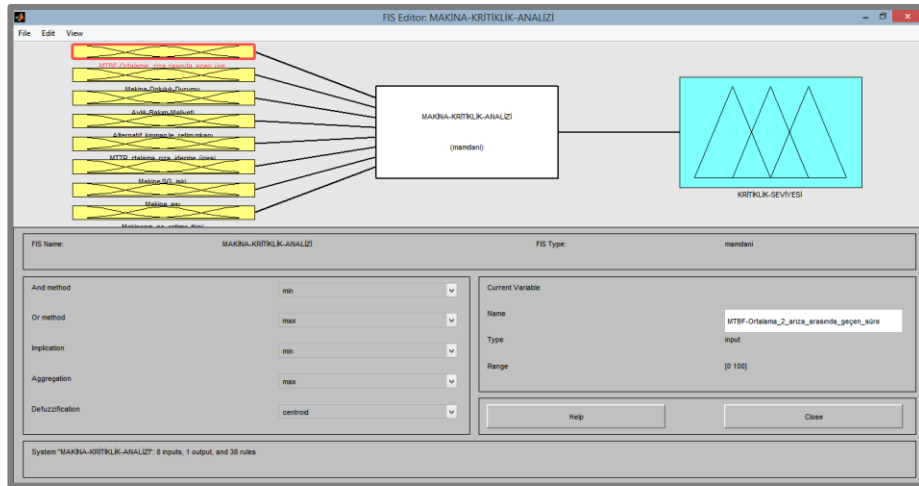
Makine ve ekipman kritiklik seviyesinin belirlenmesi amacıyla tasarlanan karar sisteminin giriş değişkenleri aşağıdaki gibidir ;

- MTBF (2 Arıza Arasında Geçen Ortalama Süre)
- Makine Doluluk Durumu
- Aylık Bakım Maliyeti
- Alternatif Ekipman ile Üretim İmkânı
- MTTR (Ortalama Arıza Giderme Süresi)
- Makine İSG Riski
- Makine Ömrü
- Makinenin Ana Üretime Etkisi

Karar verici sistemin çıkış değişkeni ise ;

- Makine / Ekipman Kritiklik Seviyesi'dir. (A , B , C , D)

MATLAB fuzzy logic toolbox ile oluşturulan Bulanık Çıkarım sisteminde Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Mamdani Tipi Bulanık Çıkarım Sistemi

4.1 Karar Verici Sistemin Giriş ve Çıkış Değişkenlerinin Bulanıklaştırılması

Çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılan özellik , makine ve ekipman kritiklik analizinde kullanılan değerlendirme kriterlerinin uygulamaya yönelik tüm durumları kapsayan özellikte oluşudur. Bu analizde amaç giriş değişkenlerinin belirlenmesinde tüm koşulların değerlendirilerek gerçek doğrulukta bir analiz gerçekleştirebilmektir.

Giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılmasında yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Değişken kriterleri ve üyelik fonksiyonu parametrelerini içeren tablo aşağıdadır (Tablo 4.1)

No	Giriş Değişkenleri	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
		Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
1	MTBF (Ortalama 2 arıza arasında geçen süre)	Kötü	"trapmf"	[0 0 20 40]	Saat	Normal	"trapmf"	[20 40 50 70]	Saat	İyi	"trapmf"	[50 70 100 100]	Saat
2	Makine Doluluk Durumu	Az Yoğun	"trapmf"	[0 0 7 9]	Saat	Normal	"trapmf"	[7 9 14 16]	Saat	Çok Yoğun	"trapmf"	[14 16 24 24]	Saat
3	Aylık Bakım Maliyeti (Yedek Parça + İşçilik Maliyeti)	Az	"trapmf"	[0 0 750 1250]	Euro	Orta	"trapmf"	[750 1250 1750 2250]	Euro	Yüksek	"trapmf"	[1750 2250 3000 3000]	Euro
4	Alternatif Ekipman ile Üretim İmkamı	Var	"trapmf"	[1 1 1 1]	*	Yok	"trapmf"	[0 0 0 0]	*				
5	MTTR (Ortalama Arıza Giderme Süresi)	İyi	"trapmf"	[0 0 30 45]	Dakika	Normal	"trapmf"	[30 45 65 80]	Dakika	Kötü	"trapmf"	[65 80 100 100]	Dakika
6	Makine İSG Riski	Risk Düşük	"trapmf"	[0 0 20 40]	%	Risk Orta	"trapmf"	[20 40 60 80]	%	Risk Yüksek	"trapmf"	[60 80 100 100]	%
7	Makine Yaşı	Yeni	"trapmf"	[1 1 1 1]	*	Eski	"trapmf"	[0 0 0 0]	*				
8	Makinenin Ana Üretime Etkisi (Makine durduğunda ana üretim ne zaman durur / etkisi nedir)	Yok (Ana Üretim Durmaz)	"trapmf"	[0 0 20 40]	%	Normal (Ana Üretim 1 Saat Sonrasında Durur)	"trapmf"	[20 40 60 80]	%	Çok (Ana Üretim 1 Saat İçerisinde Durur)	"trapmf"	[60 80 100 100]	%

Tablo 4.1 Giriş Değişkenleri Kriter Tablosu

4.1.1. MTBF (2 Arıza Arasında Geçen Ortalama Süre)

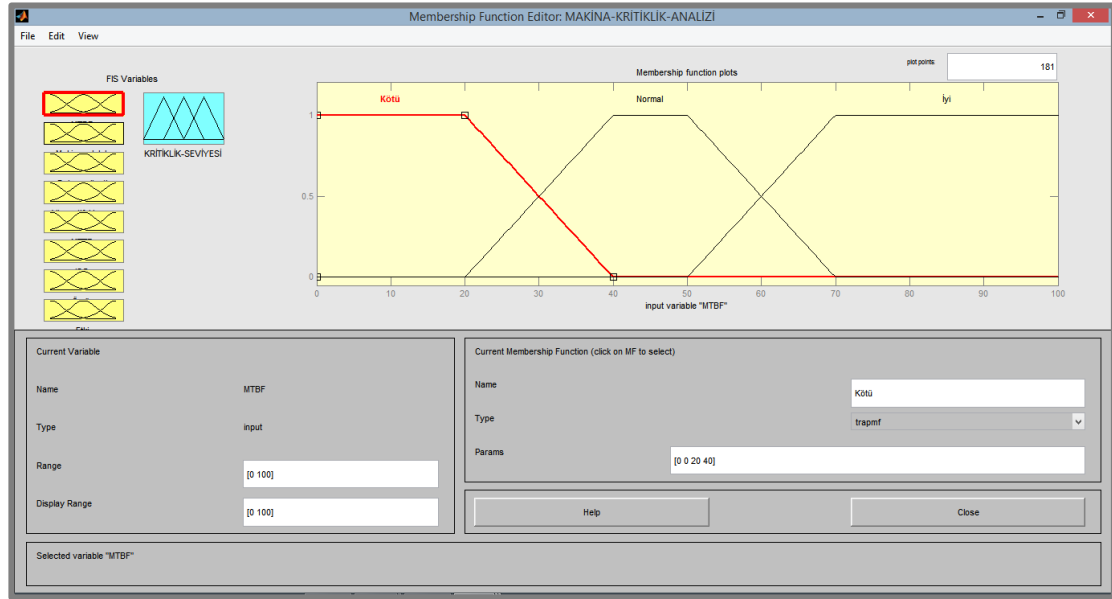
MTBF bir makine veya ekipmanda yaşanan arıza duruşların sıklığını ifade eden en önemli performans göstergelerinden bir tanesidir. Genellikle birimi saat olarak ele alınmaktadır ve daha anlamlı bir veri olarak değerlendirilebilmesi için 3 aylık kümülatif değerlendirilir. Hesaplama yöntemi ekipmanın toplam planlanan çalışma süresinden arıza duruşlarının toplamının çıkarılıp toplam arıza sayısına bölünmesi şeklindedir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir ;

$$MTBF = \frac{\text{Planlanan Çalışma Süresi} - \text{Plansız Duruş Süresi}}{\text{Plansız Duruş Sayısı}}$$

Kritiklik analizinde makine ve ekipmanın ne sıklıkta kesintiye uğradığını ve üretim planlaması için güvenilirliğini göstermesi bakımından MTBF önemli bir kriterdir. Tablo 4.2’de değişken kriter detayları Şekil 4.2’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel ifade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel ifade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel ifade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
MTBF (Ortalama 2 arıza arasında geçen süre)	Kötü	"trapmf"	[0 0 20 40]	Saat	Normal	"trapmf"	[20 40 50 70]	Saat	İyi	"trapmf"	[50 70 100 100]	Saat

Tablo 4.2 MTBF Giriş Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.2 MTBF Giriş Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

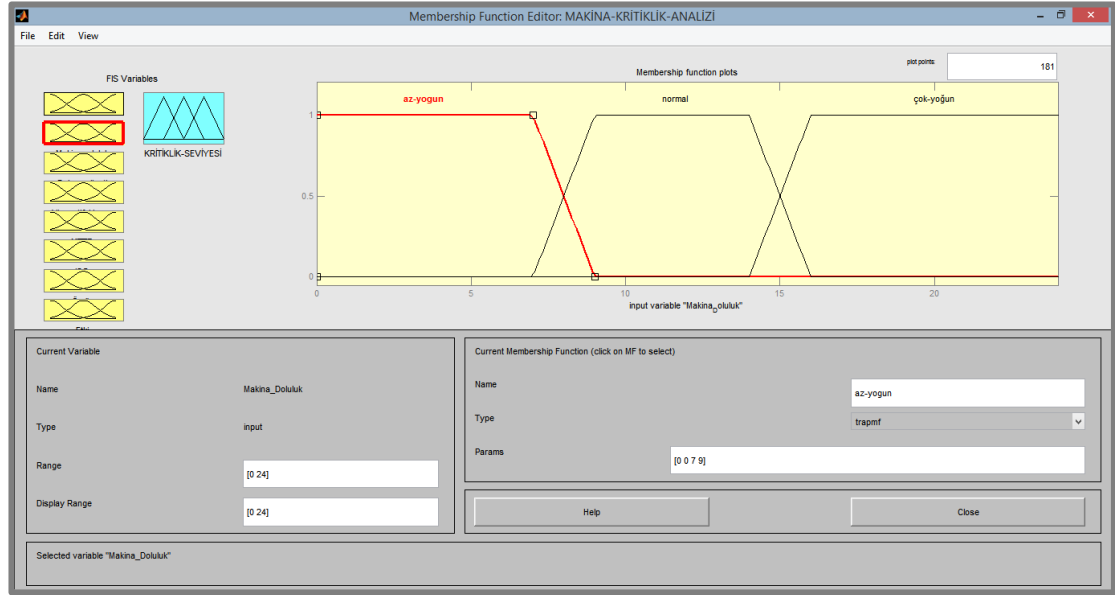
4.1.2. Makine Doluluk Durumu

Doluluk durumu değişkeni makinenin kullanım yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu değişken makinenin üretim için ne kadar yoğun kullanıldığını gösterir. Uygulamada doluluk durumu değişkeni az yoğun , normal ve çok yoğun şeklinde 3 kriterde değerlendirilmiştir. Değişkenin doluluğu matematiksel olarak çalışma süresi ile ifade edilmiştir.

Kritiklik analizinde üretimin işleyişi bakımından doluluk durumu değişkeni en önemli değişkenler arasındadır. Bu değişkenin durumuna göre diğer değişkenlerin koşulları göz ardı edilebileceği gibi , doluluk değişkeninin çok yoğun kriterde olması makine kritiklik seviyesinde üst seviyeye taşıyabilir. Tablo 4.3’de değişken kriter detayları Şekil 4.3’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
Makine Doluluk Durumu	Az Yoğun	"trapmf"	[0 0 7 9]	Saat	Normal	"trapmf"	[7 9 14 16]	Saat	Çok Yoğun	"trapmf"	[14 16 24 24]	Saat

Tablo 4.3 Makine Doluluk Durumu Giriş Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.3 Makine Doluluk Durumu Giriş Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

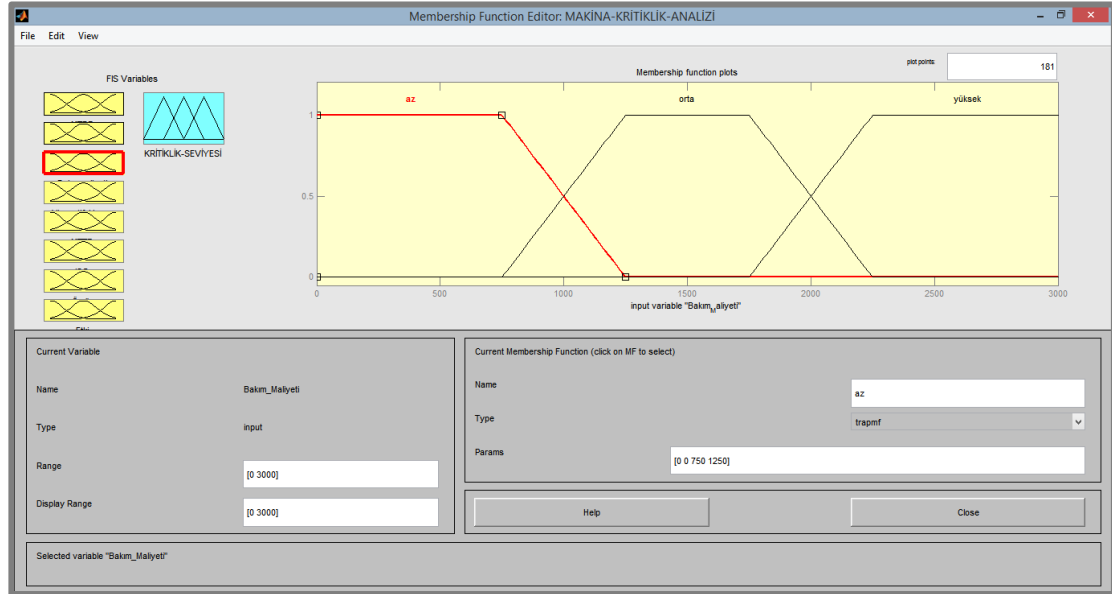
4.1.3. Aylık Bakım Maliyeti

Aylık bakım maliyeti giriş değişkeni arizi duruşların şirket üretim maliyetlerine etkisi nedeniyle önemli bir değerlendirme kriteridir. Bir makine veya ekipmanın MTTR ve MTBF değişkenlerini anlamlandıran ve şirkete yansımaları gösteren aylık bakım maliyeti şirket yönetimi düzeyinde bir değişken olarak kabul edilir.

Aylık bakım maliyeti makine ve ekipmanlar için harcanan işçilik , yedek parça kullanımı ve dış servis bedellerini içermektedir. Tablo 4.4’de değişken kriter detayları Şekil 4.4’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

No	Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
		Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
1	Aylık Bakım Maliyeti	Az	"trapmf"	[0 0 750 1250]	Euro	Orta	"trapmf"	[0 1250 1750 2250]	Euro	Yüksek	"trapmf"	[1750 2250 3000 3000]	Euro

Tablo 4.4 Makine Doluluk Durumu Giriş Değişkeni Kriter Detayı



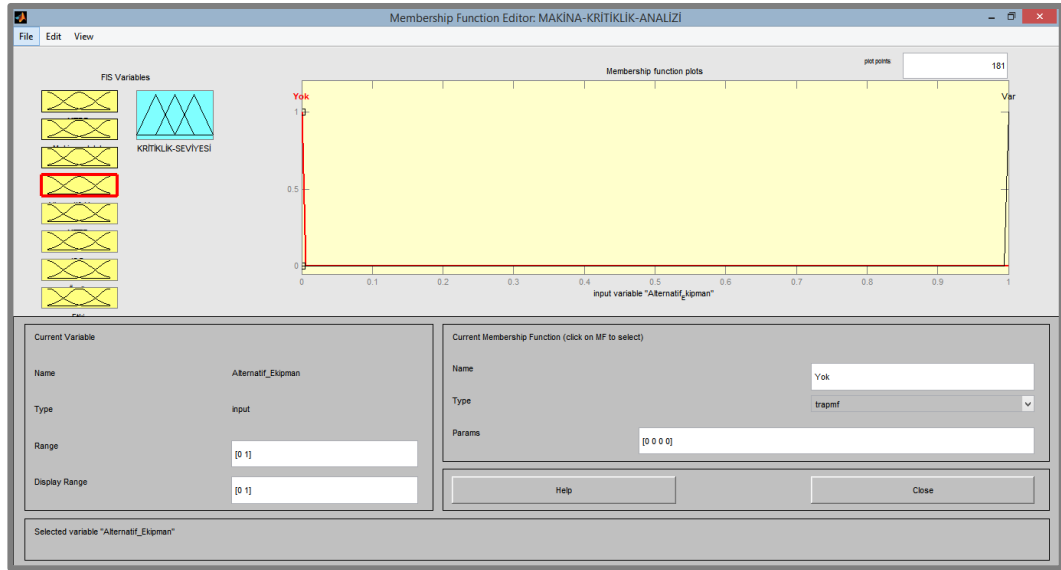
Şekil 4.4 Makine Doluluk Durumu Giriş Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

4.1.4. Alternatif Ekipman ile Üretim İmkkanı

Alternatif makine ve ekipman imkanı işletmede üretim esnasında bir operasyonun gerçekleşmesi için kullanılan makine ve ekipmanın alternatifinin bulunması olarak ifade edilir.

Bu değişken kritiklik analizinde var , yok şeklinde 2 kriterli olarak keskin giriş olarak tanımlanmış ve değerlendirilmiştir. Tablo 4.5’de değişken kriter detayları Şekil 4.5’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
Alternatif Ekipman ile Üretim İmkkanı	Var	"trapmf"	[1 1 1 1]	*	Yok	"trapmf"	[0 0 0 0]	*				

Tablo 4.5 Alternatif Ekipman ile Üretim İmkânı Giriş Değişkeni Kriter Detayı**Şekil 4.5** Alternatif Ekipman ile Üretim İmkânı Giriş Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

4.1.5. MTTR (Ortalama Arıza Giderme Süresi)

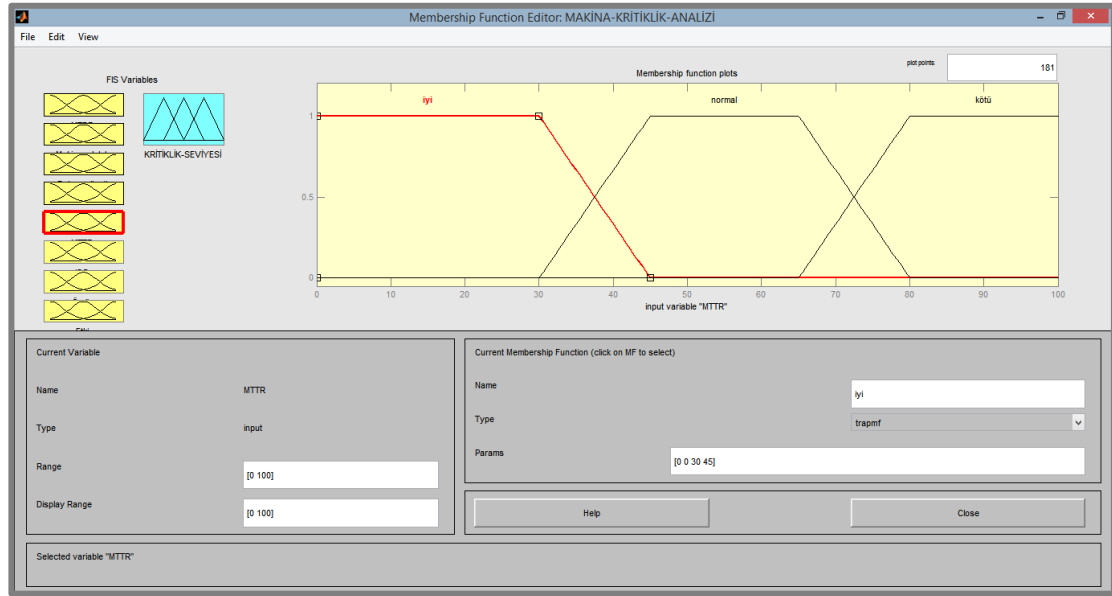
MTTR makine ve ekipmanda gerçekleşen arıza duruşların ortalama ne kadar sürede çözüme ulaştırılıp , makinenin çalışır duruma getirildiğini gösteren bir değişkendir. Aynı zamanda makine gerçekleşen arıza duruşların niteliğini ve duruşlara müdahale eden bakım personelinin yetkinliğini göstermesi açısından önemli bir değerlendirme kriteridir. MTTR performans gösterge verisi dakika bazlı aylık veya haftalık periyotta takip edilebilir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir ;

$$MTTR = \frac{\text{Plansız Duruş Süresi}}{\text{Plansız Duruş Sayısı}}$$

Tablo 4.6’da değişken kriter detayları Şekil 4.6’da ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
MTTR (Ortalama Arıza Giderme Süresi)	İyi	"trapmf"	[0 0 30 45]	Dak	Normal	"trapmf"	[30 45 65 80]	Dak	Kötü	"trapmf"	[65 80 100 100]	Dak

Tablo 4.6 MTTR Giriş Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.6 MTTR Giriş Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

4.1.6. Makine İSG Riski

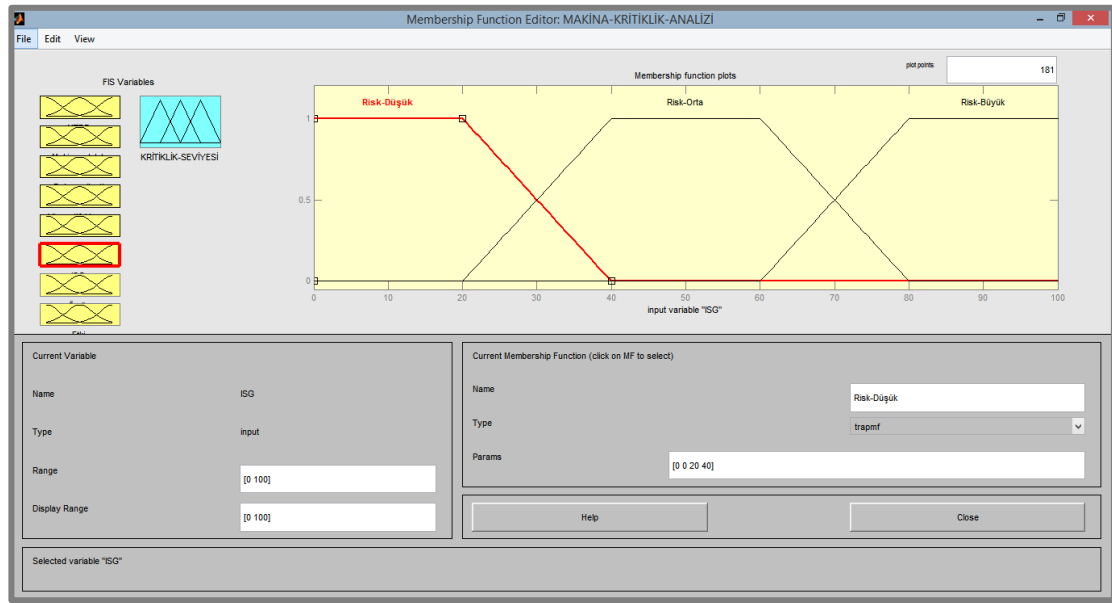
Makine İSG riski değişkeni değerlendirilmesi bulanık mantık yaklaşımı ile en çok uyuşan giriş değişkenidir. Değişken matematiksel ifadesi mümkün olmayan ve uzman İSG uzmanı deneyimine dayanan özellik taşır.

Kritiklik analizinde değişken makine yoğunluk durumuna bağlı olarak bir makine veya ekipmanın A kritiklik seviyesinde değerlendirilmesine neden olabilir. Uygulamada pratikte olduğu gibi İSG riski tüm kriterlerden öncelikli olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.7’de değişken kriter detayları Şekil 4.7’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
Makine İSG Riski	Risk Düşük	"trapmf"	[0 0 20 40]	%	Risk Orta	"trapmf"	[20 40 60 80]	%	Risk Büyük	"trapmf"	[60 80 100 100]	%

Tablo 4.7 Makine İSG Riski Giriş Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.7 Makine İSG Riski Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

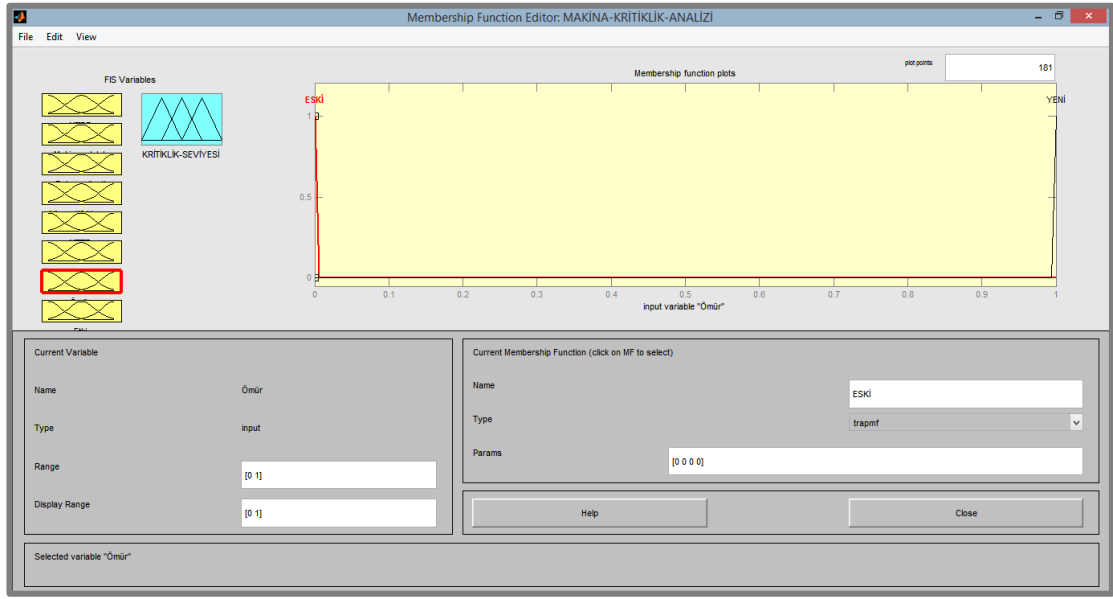
4.1.7. Makine Ömrü

İşletmelerde kullanılan tüm makine ve ekipmanların teknolojinin tüm alanlarında olduğu gibi bir ekonomik ömrü vardır. Ekonomik ömrünü tamamlayan sistemlerin kullanımı harcanan bakım maliyetleri , işçilik kayıpları ve prosesin diğer firmalara göre verimsizliği göz önüne alındığında işletme için önemli neden olabilir.

Kritiklik analizinde tek başına bir karar değişkeni olarak kullanılması uygun olmasa da , olası olumsuz durumların oluşma olasılığını etkilediğinden önemli bir kriterdir. Eski ve yeni şeklinde 2 kriterli olarak değerlendirilen değişkenin Tablo 4.8’de değişken kriter detayları Şekil 4.8’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
Makine Ömrü	Yeni	"trapmf"	[1 1 1 1]	*	Eski	"trapmf"	[0 0 0 0]	*			*	

Tablo 4.8 Makine Ömrü Giriş Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.8 Makine Ömrü Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

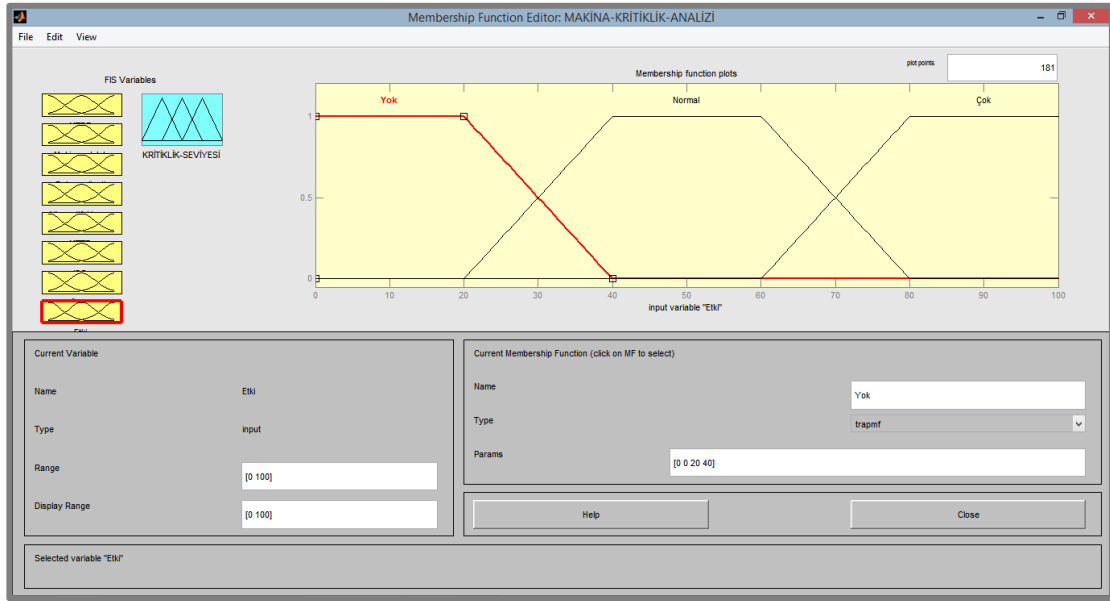
4.1.8. Makinenin Ana Üretime Etkisi

Makinenin Ana Üretime Etkisi bir makinede yaşanacak duruşun üretimin tamamına etkisini ifade eden önemli değişkenlerden bir tanesidir. Makine İSG riski değişkeninde olduğu gibi değerlendirmesi bulanık mantık yaklaşımına uygun bir giriş değişkenidir. Doğrudan uzman personel yorum ve deneyimlerine bağlıdır.

Yok , Normal ve Çok şeklinde 3 kriterden oluşan değişkenin Tablo 4.9’da değişken kriter detayları Şekil 4.9’da ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Giriş Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
Makinenin Ana Üretime Etkisi (Makine durduğunda ana üretim ne zaman durur / etkisi nedir)	Yok (Ana Üretim Durmaz)	"trapmf"	[0 0 20 40]	%	Normal (Ana Üretim 1 Saat Sonrasında Durur)	"trapmf"	[20 40 60 80]	%	Çok (Ana Üretim 1 Saat İçerisinde Durur)	"trapmf"	[60 80 100 100]	%

Tablo 4.9 Makine Ana Üretime Etkisi Giriş Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.9 Makine Ana Üretime Etkisi Üyelik Fonksiyonu

4.1.9 Makine / Ekipman Kritiklik Seviyesi

Makine kritiklik analizi sistemin çıkış değişkenidir ve A kritiklik seviyesi , B kritiklik seviyesi , C kritiklik seviyesi ve D kritiklik seviyesi şeklinde 4 kritere sahiptir. Kritiklik seviyelerinin yorumu aşağıdaki gibidir ;

- **“A” Kritiklik Seviyesi**

A kritiklik seviyesi makine ve ekipmanın en kritik sınıfta olduğunu göstermektedir. Bu kritiklik seviyesindeki bir makine için işletme finansal ve iş gücü kaynakları düzeyinde optimum bakım stratejilerini uygulayarak makinenin maksimum sürede çalışır durumda tutmaya çalışmalıdır. Bu kapsamda uygulanacak en etkili bakım stratejisi koruyucu / uyarıcı bakımdır.

- **“B” Kritiklik Seviyesi**

B kritiklik seviyesi ise makine veya ekipmanın ikinci öncelikli olduğunu gösterir. Eğer işletmenin finansal ve iş gücü kaynakları yeterli ise B sınıfı makineler de A sınıfı makineler gibi korunmaya ihtiyaç duyar. Sınırlı kaynaklara sahip bir işletme için ise uygulanabilecek optimum bakım yaklaşımı koşul bazlı periyodik bakım olacaktır. Ancak koşul bazlı bakım stratejisi detaylı mühendislik çalışmaları gerektirir.

■ “C” Kritiklik Seviyesi

C kritiklik seviyesi genellikle makine ve ekipmanın alternatifinin olduğunu veya arıza duruşlarının tolere edilebildiğini gösterir. Ancak bu makine için hiçbir bakım stratejisinin uygulanmayacağı anlamına gelmez. Bu tip durumlarda uygulanacak en iyi uygulama zaman bazlı periyodik bakım modeli olacaktır.

■ “D” Kritiklik Seviyesi

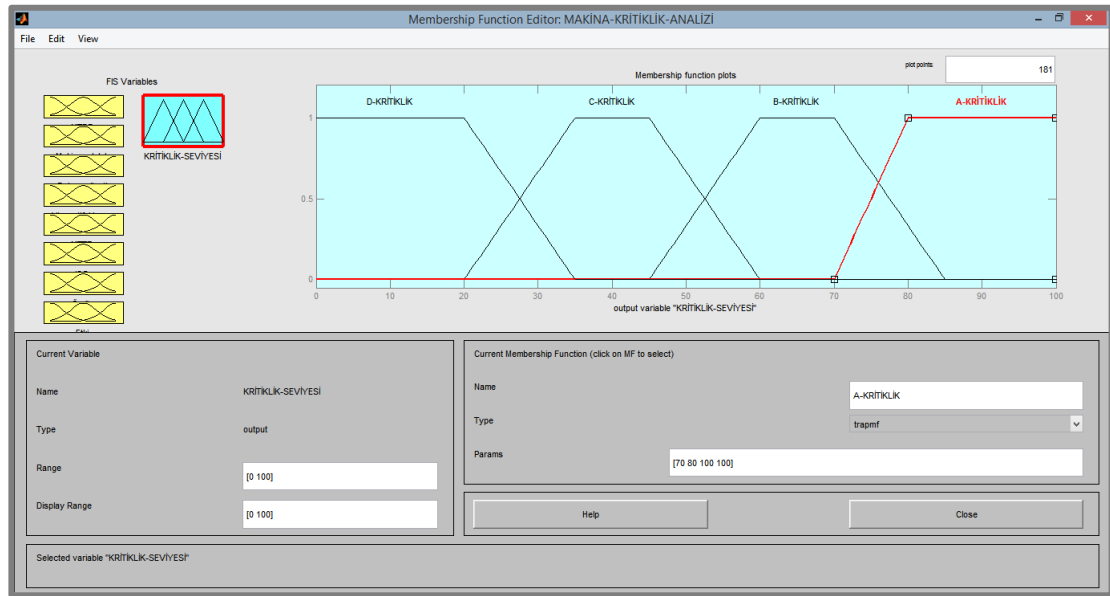
D kritiklik seviyesi kapsamındaki makine ve ekipmanlar hiçbir durumda işletme için dar boğaz oluşturmaz ve ana üretimi hiçbir şekilde etkilemezler. Bu tip makineler ile gerçekleştirilen operasyonlar genellikle manuel yapılabilir veya ertelenebilir. İşletme bu sınıftaki makineler için bir bakım stratejisi uygulamayıp, arıza durumunda müdahale edebilir.

Kritiklik seviyesi bakım stratejisi tablosu....

A , B , C ve D şeklinde 4 kriterden oluşan çıkış değişkeninin Tablo 4.10’de *değişken* kriter detayları Şekil 4.10’da ise MATLAB fuzzy logic toolbox da tanımlanan üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Çıkış Değişkeni	Kriter 1				Kriter 2				Kriter 3				Kriter 4			
	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim	Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Parametresi	Birim
Makinenin Ana Üretime Etkisi (Makine durduğunda ana üretim ne zaman durur / etkisi nedir)	D Kritiklik Seviyesi	"trapmf"	[0 0 20 35]	%	C Kritiklik Seviyesi	"trapmf"	[20 35 45 60]	%	B Kritiklik Seviyesi	"trapmf"	[45 60 70 85]	%	A Kritiklik Seviyesi	"trapmf"	[70 80 100 100]	%

Tablo 4.10 Makine / Ekipman Kritiklik Seviyesi Değişkeni Kriter Detayı



Şekil 4.10 Makine / Ekipman Kritiklik Seviyesi Üyelik Fonksiyonu

4.2 Bulanık Karar Destek Sistemi Kurallar ve Algoritmalar

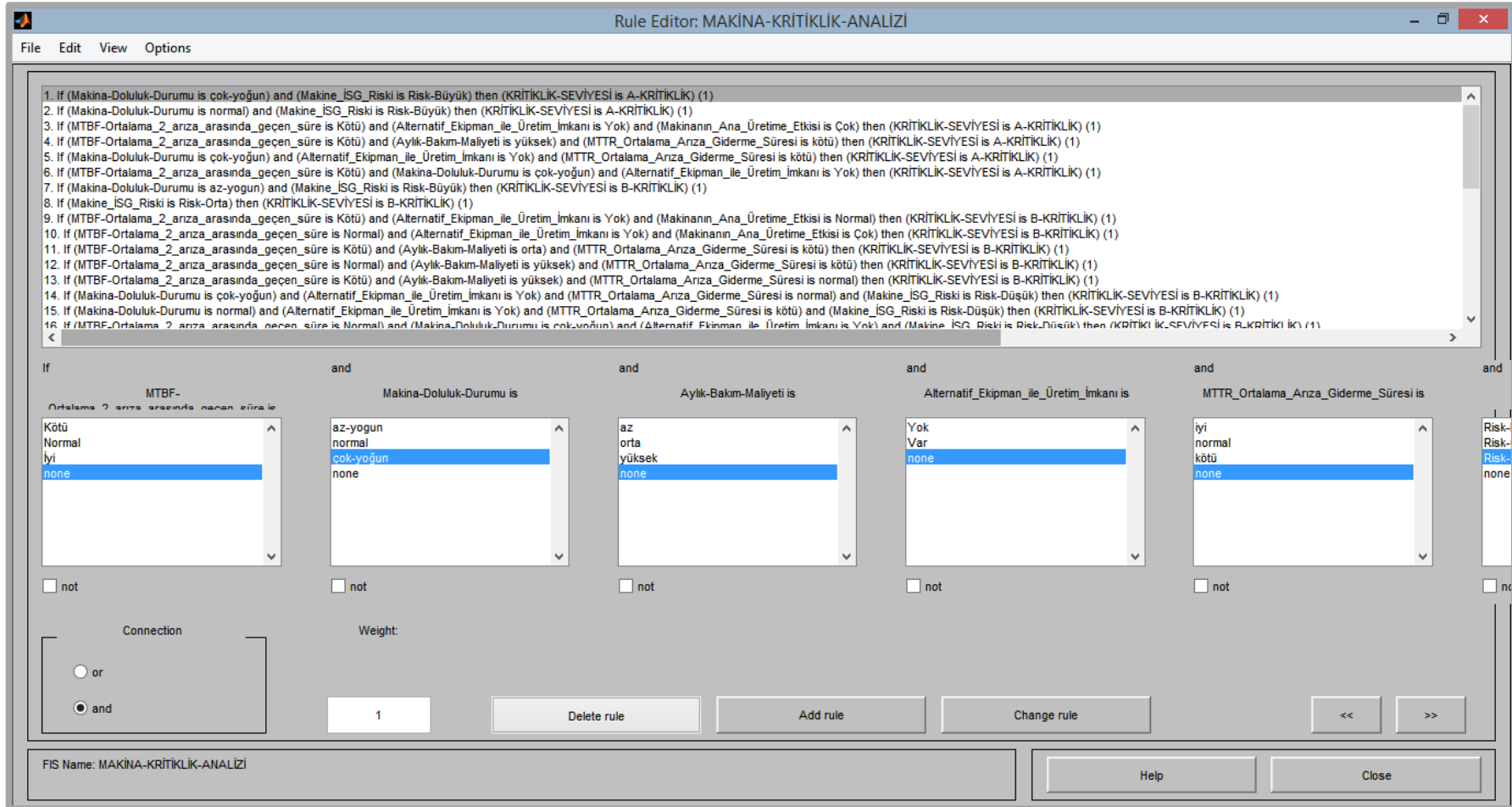
Çalışmanın bulanık karar destek sistemi tasarımında Mamdani çıkarım modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uzman personellerin tecrübeleri , veriler ile birleştirilerek 38 adet kural tanımlanmıştır. Kuralların belirlenmesindeki düşünce yapısı tüm koşulların karşılanmasına yönelik kurulmuştur.

Örneğin “ İSG Riski” değişkeni en önemli giriş değişkenlerinden bir tanesidir. Bu değişken makine doluluk durumu ile birlikte bir ekipmanın en kritik seviyeye taşınmasına neden olabilir. Aynı zamanda değişkeni “Risk büyük” kriter durumunda tek başına makine veya ekipmanı “B” kritiklik seviyesine taşır.

Bu kapsamda belirlenen kurallar Tablo 4.11’de , Şekil 4.11’de ise MATLAB fuzzy logic toolbox’da tanımlanma şekli sunulmuştur.

Kurallar	Input 1		Input 2		Input 3		Input 4		Input 5		Input 6		Input 7		Input 8		Output		Açıklama
	MTBF		Makine Doluluk Durumu		Aylık Bakım Maliyeti		Alternatif Ekipman		MTTR		İSG Riski		Makine Ömrü		Ana Üreitime Etkisi		Kritiklik Seviyesi		
Kural-1	Eğer	*	ve	Çok Yoğun	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Risk Büyük	ve	*	ve	*	==	A	Makine doluluk oranı + isg riski
Kural-2	Eğer	*	ve	Normal	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Risk Büyük	ve	*	ve	*	==	A	Makine doluluk oranı + isg riski
Kural-3	Eğer	Kötü	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Çok	==	A	MTBF+Alternatif ekipman+Ana üretime etki
Kural-4	Eğer	Kötü	ve	*	ve	Yüksek	ve	*	ve	Kötü	ve	*	ve	*	ve	*	==	A	MTBF+Aylık bakım maliyeti+MTTR
Kural-5	Eğer	*	ve	Çok Yoğun	ve	*	ve	Yok	ve	Kötü	ve	*	ve	*	ve	*	==	A	Makine doluluk oranı+alternatif ekipman+MTTR
Kural-6	Eğer	Kötü	ve	Çok Yoğun	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	*	ve	*	==	A	Makine doluluk oranı+alternatif ekipman+MTBF
Kural-7	Eğer	*	ve	Az Yoğun	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Risk Büyük	ve	*	ve	*	==	B	Makine doluluk oranı + isg riski
Kural-8	Eğer	*	ve	*	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Risk Orta	ve	*	ve	*	==	B	Makine doluluk oranı + isg riski
Kural-9	Eğer	Kötü	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Normal	==	B	MTBF+Alternatif ekipman+Ana üretime etki
Kural-10	Eğer	Normal	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	*	ve	Çok	==	B	MTBF+Alternatif ekipman+Ana üretime etki
Kural-11	Eğer	Kötü	ve	*	ve	Orta	ve	*	ve	Kötü	ve	*	ve	*	ve	*	==	B	MTBF+Aylık bakım maliyeti+MTTR
Kural-12	Eğer	Normal	ve	*	ve	Yüksek	ve	*	ve	Kötü	ve	*	ve	*	ve	*	==	B	MTBF+Aylık bakım maliyeti+MTTR
Kural-13	Eğer	Kötü	ve	*	ve	Yüksek	ve	*	ve	Normal	ve	*	ve	*	ve	*	==	B	MTBF+Aylık bakım maliyeti+MTTR
Kural-14	Eğer	*	ve	Çok Yoğun	ve	*	ve	Yok	ve	Normal	ve	Risk Normal	ve	*	ve	*	==	B	Makine doluluk oranı+alternatif ekipman+MTTR
Kural-15	Eğer	*	ve	Normal	ve	*	ve	Yok	ve	Kötü	ve	Risk Normal	ve	*	ve	*	==	B	Makine doluluk oranı+alternatif ekipman+MTTR
Kural-16	Eğer	Normal	ve	Çok Yoğun	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	Risk Normal	ve	*	ve	*	==	B	Makine doluluk oranı+alternatif ekipman+MTBF
Kural-17	Eğer	Kötü	ve	Normal	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	Risk Normal	ve	*	ve	*	==	B	Makine doluluk oranı+alternatif ekipman+MTBF
Kural-18	Eğer	*	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	Çok	==	B	alternatif ekipman + makine yaşı + üretime etki
Kural-19	Eğer	*	ve	Çok Yoğun	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	B	makine doluluk oranı + alternatif ekipman + makine yaşı
Kural-20	Eğer	*	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	Normal	==	C	alternatif ekipman + makine yaşı + üretime etki
Kural-21	Eğer	*	ve	Normal	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	C	makine doluluk oranı + alternatif ekipman + makine yaşı
Kural-22	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	*	==	D	tüm kriterler en iyiyken ana üretime etki önemli değil
Kural-23	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	*	ve	Yok	==	D	tüm kriterler en iyiyken makine yaşı önemli değil
Kural-24	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	Normal	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken mtrr normal olursa makine "C"
Kural-25	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	Kötü	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken mtrr kötü olursa makine "C"
Kural-26	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Yok	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken alternatif makine olmazsa makine "C"
Kural-27	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Orta	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken aylık bakım maliyeti orta olursa makine "C"
Kural-28	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Yüksek	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken aylık bakım maliyeti yüksek olursa makine "C"
Kural-29	Eğer	İyi	ve	*	ve	Az	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	D	tüm kriterler en iyiyken makine doluluk durumu önemli değil
Kural-30	Eğer	Normal	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken mtbf normal olursa makine "C"
Kural-31	Eğer	Kötü	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	C	tüm kriterleri en iyiyken mtbf yüksek olursa makine "C"
Kural-32	Eğer	İyi	ve	Az Yoğun	ve	Az	ve	Var	ve	İyi	ve	Risk Normal	ve	Yeni	ve	Yok	==	D	tüm kriterler en iyiyken makine "D"
Kural-33	Eğer	*	ve	*	ve	Yüksek	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	B	aylık bakım maliyeti+makine yaşı
Kural-34	Eğer	Kötü	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	B	mtbf+makine yaşı+alternatif makine imkanı
Kural-35	Eğer	*	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	Kötü	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	B	mttr+makine yaşı+alternatif makine imkanı
Kural-36	Eğer	*	ve	*	ve	Orta	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	C	aylık bakım maliyeti+makine yaşı
Kural-37	Eğer	Normal	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	*	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	C	mtbf+makine yaşı+alternatif makine imkanı
Kural-38	Eğer	*	ve	*	ve	*	ve	Yok	ve	Normal	ve	*	ve	Eski	ve	*	==	C	mttr+makine yaşı+alternatif makine imkanı

Tablo 4.11 Bulanık Karar Destek Sistemi Kuralları



Şekil 4.11 Bulanık Karar Destek Sistemi Kurallarının Matlab Fuzzy Logic Toolbox’da Tanımlanması

Tasarımı gerçekleştirilen bulanık çıkarım sisteminde oluşturulan kurallar arasında her kritiklik seviyesi için birer örnek aşağıda anlatılmıştır ;

Kural-1 : EĞER “Makine Doluluk Durumu” “Çok Yoğun” ve “İSG Riski” “Risk Büyük” İSE Kritiklik seviyesi A’dır.

Kural 1’de İSG riski işletme için öncelik olarak kabul edilmekte olup makine doluluk durumu çok yoğun olduğu yani makine 3 vardiya çalıştığı durumda makine A kritiklik seviyesinde kabul edilir.

Kural-9 : EĞER “MTBF” “Kötü” ve “Alternatif Ekipman” “Yok” ve “Ana Üretme Etkisi” “Normal İSE Kritiklik seviyesi B’dir.

Kural 9’da “MTBF” ve “Alternatif Ekipman İmkânı” değişkenlerinin en kötü koşullarında ana üretimi kısmen etkilediğinden kritiklik seviyesi B olarak kabul edilir.

Kural-24 : EĞER “MTBF” “İyi” ve “Makine Doluluk Durumu” “Az Yoğun” ve “Aylık Bakım Maliyeti” “Az” ve “Alternatif Ekipman” “Var” ve “MTTR” “Normal” ve “İSG Riski” “Risk Normal” ve “Makine Ömrü” “Yeni” ve “Ana Üretme Etkisi” “Yok” İSE Kritiklik seviyesi C’dir.

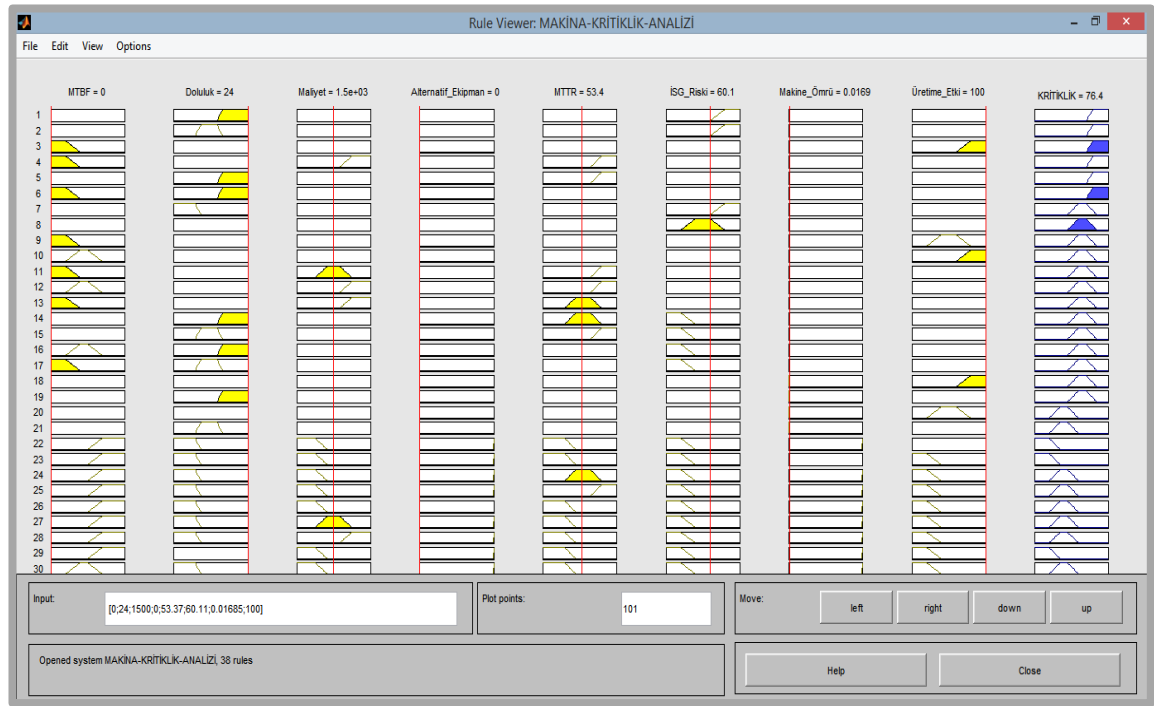
8 giriş değişkeninin en iyi olduğu durumu (D kritiklik seviyesi koşulu) bozan bir değişken olduğu durumda makine ve ekipman C kritiklik seviyesinde kabul edilir. Kural 24’de tüm değişkenler en iyi durumdayken “MTTR” değişkeninin “Normal” olması nedeniyle makine ve ekipman C kritiklik seviyesine dahil olur.

Kural-32 : EĞER “MTBF” “İyi” ve “Makine Doluluk Durumu” “Az Yoğun” ve “Aylık Bakım Maliyeti” “Az” ve “Alternatif Ekipman” “Var” ve “MTTR” “İyi” ve “İSG Riski” “Risk Normal” ve “Makine Ömrü” “Yeni” ve “Ana Üretme Etkisi” “Yok” İSE Kritiklik seviyesi C’dir.

Kural 32 de tüm değişkenlerin en iyi olduğu koşullar birleştirilerek D kritiklik seviyesine dahil olma koşulu belirlenmiştir.

4.3 Sistem Tasarım Sonuçları

Makine ve ekipman kritiklik analizinin belirlenmesine yönelik Mamdani bulanık çıkarım modeli kullanılarak tasarlanan bulanık kural tabanlı sistem sonuçları Matlab Fuzzy Logic Toolbox'da "Rule Viewer" penceresi kullanılarak incelenebilir. (Şekil 4.12). Mamdani çıkarım sisteminde



Şekil 4.12 Matlab Fuzzy Logic Toolbox "Rule Viewer" Penceresi

Örnek olarak makine doluluk durumu "20" (Makine günlük çalışma süresi 20 saat) olan , İSG riski İSG uzmanı tarafından "Risk Büyük" şeklindeki değerlendirilen bir makinanın kritiklik seviyesinin belirlenmesi için geliştirilen bulanık karar destek sisteminde makine kritiklik puanı olarak 87,6 değeri elde edilmiştir.

ÖRNEKLER HÜLYA HOCA İLE GÖRÜŞÜP BELİRLENECEK

5. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Endüstriyel tesislerin bakım onarım organizasyonlarının makine ve ekipmanlar için uygulanacak bakım modelinin seçimi ve bakım faaliyetlerinin önceliklendirilmesi önemli bir karar sürecidir. Bu sürecin sağlıklı yürütülebilmesi için bakım personelleri işletme makine ve ekipmanları için kritiklik analizi gerçekleştirerek en kritik makineleri belirlemek ister. Tez çalışmasında kritiklik analizinde bulanık kural tabanlı sistem tasarımı gerçekleştirilerek bu sınıflandırma işleminde bulanık mantık yönteminin uygulanabileceği gösterilmiştir.

Literatür çalışmaları ve gerçek hayat uygulamaları incelendiğinde , kritiklik analizi çalışmalarının genelde birkaç değişkene bağlı olarak yoruma dayalı gerçekleştiğini görmekteyiz. Ancak gerçeğe yakın bir analiz süreci için işletme içi tüm organizasyon kriterleri değerlendirmeye alınmalıdır. Bir makinenin önem derecesi sadece üretim kabiliyeti ile değerlendirilemez. Çalışmada bir işletme için tüm organizasyonları kapsayan ve işletmenin tüm değerlerini göz önünde bulunduran 8 giriş değişkenli bir bulanık kural tabanlı sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmayı giriş değişkenlerinin yanında diğer çalışmalardan ayıran bir diğer özellik kritiklik analizi çalışmasında bulanık mantık yaklaşımının kullanılmış olmasıdır. Belirlenen giriş değişkenleri her zaman matematiksel olarak ifade edilemez. Böyle durumlarda uzman personel değerlendirmeleri ve yorumları dikkate alınır. Uzman personellerin tecrübelerini aktardıkları dilsel ifadeleri kullanarak ve matematiksel ifadeler ile birlikte değerlendirilmesini sağlayarak doğru bir analiz süreci yönetimi için en uygun yöntem bulanık mantık olarak öngörülmüştür.

Çalışma konusunun bir adım ötesinde gerçekleştirilebilecek uygulamalardan bir tanesi kritiklik analizi gerçekleştirildikten sonra belirlenen A kritiklik seviyesindeki bir makine için bu analizin alt ekipman bazlı 2 veya 3 kademeli olarak gerçekleştirilmesidir. Bir makine için uygulanacak bakım modeli ve periyodu makinenin her ekipmanı veya ünitesi için aynı olmayacaktır. Makine alt ekipmanları da belirli önem derecelerine sahiptir. Çalışma geliştirilerek 2.kademe analiz gerçekleştirilip bir işletmenin en kritik makinesinin en kritik ekipmanlarına en etkin bakım stratejisinin uygulanması sağlanabilir.

KAYNAKÇA

Makale için:

1. Soyadı, A., Yıl. Makalenin adı (Sözcüklerin ilk harfi küçük). **Yayımlandığı derginin açık ve tam adı, Cilt (Sayı): Sayfa aralığı**
2. Soyadı1, A1., Soyadı2, A2., Soyadı3, A3., Soyadı4, A4.,Yıl. Makalenin adı (Sözcüklerin ilk harfi küçük). **Yayımlandığı derginin tam adı, Cilt (Sayı): Sayfa aralığı.**
3. Soyadı, A., Yıl. Kitabın Adı (Sözcüklerin İlk Harfi Büyük). Kurumu ve Basım Yeri, toplam sayfa sayısı s/pp.
4. Soyadı1, A1., Soyadı2, A2., Soyadı3, A3., Soyadı4, A4., Yıl. Kitabın Adı. (Sözcüklerin İlk Harfi Büyük). Kurumu ve Basım Yeri, toplam sayfa sayısı s/pp.

Editörlü kitapta kitabın bir bölümü için:

5. Soyadı, A., Yıl. Kitabın İçinde Yer Alan Bölümün Adı (Sözcüklerin İlk Harfi küçük), sayfa aralığı”. In: Kitabın Adı (Eds: A1. Soyadı1, A2. Soyadı2, A3. Soyadı3). Kurumu ve Basım Yeri.

Bildiri kitabında yer alan bildiri için:

6. Soyadı, A., Yıl. Bildirinin adı (Sözcüklerin ilk harfi küçük), sayfa aralığı. *Kongre/Sempozyum Adı*, Tarihi, Toplantının Yeri, (varsa) Yayınlayan Kurum, toplam sayfa sayısı s/pp.

Tez için:

7. Soyadı, A., Yıl. Tezin Adı. (Sözcüklerin İlk Harfi Büyük). Tez Çalışmasının Gerçekleştirildiği Kurumun Adı, Yüksek Lisans/Doktora Tezi, İl, Sayfa sayısı s.

Elektronik kaynak için:

8. Soyadı, A., Yıl. Çalışmanın adı (Sözcüklerin ilk harfi küçük). (Web sayfası: <http://www.....>), (Erişim tarihi: Ocak 2010).

Veri tabanından taranan bilgi için:

9. Soyadı1, A1., Soyadı2, A2., Soyadı3, A3., Soyadı4, A4., Yıl. Çalışmanın adı (Sözcüklerin ilk harfi küçük). **Yayımlandığı derginin açık ve tam adı, Cilt (Sayı) : Sayfa aralığı. Abstracted in ___ Abstracts, Yıl: Abstrakt No.**
10. Keskenler Mustafa Furkan , Keskenler Eyüp Fahri , 2017. Bulanık mantığın tarihi gelişimi. **Takvim-i Vekayi, Cilt: 5 No: 1 Sayfa: 1-10**

Mustafa Furkan Keskenler1* , Eyüp Fahri Keskenler

Patent için:

11. Harred, J. F., A.R Knight, J.S. McIntyre, 1972. Dow Chemical Company, Assignee, Epoxidation Process. US patent 3 654 317, April 4, 1972.

EKLER

EK 1.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Serkan ÇETİNKAYA
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 13.08.1990 - Bafra
Medeni Durum: Evli
e-mail: serkan_cetinkaya@yahoo.com
Yazışma Adresi: Ayvalı Mah. Seval Cad. Sipahi Sok. 9/12 Keçiören / ANKARA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi , Mekatronik Mühendisliği	2013
Lise	Bafra Anadolu Lisesi , Samsun	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018-Halen	YATAŞ A.Ş.	Bakım Onarım Yöneticisi
2015-2018	YATAŞ A.Ş.	Bakım Onarım Şefi
2013-2015	YATAŞ A.Ş.	Bakım Onarım Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce