

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEYRELTİLMİŞ PAMUKLU TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMINDA YUKARI  
AKIŞLI HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖR (YAHÇYR) SİSTEMİNDEN ELDE  
EDİLEN KOİ GİDERİM VERİMİ VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİN FUZZY LOGIC  
(BULANIK MANTIK) TEKNİĞİ İLE MODELLENMESİ**

**ESEN SOYDAŞ İŞILDAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. KAAN YETİLMEZSOY**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEYRELTİLMİŞ PAMUKLU TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMINDA YUKARI AKIŞLI HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖR (YAHÇYR) SİSTEMİNDEN ELDE EDİLEN KOİ GİDERİM VERİMİ VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİN FUZZY LOGIC (BULANIK MANTIK) TEKNİĞİ İLE MODELLENMESİ**

Esen SOYDAŞ İŞILDAK tarafından hazırlanan tez çalışması ..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Yrd. Doç. Dr. F. İltar TÜRKDOĞAN AYDINOL

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışmada, pamuklu tekstil atıksularının Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktör (YAHÇYR) sistemiyle arıtılmasından elde edilen deneysel veriler, KOİ giderme verimini ve günlük biyogaz üretimini tahmin etmek maksadıyla bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemiyle modellenmiştir. Bulanık mantık esaslı yapay zekâ modelinden elde edilen tahmin sonuçları, konvansiyonel non-lineer regresyon tekniği ile farklı istatistiksel performans indikatörleri için mukayese edilmiş ve geliştirilen modelin faydalı yönleri ortaya konmuştur.

Çalışmamın bütün aşamalarını titizlikle takip edip beni yönlendiren, bana emek veren, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY'a, yardımlarından ve manevi desteğinden dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. İlder TÜRKDOĞAN AYDINOL'a teşekkür ve sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu tezi yapabilmem için gerekli eğitim altyapısını sağlayan başta Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK'e şükranlarımı arz ederim.

Göstermiş oldukları ilgi ve katkılardan dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nün saygıdeğer Öğretim üyelerine ve Araştırma görevlilerine teşekkür ederim.

Hayatımı borçlu olduğum, beni yetiştiren, bana emek veren, benden sevgi ve şevkatlerini hiç esirgemeyen sevgili aileme, çalışmayı hazırlamam sırasında gösterdiği anlayış ve manevi desteğinden dolayı değerli eşim Fırat İŞILDAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Benden hiçbir zaman sevgilerini ve desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Tuğçe ÇEVİK, Duyşen ÖZEL, Ali KUŞ ve Semra SİPAHİ' ye ve değerli çalışma arkadaşlarım Selçuk ÇOBAN, Nüket EREN ŞAHİN, Ayfer BAYKAN'a, desteklerinden ve anlayışlarından dolayı Sayın Nurgün UĞUR ve Ekrem KAPLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2011

Esen SOYDAŞ İŞILDAK

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT .....	xii
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ .....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı.....	2
1.3    Bulgular.....	5
1.3.1    Tekstil Atıksuyu Arıtımı Üzerinde Yapılan Çalışmalar .....	5
1.3.2    Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Modellemesinin Atıksu Arıtımındaki ve Anaerobik Arıtımdaki Uygulamaları .....	7
<b>BÖLÜM 2</b>	
BULANIK MANTIK (FUZZY-LOGIC) METODOLOJİSİ.....	9
2.1    Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri .....	10
2.2    Üyelik Fonksiyonları (Membership functions, mfs) .....	13
2.3    Bulanıklaştırma .....	15
2.4    Bulanık kurallar .....	16
2.5    Durulaştırma .....	16
2.6    Durulaştırmada Kuralların Harmanlanmasında Kullanılan 'VE' Operatörünün Çalışma Prensibi .....	20

## BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT .....	23
3.1 Tekstil Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan YAHCY Reaktör Sistemi ve İşletme Esasları .....	23
3.2 Bulanık Mantık Modelinde Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Tanıtılması .....	25
3.3 Model Datasının Tanımlayıcı İstatiksel Analizi.....	26
3.4 Model Datasının Bulanık Çıkarım Sisteminde (FIS) Değerlendirilmesi.....	30
3.5 Bulanık Çıkarım Sistemindeki Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi.....	31
3.6 Model Değişkenlerinin Bulanıklaştırılması (Fuzzification).....	33
3.7 Kural Tabanının Tanıtılması (Rule Base) .....	38
3.8 Non- Lineer Regresyon Analizi .....	40
3.9 Model Sonuçlarının Verifikasyonu .....	41

## BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
4.1 Non-Linear Regresyon Modeli .....	44
4.2 FL Modeli .....	47
4.2.1 MF Algoritmalarının Mukayesesi .....	47
4.3 Tahmin Sonuçlarının Verifikasyonu .....	50
4.4 Yorumlar ve Öneriler .....	55
KAYNAKLAR .....	57
EK-A	
DENEYSEL VERİLER .....	61
EK-B	
KONTROL VERİSETİ .....	63
EK-C	
5 Lİ TRAPEZ FONKSİYONU KURAL TABANI.....	64
EK-D	
8 Lİ TRAPEZ FONKSİYONU KURAL TABANI.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	68

## SİMGE LİSTESİ

---

FA2	İkinin Faktörü
FV	Fraksiyonel Varyans
IA	Uyuşma İndeksi
$\mu$	Üyelik Fonksiyonu
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Hata)
MBE	Ortalama Sapma Hatası
MSE	Mean Squared Error
NNI	Number of Non-linear Iterations
NMSE	Normalized Mean Squared Error
PSE	Proportion of Systematic Error
RMSE	Root Mean Squared Error
RMSE <sub>S</sub>	Root Mean Squared Error (Systematic)
RMSE <sub>U</sub>	Root Mean Squared Error (Unsystematic)
$R$	Korelasyon Katsayısı
$R^2$	Determinasyon Katsayısı
$R_a^2$	Ayarlanmış Determinasyon Katsayısı;
RA	Average of Residuals
RSS	Sum of Squared Residuals
SEE	Standart Error of Estimate
SR	Sum of Residuals

## KISALTMA LİSTESİ

---

AKM	Askıda Katı Madde (mg/L)
ALK	Alkalinite
ANFIS	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
AOX	Adsorblanabilir Klorlu Bileşikler
Ç.O	Çözünmüş Oksijen (mg/L)
DR	Seyreltme Oranı
FIS	Fuzzy Inference System (Bulanık Çıkarım Sistemi)
FL	Fuzzy Logic (Bulanık Mantık)
HBS	Hidrolik Bekletme Süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
MIMO	Multiple Input and Multiple Output (Çok Girdili ve Çok Çıktılı)
OYO	Organik Yükleme Oranı (OLR)
TAA	Toplam Aromatik Aminler
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde (TSS)
UYA	Uçucu Yağ Asitleri (VFA)
YAHÇYR	Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktör

## ŞEKİL LİSTESİ

---

	Sayfa
Şekil 2.1	Klasik sistem [23] .....11
Şekil 2.2	Bulanık mantığın temel elemanları [23].....12
Şekil 2.3	Klasik mantık [23].....14
Şekil 2.4	Bulanık mantık [23].....14
Şekil 2.5	En büyük üyelik ilkesi durulaştırması [24] .....17
Şekil 2.6	Centroid yöntemi durulaştırması [24] .....17
Şekil 2.7	Ağırlıklı Ortalama [24] .....18
Şekil 2.8	Ortalama en büyük üyelik durulaştırması [24] .....18
Şekil 2.9	En büyük alanın merkezi [24] .....19
Şekil 2.10	VE bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı örnek [24] .....20
Şekil 3.1	Deney Düzenegi [25] .....24
Şekil 3.2	Bulanık mantık mekanizması .....28
Şekil 3.3	FIS editörü .....31
Şekil 3.4	Üyelik fonksiyonları.....32
Şekil 3.5	MATLAB®V7.0 nümerik bilgisayar ortamındaki girdi ve çıktı değişkenleri ....33
Şekil 3.6	Alkalinite için 8’li trapez üyelik fonksiyonları .....34
Şekil 3.7	UYA için 8’li trapez üyelik fonksiyonları .....34
Şekil 3.8	Seyreltme oranı için 8’li trapez üyelik fonksiyonları.....34
Şekil 3.9	OYO için 8’li trapez üyelik fonksiyonları.....35
Şekil 3.10	TAKM için 8’li trapez üyelik fonksiyonları .....35
Şekil 3.11	Verim için 8’li trapez üyelik fonksiyonları .....35
Şekil 3.12	Biyogaz için 8’li trapez üyelik fonksiyonları.....36
Şekil 3.13	<i>IF-THEN</i> kural yapısının geliştirilmesi.....40
Şekil 4.1	DeneySEL verim değerleri ile fuzzy değerlerinin mukayesesi .....49
Şekil 4.2	DeneySEL biyogaz değerleri ile fuzzy değerlerinin mukayesesi .....49
Şekil 4.3	DeneySEL veriler ile model sonuçlarının mukayesesi (verim).....53
Şekil 4.4	DeneySEL veriler ile model sonuçlarının mukayesesi (biyogaz).....53



## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Klasik mantık - Bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar [23].....	10
Çizelge 2.2	Bulanık denetim uygulamaları [24]. .....	22
Çizelge 3.1	Tekstil atıksuyu karakterizasyonu [25] .....	24
Çizelge 3.2	Model dasetının tanımlayıcı istatistiksel analizi .....	27
Çizelge 3.3	Kural tabanının yazımında esas alınacak 45 adet kararlı hal sonucu.....	29
Çizelge 3.4	Girdi ve çıktı verilerine ait üyelik fonksiyonları ve değişken aralıkları .....	37
Çizelge 3.5	97 adet kural tabanından rastgele seçilen 35 kural.....	39
Çizelge 3.6	Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri .....	43
Çizelge 4.1	Non-lineer regresyon analizi sonuçlarının özeti .....	45
Çizelge 4.2	Seçilen en uygun model bileşenleri ve regresyon değişkenleri sonuçları..	46
Çizelge 4.3	Her bir mf fonksiyonundan (5'li, 8'li ) elde edilen (verim) sonuçları .....	47
Çizelge 4.4	Her bir mf fonksiyonundan (5'li, 8'li ) elde edilen (biyogaz) sonuçları .....	48
Çizelge 4.5	Model tahmin sonuçları (Verim).....	50
Çizelge 4.6	Model tahmin sonuçları (Biyogaz) .....	51
Çizelge 4.7	Kararlı hal veriseti için performans indisi ve model kıyaslaması .....	52

**SEYRELTİLMİŞ PAMUKLU TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMINDA YUKARI AKIŞLI HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖR (YAHÇYR) SİSTEMİNDEN ELDE EDİLEN KOİ GİDERİM VERİMİ VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİN FUZZY LOGIC (BULANIK MANTIK) TEKNİĞİ İLE MODELLENMESİ**

Esen SOYDAŞ IŞILDAK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. F. İlder TÜRKDOĞAN AYDINOL

Bu çalışmada, seyreltilmiş pamuklu tekstil atıksularının laboratuvar ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör (YAHÇYR) sistemi ile arıtılmasından elde edilen KOİ giderim verimi ve biyogaz üretiminin fuzzy logic (bulanık mantık) tekniği ile modellenmesi araştırılmıştır. Çalışmada, MATLAB® V7.0 yazılım programında mevcut "Bulanık Mantık Modülü" (Fuzzy Logic Toolbox) kullanılarak bir "Bulanık Çıkarım Sistemi" (Fuzzy Inference System - FIS) oluşturulmuştur. Bu maksatla, bir MIMO (çoklu girdili, çoklu çıktılı) modeli geliştirilmiş ve beş girdi değişkeni (giriş alkalinite (ALK), uçucu yağ asitleri (VFA), seyreltme oranı (DR), organik yükleme oranı (OLR), askıda katı madde (TSS)) yapay zekâ yaklaşımı ile bulanıklaştırılmıştır. Beşli ve sekizli trapez üyelik fonksiyonları ile bulanık altkümeler oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, en iyi sonucu veren sekizli trapez üyelik fonksiyonunda Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi kullanılarak IF-THEN formatında toplam 97 adet kural yazılmıştır.

Seçilen üyelik fonksiyonu için Bulanık Çıkarım Sistemindeki (FIS) OR, AND, IMPLICATION, AGGREGATION ve DEFUZZIFICATION metodlarında, literatürde en çok kullanılan (*prod*, *max*, *prod*, *sum*, *centroid*) FIS operatörleri alınmış ve en uygun FIS yapısı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada, bulanık mantık tahmininden çıkan sonuçlar ile non-lineer regresyon modellerinden elde edilen çıktı sonuçları karşılaştırılmıştır. YAHÇYR sisteminden elde edilen veriler için gerçekleştirilen modelleme sonuçlarına göre, nerilen MIMO bulanık mantık tabanlı modelinin non-lineer regresyon modellerine kıyasla potansiyel biyogaz üretimi ve KOİ giderim verimi tahmininde daha az sapma ve daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiş ve söz konusu çıktı parametreleri için determinasyon katsayıları ( $R^2$ ) sırasıyla 0.67 ve 0.88 üzerinde belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pamuklu tekstil atıksuyu, yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör (YAHÇYR), bulanık mantık, modelleme

**A FUZZY LOGIC-BASED MODEL TO PREDICT COD REMOVAL EFFICIENCY  
AND BIOGAS PRODUCTION RATES IN A UASB REACTOR TREATING  
DILUTED COTTON TEXTILE WASTEWATER**

Esen SOYDAŞ IŞILDAK

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Co-Advisor: Asst. Prof. Dr. F. İlder TÜRKDOĞAN AYDINOL

In this study, a MIMO (multiple inputs and multiple outputs) fuzzy logic-based model was developed to predict COD removal efficiency and biogas production rates from a lab-scale up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating diluted cotton textile wastewater. Five input variables such as influent alkalinity, volatile fatty acids (VFA), dilution ratio (DR), organic loading rate (OLR), suspended solids (TSS) were fuzzified by the use of an artificial intelligence-based approach.

In the study, "Fuzzy Logic Module" (Fuzzy Logic Toolbox) was created by using a "Fuzzy Inference System" (FIS) via MATLAB®V7.0 software program. Trapezoidal membership functions with five and eight levels were conducted for the fuzzy subsets, and a Mamdani-type fuzzy inference system was used to implement a total of 97 rules in IF-THEN format. The most widely used methods in the literature, *prod*, *max*, *prod*, *sum*, *centroid*, were employed as the inference operators for IMPLICATION, AGGREGATION and DEFUZZIFICATION methods conducted in this study.

Fuzzy logic predicted results were compared with the outputs of two exponential non-linear regression models derived in this study. Findings of this study clearly indicated that, compared to non-linear regression models, the proposed MIMO fuzzy-logic based model produced smaller deviations and exhibited a superior predictive performance

on forecasting both COD removal efficiency and biogas production rates with satisfactory determination coefficients ( $R^2$ ) over 0.88 and 0.67 respectively.

**Key words:** Cotton textile wastewater, up-flow anaerobic sludge blanket (UASB), fuzzy logic, modeling

#### 1.1 Literatür Özeti

Tekstil endüstrisi, doğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması ile dokuma, örme veya başka yöntemler aracılığıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi işlemlerini kapsar. Ayrıca tekstil endüstrisinde iplik, elyaf, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre gibi terbiye işlemleri de gerçekleştirilmektedir [1].

Tekstil endüstrisi atıksuları, büyük hacimli ve bileşimleri yönünden çok değişken karakterde atıksular olup; biyolojik olarak zor ayrışan organik maddeler, renk, toksik maddeler, inhibitör bileşikler, adsorblanabilir klorlu bileşikler, pH ve tuzlar içerir [2]. Tekstil endüstrisinde kullanılan hammadde, kimyasal, işlem ve teknolojinin çeşitliliğine bağlı olarak proste karmaşık kimyasal yapı ve çeşitlilikte atıksular ve buna bağlı olarak çevresel etkiler açığa çıkmaktadır. Bu endüstrilerde renk vermek için kullanılan sentetik karmaşık organik boyar madde kullanımı önemli bir artış göstermektedir. Boyar maddeleri içeren arıtma tesisi çıkış suları alıcı ortam kalite ve görüntüsünü estetik açıdan bozmaktadır. Doğal su kütleleri içerisindeki mevcut rengin varlığı nedeniyle estetik bozulma meydana gelmekte ve çözünmüş oksijen transferi engellenmektedir. Bu durum, sucul ortamdaki hayatı ciddi şekilde etkilemektedir [3].

Tekstil endüstrisi, en çok su kullanan endüstriler arasında yer almaktadır. Yaş dokuma prosesinde çok büyük miktarlarda su ve kimyasal madde tüketilmektedir. Bu durum, atık suyun debisini belirleyen bir faktör olmakla birlikte; tekstil terbiye endüstrisinde de, kullanılan suyun kalitesi önem taşımaktadır. Örneğin, sert su kullanımı kimyasal madde kullanımı arttırmasının yanında, terbiye işlemlerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, tekstil

endüstrisinde kullanılan suda istenilen özellikler, suyun kullanılacağı yer ve işleme göre farklılıklar gösterebilir.

Tekstil endüstrisinde haşıl sökme, kasar, boyama, basma, yıkama gibi yapılan işlemler oluşan atıksuyun nitelik ve niceliğini oluşturan aşamalardır. Bu aşamalarda kullanılan kimyasallar ve yardımcı maddeler, organik kirlilikler ve renk gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, kirliliğe sebep olan bu aşamaların bilinmesi önem arz etmektedir [1].

Tekstil endüstrisi üretim işlemleri sonucu ortaya çıkan yüksek organik kirlilik içeren atık suyun, alıcı ortama deşarjı öncesi arıtıma tabi tutulması ve istenilen kriterlere uygunluğunun sağlanması gerekmektedir. Atıksuyun özellikleri ve miktarı arıtma sistemi seçiminde önemlidir. Atıksuyun özelliklerini belirlemede dikkat edilmesi gereken parametreler şunlardır:

- KOİ ( Kimyasal oksijen ihtiyacı )
- BOİ ( Biyolojik oksijen ihtiyacı )
- AKM (Askıda katı madde )
- Renk
- Toksik Kimyasallar
- pH
- Sıcaklık
- Alkalinite
- Sülfür

## **1.2 Tezin Amacı**

Giyim ihtiyacı beslenme ve barınma ihtiyaçlarından sonra insan hayatının en önemli ihtiyaçlarından biridir. Turizm ve enformasyon sektörlerinden sonra gelen “Tekstil ve Giyim” sektörü, dünyada üçüncü büyük sektördür. Türkiye’de, 20.000’nin üzerinde tekstil imalatı yapan firma bulunmaktadır. Bu sebeple, tekstil sektörü ülkemizin en önemli sektörlerinden biridir. Günlük yaşamımızın her aşamasında, yatak örtüsünden, perdeye, havludan, işe giderken giydiğimiz giysilere kadar, tekstil insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Ülkemizde, tekstil sektöründeki atıksu miktarının toplam sanayi atıksularına oranı 2000 yılından 2004 yılına gelindiğinde %7'den %13'e artmıştır. Bu durum son yıllarda faaliyete geçen tekstil firma sayısının arttığını ve dolayısıyla sektörde oluşan atıksuların da arttığını göstermektedir. 2000 yılında arıtılan tekstil atıksularının %31'i şehir kanalizasyonuna ve %43'ü ise akarsulara deşarj edilmiştir. Arıtılmamış tekstil atıksularının %20'si şehir kanalizasyonuna ve %63'ü akarsulara deşarj edilmiştir. 2004 yılında ise arıtılan tekstil atıksularının %14'ü şehir kanalizasyonuna, %68'i akarsulara ve arıtılmamış atıksuların ise %60'ı şehir şebekesine %38'i akarsulara deşarj edilmiştir. Bu durum son yıllarda faaliyete geçen tekstil firma sayısının arttığını ve dolayısıyla sektörde oluşan atıksuların da arttığını göstermektedir.

Günümüzde, endüstriyel faaliyetlerdeki artış ve teknolojideki hızlı gelişme, çevresel yönetmeliklerin günden günde daha sıkı bir hal almasına sebep olmaktadır. Deşarj ve projelendirme kriterlerindeki bu kısıtlamalar, tekstil sektörlerini de istenen çıkış kalitesinin sağlanması maksadıyla zorunlu olarak atıksu arıtımına yönlendirmektedir. Literatürde, tekstil atıksularının arıtılmasına yönelik gerçekleştirilen güncel çalışmalar genel olarak incelendiğinde, bu çalışmaların çoğunun fizikokimyasal esaslı olduğu ve daha ziyade renk ve organik madde giderimi konularıyla sınırlandırıldığı görülmektedir. Özellikle, son yıllarda evsel atıksular dahil olmak üzere, gıda işleme ve kâğıt endüstrisi atıksuları ve hayvansal atıklar gibi organik menşeli pek çok atık ve atıksular hem havasız (anaerobik) olarak arıtılmakta, hem de biyogaz üretimiyle yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, tekstil atıksularında mevcut renk verici maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünebilir reaktif boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını bir bakıma zorunlu hale gerektirmektedir. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilâve karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlâve karbon metan ve karbondioksite dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar, elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani boyar maddeye taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek bağ yapısını indirgemektedir. Böylece anaerobik parçalanma sonucunda renk verici maddelerdeki bağ yapısı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmaktadır. Bu nedenle renk verici maddeleri gidermek için ilk adım kuvvetli bağ yapısının parçalandığı anaerobik



koşullar altında arıtım işlemi gerçekleştirilmelidir. Belirtilen bu potansiyel faydalardan ötürü, tekstil atıksularının anaerobik sistemlerde arıtılmasının, hem çevre kirliliğinin kontrolü hem de arıtma şemasındaki diğer ünitelere gelen kirletici yükünün düşürülmesi ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi açısından oldukça önemli potansiyel faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anaerobik arıtma sistemleri hidrodinamik şartlara, işletme koşullarına ve reaktör türlerine (örn: yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör, anaerobik filtreler, anaerobik perdeli reaktörler, genişleyen çamur yataklı reaktör, anaerobik hibrid reaktör, aşağı akışlı anaerobik reaktör, sıcaklık fazlı anaerobik çürütücü, sabit ve askıda büyüyen havasız sistemler, anaerobik döner biyolojik reaktör, vb.) bağlı olarak oldukça karmaşık bir davranış sergilemektedir. Bu açıdan anaerobik arıtma sistemleri pH, sıcaklık, alkalinite, uçucu yağ asitleri gibi temel fizikokimyasal parametrelerin yanında, prosesteki biyokütle aktivitesinin bir göstergesi olan biyogaz ve metan üretimleri açısından sürekli izlenmesi gereken biyolojik proseslerdir. Anaerobik arıtma sistemleri giriş pH değeri, organik ve hidrolik yükleme oranları, toksik madde konsantrasyonu, şok yüklemeler gibi bir çok proses şartından kolayca etkilenmekte olduğundan, prosesten sağlanacak biyogaz ve metan üretimleri de uygulanan proses koşullarına ve girdilerine oldukça bağımlılık göstermektedir. Bu maksatla, çok sayıda sistem faktörünün arasındaki bu karmaşık ve non-lineer ilişkinin prosesi temsil edici bir yapay zekâ esaslı tahmin modeli ile araştırılmasına yönelik modelleme çalışmalarının, değişen proses şartlarının daha hızlı ve daha hassas analizi açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Özellikle öğrenme kapasitelerindeki başarıları, çabukluğu, tahmin yetenekleri, girdi-çıkıtı ilişkisini kavrayabilecek non-lineer karakteristikleri ve kompleks bir matematiksel denklem yapısına ihtiyaç göstermemeleri sebebiyle yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (fuzzy-logic) ve bunların kombinasyonu olan uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) gibi yapay zeka esaslı tahmin modelleme teknikleri son yıllarda pek çok mühendislik alanında başarıyla uygulandığı görülmektedir. Literatürde, her ne kadar anaerobik arıtma prosesleri biyokimyasal açıdan oldukça kapsamlı olarak incelenmiş olsa dâhi, literatürde proses parametreleri arasındaki ilişkileri farklı matematiksel modeller ile araştıran çalışmaların oldukça yetersiz olduğu görülmektedir. Literatürdeki bu bilimsel boşluk göz önüne alındığında, tahmin modellemesi alanında en çok uygulanan yapay zekâ modellerinden olan

bulanık mantık esaslı gri kutu modelleme tekniğinin spesifik bir anaerobik arıtma sistemine uygulanması konusundaki araştırmalar, bu çalışmanın esasını teşkil etmektedir.

### 1.2.1 Bulgular

#### 1.2.2 Tekstil Atıksuyu Arıtımı Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Chen vd. [4] *proteus mirabilis* kullanarak 100 mg/L boya konsantrasyonunda 20 saat içinde (Red RBN) kırmızı azo boyanın %95 civarında indirgendüğünü bulmuşlardır. Benzer şekilde, Sani ve Banerjee [5], *Kurthia sp.* kullanarak, magenta, crystal violet ve malachitegreen boyaalarında %92-96 arasında renk giderimi elde etmişlerdir. Ayrıca, çalışmada TKOİ için yüksek oranlarda giderim verimi (%56-85) gözlenmiştir.

Karapınar Kapdan ve Kargı [6], tekstil boyar maddelerinin bir aktif çamur ünitesinde adsorpsiyonlu biyolojik arıtım ile giderimini araştırmıştır. Çalışmada, adsorban seçimi amacıyla toz (PAC) ve granüler aktif karbonun (GAC) yanında, zeolit, odun külü ve odun talaşı gibi düşük maliyetli adsorbanlar kullanılarak renk giderim kapasiteleri belirlenmiştir. Araştırmacılar, yaptıkları kesikli deneylerde odun külünün renk giderim kapasitesinin aktif karbon ile kıyaslanabilir edilebilir değerde olduğunu ve tekstil atıksuyundan etkin bir şekilde renk gideriminin gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada, odun külü ilâvesi ile Pak-Maya aktif çamur kültürü kullanılarak sürekli olarak işletilen bir aktif çamur ünitesinde değişik çamur yaşlarında ( $\theta_c = 3-30$  gün) biyolojik olarak renk giderimi sağlanmıştır. Odun külü ilaveli aktif çamur ünitesinde maksimum renk giderme verimi  $\theta_c = 20$  gün değerinde %37 olarak belirtilmiştir.

Sapci ve Üstün [7], atık pomza taşı kullanarak tekstil atıksuyundan renk ve TKOİ giderimini araştırmıştır. Çalışmada, ana kimyasal olarak  $\text{Ca(OH)}_2$  ve yardımcı kimyasal olarak  $\text{FeSO}_4$  kullanılmış ve kimyasal maddeler belirli oranlarda ortama ilâve edilmiştir. Bu kimyasallar ile adsorban olarak seçilen atık pomza taşının belirlenen bileşimi için (10 g pomza taşı, 0.6 g/L  $\text{FeSO}_4$  ve 0.6 g/L  $\text{Ca(OH)}_2$ ) maksimum renk ve TKOİ giderimleri sırasıyla %87 ve %91 olarak tespit edilmiştir.

Işık ve Sponza [8], Türkiye’de tekstil endüstrisinde kullanılan iki azo boyanın (Congo Red (CR) ve Direkt Black 38 (DB38)) parçalanması için iki fakültatif mikroorganizmayı (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas sp.*) kullanarak anaerobik ve aerobik şartlarda çalışmışlardır. CR ve DB38

boyalarından meydana gelen renklerin, E-coli kullanılan anaerobik şartlarda, sırasıyla %98 ve %72 ve *Pseudomonas sp.* kullanılan anaerobik şartlarda ise sırasıyla %100 ve %83 verimle giderildiğini tespit etmişlerdir. Ancak, aerobik inkübasyon sonucunda renk giderimi olmadığı gösterilmiştir.

Işık ve Sponza [9], pamuklu tekstil atıksuyu için hazırlanan simüle bir atıksuyun, anaerobik (YAÇYR, Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Reaktör)/aerobik (SKTR, Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör) şeklinde tasarlanmış ardışık reaktör sistemiyle arıtılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, anaerobik reaktörde  $\theta_h = 2.8$  gün değerindeki hidrolik bekletme süresi (HBS) ve  $L_0 = 1.13 \text{ kg/m}^3/\text{gün}$  değerindeki organik yükleme oranında %67 TKOİ giderimi elde edilmiş olup aynı şartlarda atıksudaki renk tamamen bertaraf edilmiştir. Benzer şekilde aerobik reaktörde  $\theta_h = 10$  gün değerindeki HBS ve  $L_0 = 0.104 \text{ kg/m}^3/\text{gün}$  değerindeki organik yükleme oranında %77 TKOİ giderimi elde edilmiştir. Bu değerlere göre söz konusu ardışık reaktör sisteminin kümülatif TKOİ giderme verimi %92 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, toplam aromatik aminler (TAA) birikmesi anaerobik sistemde görülmüş olup aerobik kademedeki %50 TAA giderimi sağlanmıştır. Araştırmacılar, ardışık reaktör sisteminde TKOİ ve renk giderimlerinin etkin bir şekilde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Işık [10], pilot ölçekli HÇYR sisteminde renk ve TKOİ giderimi üzerine tuzluluk konsantrasyonunun etkisini araştırdığı çalışmada, tuz konsantrasyonunun artmasının metan ve TKOİ giderim verimini etkilediğini ancak, renk gideriminde olumsuz bir etki oluşturmadığını belirlemiştir. Çalışmada 20 saat değerinde hidrolik bekletme süresi kullanılmış, tuzluluk konsantrasyonu arttırıldığında TKOİ giderim verimi %80'den %18'e düşerken renk giderimi %100 olarak gözlenmiştir.

Karapınar Kapdan ve Alparslan [11], ardışık olarak işletilen anaerobik dolgu kolon reaktör ile aktif çamur ünitesinden oluşan arıtma sistemiyle gerçek tekstil atıksuyundan renk ve TKOİ giderimini araştırmıştır. Çalışmada,  $\theta_h = 48$  saat değerindeki hidrolik bekletme süresinde %85 renk ve %90 TKOİ giderimi elde edilmiş olup artan hidrolik bekletme sürelerinde renk giderme veriminin azaldığı belirtilmiştir. Bunun nedeninin, anaerobik mikroorganizmaların uzun süre toksik aromatik bileşiklere maruz kalmaları neticesinde, boyar maddenin biyolojik olarak parçalanabilmesi için gerekli olan mikrobiyal performansın düşmesinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Santos vd. [12], Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR) sistemi kullanarak farklı hidrolik bekletme sürelerinde sentetik olarak hazırlanmış tekstil endüstrisi atıksuyunu arıtmışlar ve hidrolik bekletme sürenin 100 saatten 6 saate inmesi halinde TKOİ giderim veriminin %80'den %59'a düşerken, renk gideriminin %90'dan %96'ya yükseldiğini tespit etmişlerdir.

### **1.2.3 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Modellemesinin Atıksu Arıtımındaki ve Anaerobik Arıtımdaki Uygulamaları**

Fu ve Poch [13], işletilen bir aktif çamur prosesi kontrolü için bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Model için aldıkları değişkenleri, daha önce gözlenen online veriler, hesaplanan deneysel veriler ve prosenin işletilmesinden çıkan sonuçlardan oluşturmuşlardır. Geliştirilen modelin tahmin sonuçlarını, hesaplanan deneysel veriler ve ayrıca bazı dinamik matematiksel modeller ile karşılaştırmışlardır.

Estaben vd. [14], şarap endüstrisi atıklarının arıtımında bir anaerobik akışkan yataklı reaktör sistemi kullanmışlar ve bu prosesin kontrolünde bulanık mantık yeteneğinden faydalanmışlardır. Araştırmacılar, çıkış gaz akış hızı ve sıvı fazdaki giriş pH parametresini girdi değişkenleri olarak kullanılırken, giriş debisi de çıktı değişkeni olarak almışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçların birbirine yakın değerler olduğunu gözlemlemiş olup, oluşturulan bulanık mantık esaslı modelin proses kontrolü açısından kolaylık sağlayacağını tespit edilmiştir.

Murnleitner vd. [15], iki kademeli anaerobik atıksu önartımını modellemiş ve kontrol etmişlerdir. Reaktörlerin biyolojik durumu, bir bulanık mantık sistemi kullanılarak tahmin edilebilmiş ve buna dayalı aşırı yüklemeyi otomatik olarak engellemek için uygun kontrol yöntemleri ele alınmıştır. Sistem, substrat konsantrasyonu ve organik yükteki aşırı dalgalanmaları kontrol etmek maksadıyla dizayn edilmiştir. Bulanık mantık yönteminde; hacimsel yükleme oranı, metan ve hidrogen konsantrasyonu, gaz üretim oranı, pH ve dengeleme tankı dolmuş seviyesini girdi değişkenleri olarak alınmıştır. Model, laboratuvar ölçekli iki aşamalı anaerobik reaktör üzerinde başarıyla uygulanmış olup, gıda endüstrisi atıksuları gibi farklı atıksu örneklerinde iyi tahminler elde edilmiştir.

Polit vd. [16], anaerobik arıtma prosesleri için bulanık bir model oluşturmuşlardır. Literatürden alınan sayısal değerler ile bir kütle-denge modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, çıkış gaz debisini tahmin edilmiş olup; sıcaklık, pH, biyokütle büyüme oranı hesap için

kullanılmış ve bu parametreler bulanık katsayılarla çarpılmıştır. Modelden elde edilen tahmin sonuçları, mevcut deneysel veriseti ile karşılaştırılmış ve aynı zamanda farklı bir matematiksel modele karşı test edilmiştir. Yapılan karşılaştırmaların sonucunda, geliştirilen modelin uygun bir tahmin performansı gösterdiği tespit edilmiştir.

Altunkaynak vd. [17], Haliç'teki çözünmüş oksijen miktarındaki dalgalanmalar üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, öncelikle regresyon tekniği kullanılmış, daha sonra zaman serileri Takagi-Sugeno bulanık mantık yaklaşımı ile modellenmiştir. Çalışma kapsamında, Haliç'te 0.5 m (üst tabaka) derinlikte iki ayrı istasyondan alınan aylık çözünmüş oksijen konsantrasyonları modellenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, önceki ölçümlere bakılarak bir sonraki ayın çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Fuente vd. [18], bulanık mantık yöntemini kullanarak pH nötrölizasyon perosesinin kontrolü konusunda çalışmalar yapmıştır. Araştırmacılar, laboratuvar ölçeğinde çalıştırılan prosesi; yüksek, orta, düşük pH olarak bulanık bölgelere ayırmışlar ve online kontrol sisteminin bozulması durumunda, tesisin hangi pH aralığında faaliyet gösterdiğini bulanık modelleme tekniği ile başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Türkdoğan-Aydinol ve Yetilmezsoy [19], melas atıksuyu arıtımında kullanılan pilot ölçekli (90-L) bir yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı bir reaktör için bir MIMO (çoklu girdi ve çoklu çıktı) bulanık model geliştirmişler ve oluşturulan bulanık mantık esaslı model ile günlük biyogaz ve metan üretimlerini tahmin etmişlerdir. Çalışma kapsamında, beş girdi (hacimsel organik yük (OLR), toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (TCOD), giderim verimi, giriş alkalinite, giriş pH ve çıkış pH değerleri) yapay zekâ modeli ile bulanıklaştırılmıştır. Araştırmacılar, Mamdani tipi çıkarım sisteminde sekiz aşamalı trapez fonksiyonu oluşturarak toplam 137 kural yazmışlardır. Bulanık mantık tahminlerinin, deneysel çıktı parametreleri ve non-lineer regresyon modelleri ile karşılaştırıldığında MIMO modelin çok az sapmalarla en iyi sonucu verdiğini gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, determinasyon katsayısı 0.98'in üzerinde çıkmış olup, bulanık mantık esaslı model biyogaz ve metan üretimi tahmininde çok iyi bir performans sağlamıştır.

### BULANIK MANTIK (FUZZY-LOGIC) METODOLOJİSİ

Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Lotfi Zadeh [20], tarafından literatüre kazandırılmıştır. Önceleri bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığı ve hatta bilime karşı geldiği ileri sürülmesine rağmen, 1975 yılında Mamdani ve Assilian [21] tarafından yapılan bir kontrol uygulaması, bulanık kavram ve sistemlerin dikkat kazanmasına neden olmuştur. Bulanık modelleme, örnek bir veri seti ile tanımlanan ve içeriği kesin olarak bilinmeyen bir sistemin davranışını tahmin etmekte ve açıklamaktadır. Klasik matematiğe dayanan sistem modellemesi, eksik tanımlanmış ve belirsiz sistemler için pek uygun değildir. Bunun aksine, bulanık mantık sistemi, hassas nicel analizler kullanmadan insan bilgisinin ve yaklaşım süreçlerinin nitel taraflarını modelleyebilmektedir. Son yıllarda, popüler konular arasında ön sıralarda yer alan bulanık küme, mantık ve sistemler hemen hemen her mühendislik dalında uygulanır hale gelmiştir [22]. Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması halinde kişilerin görüş ve yargılarına yer vermesidir. İkincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir [23].

Çizelge 2.1 Klasik mantık - Bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar [23]

<b>Klasik Mantık</b>	<b>Bulanık Mantık</b>
A <u>veya</u> A Değil	A <u>ve</u> A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Zadeh'e göre bulanık mantık çoklu değerliliklidir (multi-variable). Klasik mantığın 0 – 1 önermelerine karşılık bulanık mantık, üç veya daha fazla sayıda önerme oluşturur [23].

Bulanık mantığın başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- “doğru” , “çok doğru” , “az çok doğru” v.b. gibi sözel olarak ifade edilen (linguistik-dilsel-değişkenli) doğruluk derecelerine sahip olması,
- Geçerliliği kesin değil fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olması,
- Her kavramın bir derecesinin olması,
- Her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi,
- Bulanık mantıkta bilginin, bulanık kısıtlara ait değişkenlerin esnekliği veya denkleğiyle yorumlanabilmesi şeklindedir.

## 2.1 Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri

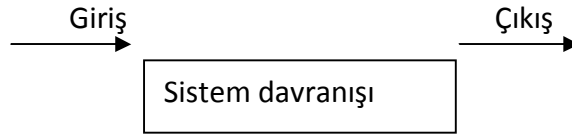
Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit varsayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Hâlbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması gerekir:

1. Bulanık küme normaldir, yani kümede bulunan elemanlardan en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekir.
2. Bulanık küme monotondur, yani üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik dereceleri de 1'e yakın olmalıdır.

3. Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafe hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetriklik özelliği adı verilir.

Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde çok değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Yani bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamasına gerek yoktur [23].

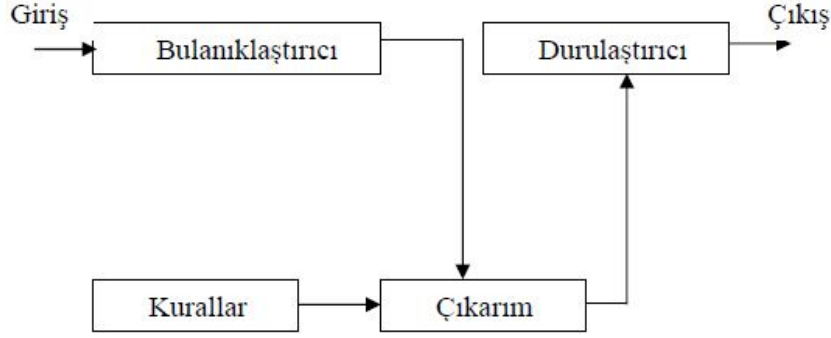
Genellikle bilinen matematik, kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 2.1' de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve "sistem davranışı" olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde çıkış veya işlemler yapılmaktadır.



Şekil 2.1 Klasik sistem [23]

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 2.2' de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.





Şekil 2.2 Bulanık mantığın temel elemanları [23]

**Girdi (input)** değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. **Bulanıklaştırıcının (fuzzificator)** görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin sayıları haritalamaktır. **Kurallar (Rules)** “Eğer-ise” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır [23].

Genel olarak bulanık kurallar aşağıdaki formdadır;

Kural 1: **Eğer**  $x = a1$  ve  $y = b1$  **İse**  $z = n1$

Kural 2: **Eğer**  $x = a2$  ve  $y = b2$  **İse**  $z = n2$

Burada  $x$  ve  $y$ , öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşullar,  $z$  ise soncul kısımdaki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçlardır [23].

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural tabanlı sistemlerde, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bulanık kural tabanında kullanılan insan deneyimlerinden elde edilen sözel (linguistic) bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır.

Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın **Çıkarım (inference)** makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. **Durulaştırma (defuzzification)** esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde birçok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur [23]. Seçilen sonuç değeri çoğunlukla ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir.

Genel olarak bir bulanık mantık işlemi, veri tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı, durulaştırma ve çıktı işlemlerinden meydana gelmektedir.

- Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olan olayın girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.
- Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, *EĞER-İSE* türünde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.
- Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
- Durulaştırma Birimi: Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir.
- Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir [23].

## 2.2 Üyelik Fonksiyonları (Membership functions, mfs)

Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Zadeh bulanık mantık kavramında, Aristo' nun 1 veya 0, var veya yok gibi iki kesin ve ayrı durum içeren klasik küme mantığının yerine insan düşüncesine daha yatkın olarak belirli değer aralıklarını sözel ifadelerle tanımlayarak, kümeler arası geçişe esneklik kazandırmış ve gerçek yaşamdakine benzetmiştir [23]. Bu durum basitçe şu şekilde açıklanabilir. Örneğin, Şekil 2.3'de görülen klasik küme teorisinde sıcaklık eğer  $16^{\circ}\text{C}$  ise soğuktur. Fakat Şekil 2.4' deki bulanık küme teorisinde ise  $16^{\circ}\text{C}$  sıcaklık için "sıcaktır" veya "soğuktur" diye kesin çizgilerle ayrılmış yargılar kullanılamaz.

Çünkü 16°C sıcaklık değerinin belli bir derecede sıcak kümesine ve belli bir derecede soğuk kümesine üyeliği bulunmaktadır. Şekil 2.4'deki küme mantığı insanın düşünme yeteneğine daha uyumlu bir yapıdadır [23].



Şekil 2.3 Klasik mantık [23]



Şekil 2.4 Bulanık mantık [23]

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler;

- Sezgi,
- Çıkarım
- Derecelendirme,
- Açılı bulanık kümeler,
- Yapay sinir ağları,
- Genetik algoritmalar,
- Çıkarımcı muhakeme

gibi değişik yaklaşımlardır [23].

Sezgi yöntemi, fazlaca teknik bilgi gerektirmemektedir. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışları önemli rol oynar. Derecelendirme yönteminde, bir bulanık değişkene anketler, soruşturmalar veya seçimler sonucunda üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır. Her zaman verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlem görülür. Açılı üyelik dereceleri koordinat bakımından alışlagelmiş bulanık kümelerden farklı olup, her  $2\pi$  aralığında kendisini tekrarlamaktadır. Üyelik fonksiyonlarının atanması ile ilgili olarak özellikle yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yöntemler de sıkça kullanılmaktadır [23].

### **2.3 Bulanıklaştırma**

Pratikte genel olarak klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek tüm öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Böylece, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilmekte ve bu belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklık durumundan bahsedilmektedir [23].

Bulanıklaştırma, verilen nümerik ayırık giriş parametrelerinin, bulanık işlem mekanizmasında değerlendirilmesi için bulanık kümelerle dönüştürülmesi işlemidir. Literatürde, birçok bulanıklaştırma şekli mevcut olup, bunlardan en çok kullanılanları; üçgen, yamuk veya Gauss biçimli üyelik fonksiyonları ile temsil edilenlerdir [23].

## 2.4 Bulanık kurallar

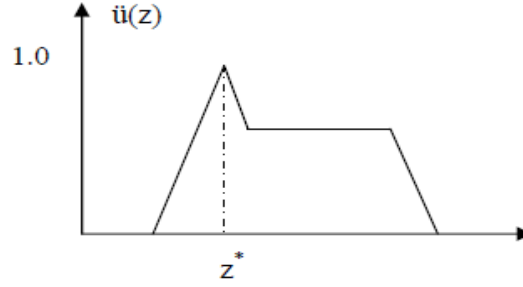
Bilgi işlemlerinin makineler tarafından algılanma yolu olan yapay zekâ alanında, bilgi işlemi için kullanılan yollardan bir tanesi de, bilgiyi insan dilindeki gibi bir ifade ile temsil etmektir. Bu en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yöntemidir. Böyle bir ifadede EĞER-İSE (IF-THEN) ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan EĞER ile İSE arasında bulunan kısma öncül veya ön koşul (**premise part or the antecedent part**), İSE den sonraki kısma ise soncul veya çıkarım (**consequent part**) adı verilir [23]. EĞER öncül İSE çıkarım; bu tür yapısı olan ifadelerle “EĞER-İSE kural tabanlı” biçim adı verilir. Bu ifade bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile bunların ışığında faydalı olan diğerlerinin çıkarılması anlamına gelir. Bu tür bilgiler, insanın kendi kişisel deneyimlerinden hareketle çıkardığı, yerine göre çok nesnel (objektif) olmayan sıgı bilgilerdir. Bunun karşısında, “derin bilgiler” in sözel olarak kolayca çıkarılması mümkün değildir. Örneğin Kepler yasaları ve Newton kurallarının gelişerek oluşmasında yılların gözlem, deneyim ve birikimleri vardır. Kural tabanlı bilgilerin uzmanlar tarafından verilen bilgilerden farklı tarafı uzmanlardan başka kaynaklardan da yararlanarak yazılabilmektedir [23]. Kural tabanlı olan bilgilerin gerek öncül gerekse de çıkarım olan son kısımları ayrı ayrı bulanıklaştırılarak işlemler yapılır.

## 2.5 Durulaştırma

Pratik uygulamalarda, özellikle teknik plan proje ve tasarımlarda, kesin olarak sayısal veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bulanık sistemlerin çıktılarının uygulamalarda doğrudan kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu durumda, bulanık çıktıların durulaştırılması gerekir. Durulaştırma işlemi, bulanıklaştırma işleminin tersi olup, bulanık çıktıların sayılara dönüştürülmesidir. Durulaştırma işlemi için pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır [24].

### 2.5.1 En Büyük Üyelik İlkesi

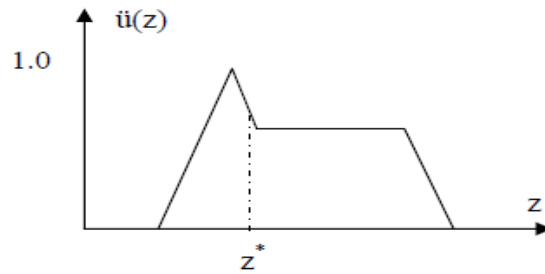
Bunun diğerk bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 2.5' de bu durulaştırma işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.5 En büyük üyelik ilkesi durulaştırması [24]

### 2.5.2 Ağırlık Merkezi

Durulaştırma işlemlerinde, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Şekil 2.6'da bu yöntem kullanılarak yapılan durulaştırma işlemi gösterilmiştir.

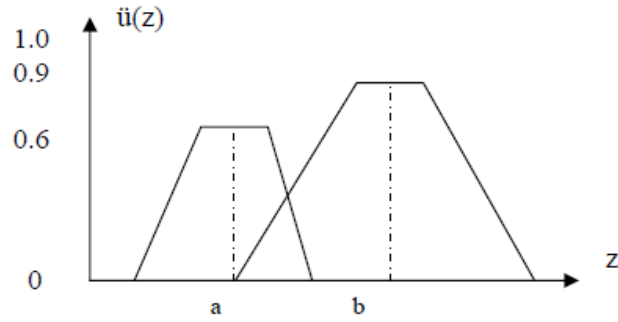


Şekil 2.6 Centroid yöntemi durulaştırması [24]

### 2.5.3 Ağırlıklı Ortalama Yönetimi

Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gerekir. Örneğin, Şekil 2.7'de görülen bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması (durulaştırılmış değeri):

$$z^* = \frac{a(0,6) + b(0,9)}{0,6 + 0,9} \quad (2.1)$$

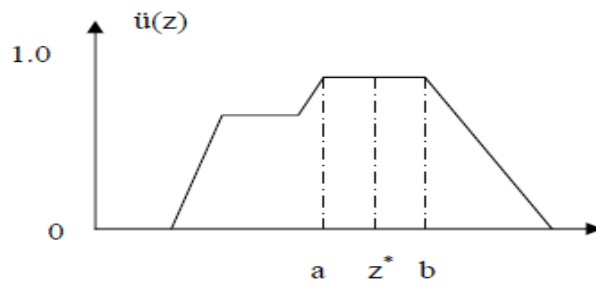


Şekil 2.7 Ağırlıklı Ortalama [24]

#### 2.5.4 Ortalama En Büyük Üyelik

En büyük üyelik ilkesine oldukça yakındır. Ancak en büyük üyelik değeri birden fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Yöntemin matematik ifadesi Şekil 2.8'deki gibidir.

$$z^* = (a + b) / 2 \quad (2.2)$$



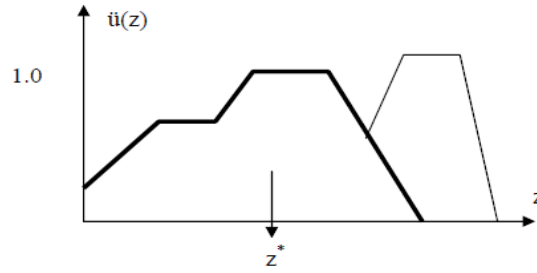
Şekil 2.8 Ortalama en büyük üyelik durulaştırması [24]

### 2.5.5 Toplamların Merkezi

Durulaştırma işlemlerinde en hızlı olan yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları kullanılır. Bunun bir sakıncası, örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Bu durum, bir bakıma hesaplama tarzı ağırlıklı ortalama durulaştırmasına benzer. Ancak bu yöntemde ağırlıklar, ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise bu, üyelik derecesidir.

### 2.5.6 En Büyük Alanın Merkezi

Eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa, bu bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Şekil 2.9 durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 2.9 En büyük alanın merkezi [24]

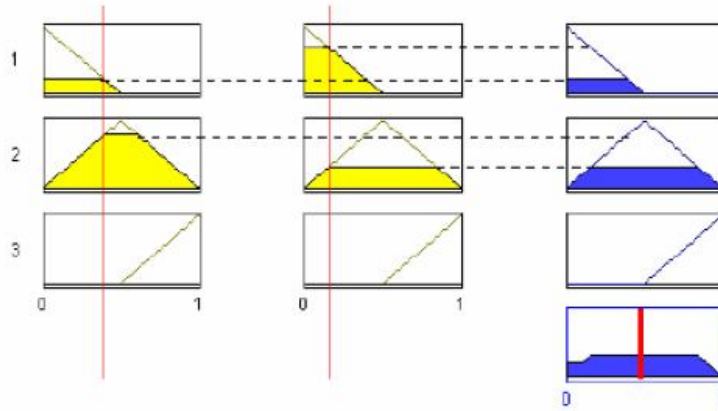
### 2.5.7 En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi

Bu yöntem, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede, en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır [24].



## 2.6 Durulaştırmada Kuralların Harmanlanmasında Kullanılan 'VE' Operatörünün Çalışma Prensipli

İki tane girdisi ve bir tane çıktısı olan bir sistemi ele alacak olursak ve kurallar arası harmanlamanın VE bağlacı ile yapılmış olduğunu varsayarsak bu durumda En Büyük-En Küçük (EB-EK) kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden küçük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır. Bahsedilen durum Şekil 2.10 'da görölmektedir.



Şekil 2.10 VE bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı örnek [24]

## 2.7 Bulanık Mantığın Farklı Uygulama Alanları

Günümüzde hemen hemen her alanda uygulama imkânı bulan bulanık mantık, özellikle sanayi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Japonya'da bulanık mantık tekniği özellikle bulaşık makineleri, çamaşır makineleri, elektrik süpürgeleri, video kameralara uygulanmıştır.

Bulanık mantık uygulamaları ilk olarak çimento sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Bu sektörde kireç taşı ve kil 1000-1400 derece sıcaklıkta reaksiyona girmektedir. Fırın içindeki sıcaklık ve oksijen oranı çimentonun kalitesini doğrudan etkilemektedir. Sadece bu konuda uzman operatörler istenilen limitler dâhilinde ürün elde edebilmektedirler. Ancak vardiyalı bir sistemle çalışan bu fabrikada çok sayıda operatör bulunmakta ve her operatörün uzmanlıklarının farklı olması nedeniyle farklı niteliklerde ve verimlilikte ürün elde edilmektedir. İstenilen kalitede ürün sadece bu işte yıllardır çalışan uzmanlar tarafından sağlanabilmektedir. Çimento üretimi bulanık bir yapıya sahiptir ve süreç kontrolünü bulanık kurallar sağlamaktadır. Örneğin, "ısıyı 10 derece yükselt" veya "5 derece azalt" gibi kesin kurallar değil "biraz azalt", "biraz yükselt" gibi bulanık terimlerle ifade edilen kurallarla

kontrol edilmektedir. Danimarka'da bu sürecin kontrolü için uzman operatörlerin kullandığı 50-60 pratik kuraldan hareketle bir mikro kontrolör oluşturulmuş ve sonuç olarak sabit ürün kalitesi ve yakıtta büyük tasarruf elde edilmiştir.

Daha sonraları bulanık mantık, insansız uçakların kontrolünde, tren frenleme sistemlerinde, ABS (otomatik fren sistemi) ve ASC (otomatik vites kontrolü) kontrolünde kullanılmıştır. Çizelge 2.2'de pratikteki bulanık mantık uygulamalarından bazı örnekler verilmiştir.

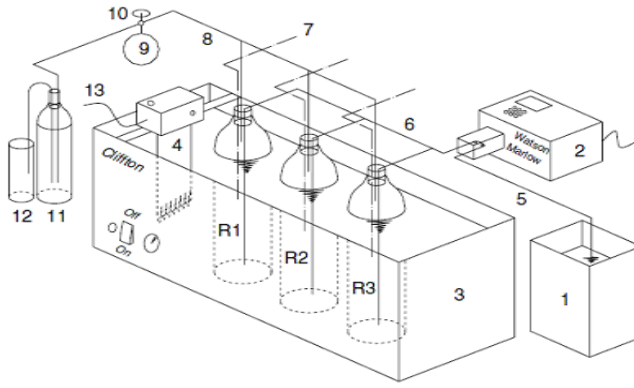
Çizelge 2.2 Bulanık denetim uygulamaları [24]

ÜRÜN	FİRMA	BULANIK MANTIĞIN İŞLEVİ
Asansör Denetimi	Fujitec –Toshiba Mitsubishi Hitachi	Yolcu trafiğini değerlendirir. Böylece bekleme zamanı azalır.
SLR Fotoğraf Makinesi	Sanyo –Fisher Canon Minolta	Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi fokusu ve aydınlatmayı belirler
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulması nedeniyle çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır.
Çamaşır Makinesi	Matsushita	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezer, ona göre yıkama programını seçer.
Elektrik Süpürgesi	Matsushita	Yerin durumun ve kirliliğini sezer ve motor gücünü uygun ayarlar.
Su Isıtıcısı	Matsushita	Isıtmayı kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima	Mitsubishi	Ortam koşullarını değerlendirerek en iyi çalışma durumunu algılar, odaya birisi girerse soğutmayı arttırır.
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.
Çelik Endüstrisi	Nippon Steel	Geleneksel denetleyicilerin yerini alır.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlanmasının yanı sıra durma konumunu iyi ayarlar, güçten tasarruf sağlar.
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chem	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar
El Bilgisayarı	Sony	El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır.

#### 3.1 Tekstil Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan YAHÇY Reaktör Sistemi ve İşletme Esasları

Çalışmada kullanılan deneysel veriler daha önceki bir çalışmadan (Yetilmezsoy ve Sapci-Zengin, 2009) alınmış ve şu şartlarda elde edilmiştir: Mezofilik şartlarda (36–37.5°C) , 80 gün boyunca toplam 1.2 litre hacimde 3 adet eşdeğer UASB reaktör ile çalışılmıştır. Isıtma ve su banyosu (Clifton) kullanılarak mezofilik şartlar sağlanmış, 4.5 ve 9 gün olmak üzere 2 HBS’inde çalışılmıştır. Hacimsel organik yükleme oranı (OLR), 0.072 ve 0.602 kg KOİ/m<sup>3</sup>/gün arasındadır. Arıtma prosesinin kararlılığı ve atıksu örnek bileşenleri Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında izlenmiştir. Deney düzeneği ile ilgili detaylı şema Şekil 3.1’ de gösterilmiştir [25].

Reaktörler, Tekel Bira Fabrikasından (İstanbul, Türkiye) alınan granüler biyokütle (25% çalışma hacminde) ile aşılacaktır. Daha sonra reaktörlere ayrı ayrı tekstil atık suyu eklenmiştir (toplam hacmin %61’i). Start-up (Başlangıç) periyodundan sonra, İstanbul’da (Türkiye) bir pamuklu tekstil atölyesinin çıkışından alınan tekstil atıksuyu evsel atıksu ile birlikte reaktörlere beslenmiştir. Sırasıyla beş farklı seyreltme oranında, 15, 30, 40, 45 ve 60 % evsel atıksu ile çalışılmıştır. Çalışılan pamuklu tekstil atıksuyu karakterleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney Düzenegi [25]

- (1) Besleme tankı
- (2) Zaman kontrollü peristaltik pompa
- (3) Sıcaklık kontrollü su banyosu
- (4) Sıcaklık ayarlayıcı termostat
- (5) Emme borusu
- (6) Giriş borusu
- (7) Çıkış borusu
- (8) Gaz toplama borusu
- (9) Gaz balonu
- (10) Gaz örneği
- (11) Gaz toplama tüpü
- (12) Ölçüm tüpü
- (13) Güç kablosu
- (R1) Reaktör-1
- (R2) Reaktör-2
- (R3) Reaktör-3

Çizelge 3.1 Tekstil atıksuyu karakterizasyonu [25]

Parametre	Değer
pH	9.4
Alkalinite (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	1750
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOİ (mg/l)	1757
Toplam Kjeldahl Azotu,TKN(mg/l)	16
Toplam fosfor,TP (mg/l)	34
Sülfat (mg/l)	760
Deterjan (mg/l)	10
Yağ ve gres (mg/l)	50
Renk (Pt-Co)	520
Toplam askıda katı madde,TSS (mg/l)	95
Mg (mg/l)	2.2
Fe (mg/l)	1.8
Mn (mg/l)	0.3
Zn (mg/l)	10
Pb (mg/l)	0.3
Cr (mg/l)	3
Ni (mg/l)	0.4
Co (mg/l)	<0.03
Pb (mg/l)	0.3
Cu (mg/l)	0.3

### 3.2 Bulanık Mantık Modelinde Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Tanıtılması

Biyolojik arıtma sistemlerinde kullanılan gözlem parametrelerinin tespiti, anaerobik proseslerin verimli bir şekilde işletilmesinde oldukça önemlidir. Çalışılan prosesin özelliklerinin belirlenmesinde en uygun model bileşiklerinin seçimi olası teknik hataların önceden tespitini sağlamakla birlikte planlama aşamasında tesisin işletme maliyetini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Literatürde parametrelerin seçiminde bir çok yöntem mevcuttur [26].

Bu çalışmada, mevcut deneysel verilerin seçiminde, en uygun giriş yapısı oluşana kadar bir çok parametre kombinasyonu denenmiş ve en yüksek tahmin performansını sağlayan girdi değişkenleri belirlenmiştir. Ön deneme çalışmalarını müteâakip, giriş alkalinite, uçucu yağ asidi (UYA), seyreltme oranı (DR), organik yükleme oranı (OYO) ve toplam askıda katı madde (TAKM) değişkenleri bu çalışmada 'input' parametreleri olarak seçilmiştir. YAHÇY reaktörde günlük biyogaz üretimi ve KOİ giderim verimi önerilen bulanık mantık modelinde 'output' parametreleri olarak göz önüne alınmıştır. Literatürde en çok kullanılan ve izlenen model parametreler dikkate alınarak bu çalışma kapsamındaki bulanık mantık modelini oluşturulan girdi ve çıktı değişkenleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır:

**Alkalinite**, en basit anlamda çözeltideki pH değişimlerine karşı direncin bir ölçüsüdür. Çözeltiye asit eklenirse, karbonatlar hidrojen iyonlarına bağlanmakta ve asiti nötralize etmektedir. Bu durum, alkalinitenin tamponlayıcı etkisi olarak bilinmektedir [27]. Bununla beraber alkalinite sadece pH düzenlemede değil, metan üretiminde CO<sub>2</sub> tamponlayıcı bir özellik de sağlamaktadır. Genel olarak, alkalinite ilavesinde bakteriyel aktiviteyi bozmadan dengeyi istenen eşitlik değerine yavaşça kaydıran tek kimyasal olan sodyum bikarbonat kullanılmaktadır [27].

Anaerobik arıtmada, **uçucu yağ asidi (UYA)** konsantrasyonlarındaki değişim en hassas parametredir. Asitojenik, asetojenik ve methanejenik organizmalar arasındaki dengeyi etkiler [27].

**Organik yükleme oranı (OYO)**, özellikle havasız arıtma sisteminin karakterini ve mikrobiyal ekolojisini etkileyen önemli bir parametredir. Bu parametre, aynı zamanda

reaktör karakterini, işletme özelliklerini ve ortamdaki bakteriyel kütle ve aktivitesini de tanımlamaktadır [28]. Verma [29], organik yükleme oranını anaerobik arıtma sisteminin biyolojik dönüşüm kapasitesinin ölçüsü olarak tanımlamıştır. Bu durum, kullanılan teknoloji ve arıtılacak atıksuyun özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [29].

**Toplam askıda katı madde (TAKM)** konsantrasyonu bu çalışmada çıkış suyu kalitesinin belirlenmesinde bir kontrol parametresi olarak seçilmiştir.

**Biyogaz ve metan üretim oranları:** Herhangi bir anaerobik arıtmada, prosesin verimliliği genellikle biyogaz üretim oranı ile açıklanır [30]. Biyogaz reaktörünün işletilmesinde en önemli aşama atıksudaki organik maddenin biyolojik olarak bozunmasından elde edilen metan üretimini en yüksek seviyeye çıkaran arıtma prosesinin kontrolüdür. Biyogazdaki ve metan içeriğindeki azalmalar, anaerobik bozunmada kararsız proses şartlarının potansiyel indikatörleridir. Sistemin kararlılığı metan içeriğinin 65% olması durumunda dikkatle incelenmelidir [30]. Gaz üretim oranı tüm anaerobik biyokütle aktiviteleri için indikatör durumundadır [30]. Bu nedenle, bu çalışmada, biyogaz üretim oranı da KOİ giderim verimi ile birlikte model tahmininde çıkış (output) parametresi olarak alındı.

### 3.3 Model Datasının Tanımlayıcı İstatiksel Analizi

Çalışma kapsamında oluşturulan bulanık mantık modeli, beş girdi (OYO, Alkalinite, UYA, Seyreltme Oranı = DR, TAKM) ve iki çıktı ( $Q_{\text{metan}}$  = Günlük metan gazı üretimi, KOİ giderim verimi) yapısından oluşan bir MIMO (Multiple Input Multiple Output) modelidir. Modelleme için laboratuvar çalışmalarından elde edilen 60 adet veriseti ayrılmış, 45 adet veriseti ile modelin eğitimi gerçekleştirilmiş ve 15 adet veriseti de kontrol amaçlı kullanılmıştır. Modelde her bir çıktı (verim ve biyogaz) değişkeni için 5 ve 8 adet trapez üyelik fonksiyonu (trapmf) kullanılmış ve bunlar sırasıyla 5'li set için A, B, C, D, E ve 8'li set için ise A, B, C, D, E, F, G, H şeklinde kategorize edilmiştir.

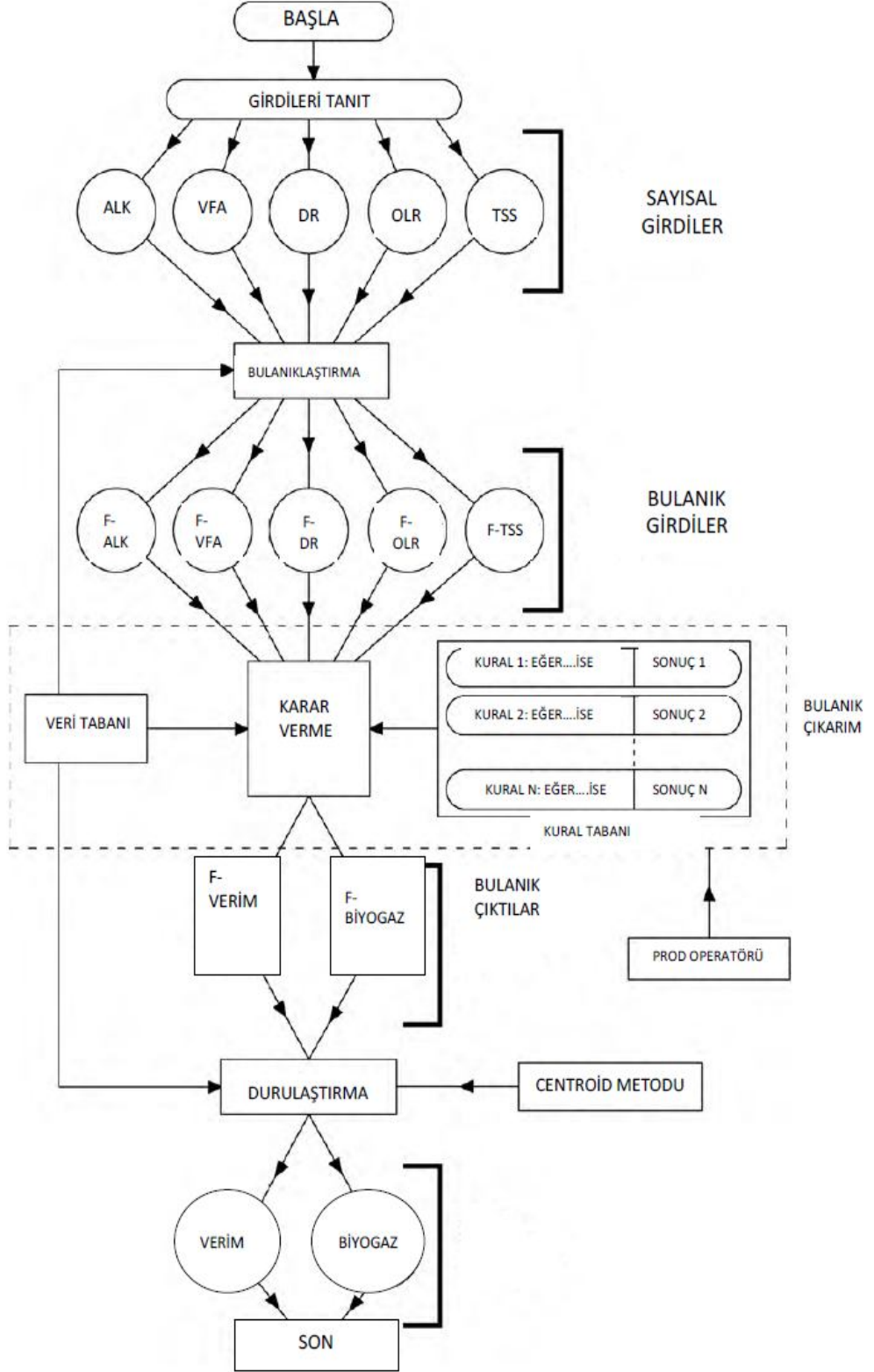
Kural tabanı yazılırken, bulanık kısımlara (yani herhangi iki kategorinin tam kesişim bölgesine) tekabül eden sayısal veriler tanımlanırken, üyelik ( $\mu$ ) olarak her iki kategori de esas alınmıştır. Kesişim noktasının sağında veya solunda kalan bölgeler için üyelik derecesi en yüksek olan kategoriler kural tabanına dahil edilmiştir. Bulanık Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System = FIS) Ebrahim Mamdani (1975) tarafından önerilen

türde (Mamdani's type) olup, bulanık çıkarım sistemi (FIS) modülünde sırasıyla; AND (Ve) = prod, OR (Veya) = max, Implication (Karıştırma) = prod, Aggregation (Birleştirme) = sum, Defuzzification (durulaştırma) = centroid (COG) operatörleri kullanılmıştır. Yukarıdaki bilgilere göre bu çalışmadaki bulanık model mekanizması Şekil 3.2'de, model datasının istatistiksel analizi Çizelge 3.2'te verilmiştir. Çizelge 3.3'te ise kural tabanının yazımında esas alınan 45 adet kararlı hal sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Model datasının tanımlayıcı istatistiksel analizi

Parametre	Birim	Sayı	Max. değer	Min. değer	Ortalama	Standart sapma
Giriş parametreleri						
Alkalinite	mg/l CaCO <sub>3</sub>	60	1800	1400	1572	104.94
UYA	Mg/l CH <sub>3</sub> COOH	60	720	455	585	65.32
DR (Seyreltme oranı)	%	60	0.6	0,15	0.28	0.11
OYO	kg KOI/m <sup>3</sup> /gün	60	0.072	0,599	0.26	0.13
TAKM	mg/l	60	79	295	0.156	53.63
Çıkış parametreleri						
Verim	%	60	32	64	47	6.57
Biyogaz	%	60	23	100	64	63.51





Şekil 3.2 Bulanık mantık mekanizması

Çizelge 3.3 Kural tabanının yazımında esas alınacak 45 adet kararlı hal sonucu

ALK	UYA	D.R	OYO	TAKM	VERİM	BİYOĞAZ
1420	520	0.4	0,244	155	45	67
1610	490	0.4	0,168	160	35	67
1460	493	0.3	0,160	192	42	71
1450	500	0.3	0,160	192	42	56
1420	495	0.3	0,175	194	40	84
1440	489	0.3	0,160	189	38	89
1500	510	0.3	0,156	187	46	89
1450	535	0.3	0,156	188	46	95
1400	600	0.3	0,086	184	48	67
1450	595	0.3	0,084	186	50	56
1440	594	0.3	0,084	183	46	72
1450	580	0.3	0,088	184	50	78
1510	596	0.3	0,086	185	50	83
1460	622	0.5	0,274	201	56	78
1590	620	0.15	0,350	226	56	45
1590	600	0.15	0,350	229	52	61
1600	564	0.15	0,244	228	56	50
1605	532	0.15	0,198	225	44	56
1500	520	0.15	0,164	213	40	61
1460	606	0.15	0,103	182	52	105
1580	609	0.15	0,072	180	50	89
1640	605	0.4	0,338	116	51	56
1690	602	0.4	0,312	99	45	72
1600	592	0.4	0,256	82	40	61
1800	599	0.4	0,227	85	41	78
1615	690	0.3	0,359	109	51	111
1600	701	0.3	0,327	111	50	61
1680	720	0.3	0,385	109	50	61
1670	690	0.3	0,277	108	45	67
1650	685	0.3	0,272	106	51	28
1660	630	0.3	0,247	104	52	45
1650	626	0.3	0,244	102	51	67
1625	615	0.15	0,338	154	50	45
1650	620	0.15	0,322	140	47	23
1620	630	0.15	0,316	132	53	50
1730	634	0.15	0,322	122	49	45
1780	640	0.15	0,280	118	45	56
1700	615	0.15	0,202	115	48	60
1510	622	0.15	0,398	290	64	73
1600	610	0.15	0,276	280	57	40
1530	455	0,6	0,345	130	32	28
1420	468	0,6	0,559	99	34	61
1630	545	0,45	0,569	90	44	61
1690	520	0,3	0,599	79	43	34
1600	520	0,3	0,544	94	36	56

### 3.4 Model Datasının Bulanık Çıkarım Sisteminde (FIS) Değerlendirilmesi

Bulanık teori [31] gerçek dünya uygulamalarındaki mevcut tutarsızlık ve belirsizlikten kaynaklanan kesin olmayan olayları tanımlamak için sunulmuştur. Biswas ve ark. [31] bulanık mantığın, davranışları iyi anlaşılabilen karmaşık sistemlerin modellenmesi için son derece yararlı bir araç haline geldiğini belirtmiştir. Bir çevresel proseste, değişkenler arasındaki nitel karmaşık ilişkiler göz önüne alındığında, bulanık mantık yöntemi geleneksel yöntemlerde kullanılan karmaşık denklemler yerine dilsel açıdan nispeten basit matematiksel bir avantaja sahiptir. Bulanık mantık tabanlı bir modelde karmaşık ampirik formüller ve yorucu matematiksel ifadeler gerek olmadığından, bu teknik tahmin modellemesinde şeffaf ve sistematik bir analiz sağlamaktadır [25].

Genel bir bulanık sistemin temelde dört bileşenden oluşur: Bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım sistemi ve durulaştırma.

Daha önce de ifade edildiği gibi bulanıklaştırma adımında, sayısal giriş ve çıkış değişkenleri, dilbilgisi terimlerine ya da bazı özel sıfatlara (örneğin, yüksek, büyük, küçük, vb düşük gibi) dönüştürülür. Bir veya daha fazla birkaç üyelik fonksiyonlarının karşılık gelen derece fonksiyonları belirlenir [25]. Ölçülen giriş parametreleri, belirli bulanık üyelik fonksiyonları içinde tanımlanmış olmalıdır.

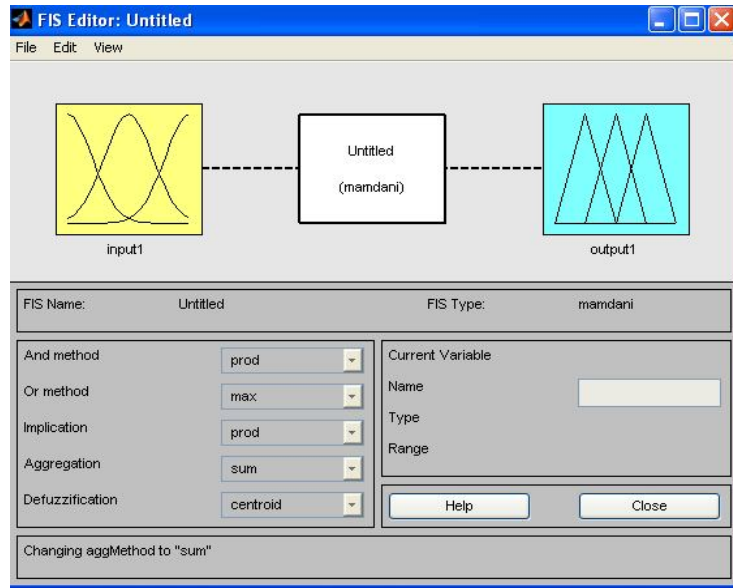
Bulanık kural tabanı, giriş ve çıkışları arasındaki olası tüm bulanık ilişkilerin dâhil olduğu kuralları içerir. Bulanık küme teorisinde, hiçbir matematiksel denklem ve model parametresi yoktur ve bu nedenle, tüm belirsizlikler, doğrusal olmayan ilişkiler ve model komplikasyonlar-tablolar, "EĞER-İSE" yapısı şeklinde açıklayıcı bulanık çıkarım işlemine dâhildir [32].

Bulanık çıkarım sistemi, bulanık kural tabanı önceden tanımlanmış tüm bulanık kuralları dikkate alır ve çıktılar için giriş seti dönüşümünün nasıl olduğunu öğrenir [32]. Bu adım, temel olarak minimizasyon (min) ve prod (ürün) olmak üzere, iki çeşit çıkarım operatörü ile yapılmaktadır [32].

Bu çalışmada, bulanık kural tabanında bulanık kümelerde girdi ve çıktı arasındaki bütün ilişkilerin belirlenmesinde daha iyi bir performans göstermesi nedeniyle prod tekniği kullanılmıştır. Ayrıca, Türkoğan-Aydınoğ ve Yetilmezsoy (2010) [19] tarafından yapılan benzer çalışmada olduğu gibi bulanık çıkarım sisteminde (sum) operatörü kullanılmıştır.

Durulaştırma adımında, bulanık çıkarımda edilen dilsel sonuçlar verilen kural tabanı kullanılarak bir gerçek sayısal çıkışa (gerçek değere) çevrilir [33]. Literatürde, birçok durulaştırma yönetemi, ağırlık merkezi (COG veya centroid), alan, açıortay, max. değer, en sağda olan, en solda olan değer, ortalama gibi birçok durulaştırma yöntemleri belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan FIS editörü, Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Durulaştırma aşamasında, çeşitli araştırmacılar [6,12,14,17] tarafından önerilen ve en çok kullanılan durulaştırma tekniği olan COG yöntemine başvurulmuştur [34,35,36,37]. Bu yöntem aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır :

$$(y_i)_d = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(y_i) y_i}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)} \quad (3.4)$$



Şekil 3.3 FIS editörü

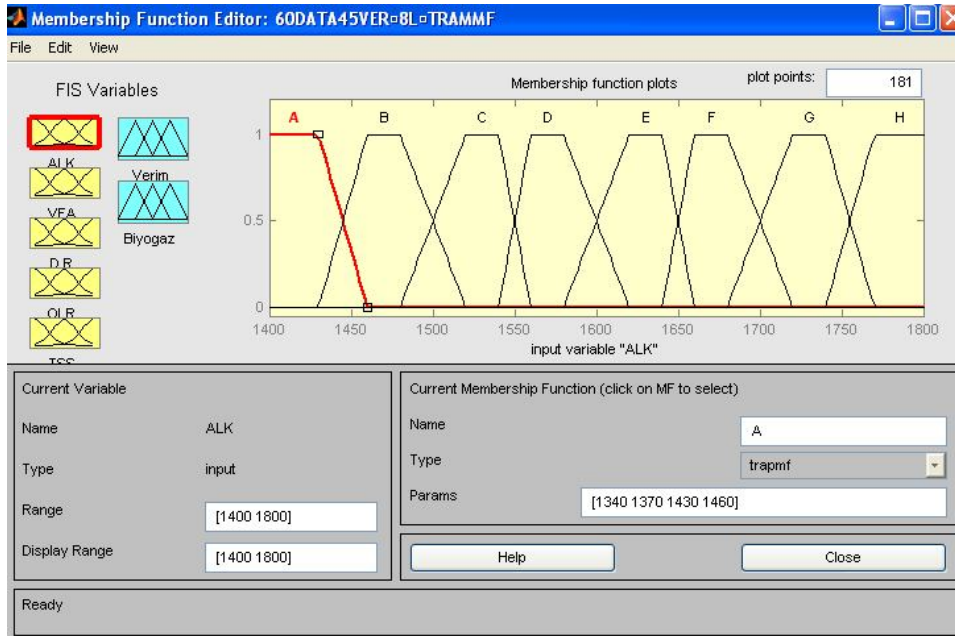
### 3.5 Bulanık Çıkarım Sistemindeki Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık mantıkta belirsizlik durumları, durumu temsil eden elemanlar kümesine uygun üyelik fonksiyonları verilerek tanımlanmıştır. Her eleman için 0 ile 1 arasında değişim (en yüksek seviye) değerine üyelik derecesi adı verilmektedir [38]. Bulanık tabanlı modellerde, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının şekli, çalışılan sistemin özelliğine göre, trapez, çan şeklinde, sigmoid, üçgen veya başka uygun formda olabilmektedir [39,40]. Bunların arasında, üçgen ve trapez şeklinde üyelik fonksiyonları bulanık küme

teorinin güncel uygulamalarında, hem tasarım ve uygulama kolaylıkları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, trapez şekilli üyelik fonksiyonlarının farklı kombinasyonları (5'li ve 8'li ) en uygun model yapısının araştırılması için kullanılmıştır. 8 düzeyli trapez şekilli üyelik fonksiyonu, (Şekil 3.4) bu çalışmada diğer model yapılarına göre daha yüksek performans göstermiştir. Trapez şekilli üyelik fonksiyonu;  $x, a, b, c, d$ , gibi şu dört skaler parametrelere bağlıdır [32]:

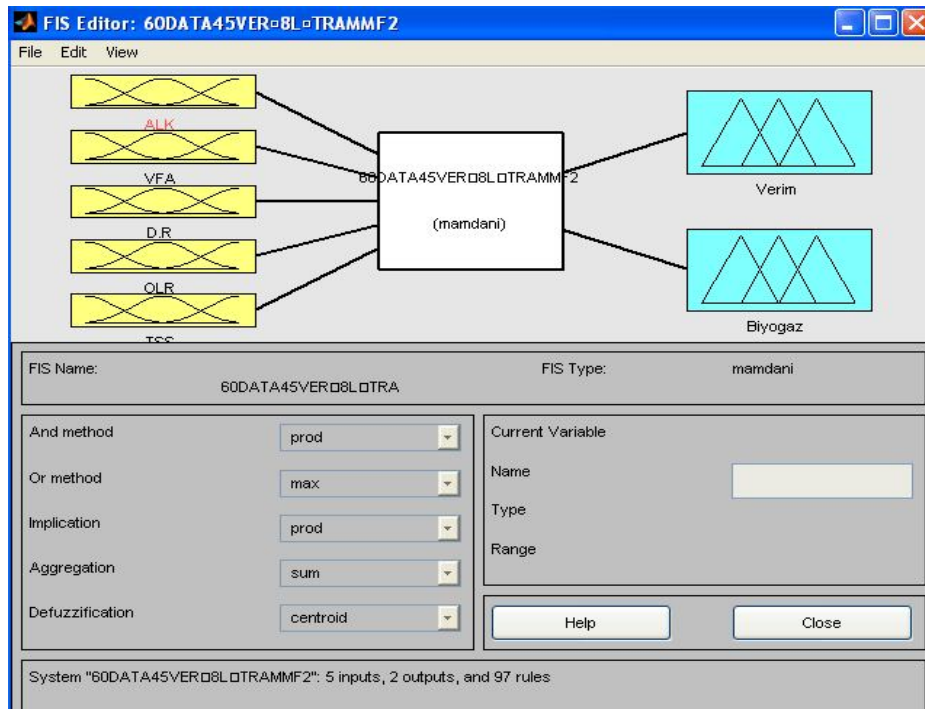
$$\mu(x) = \mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (3.5)$$



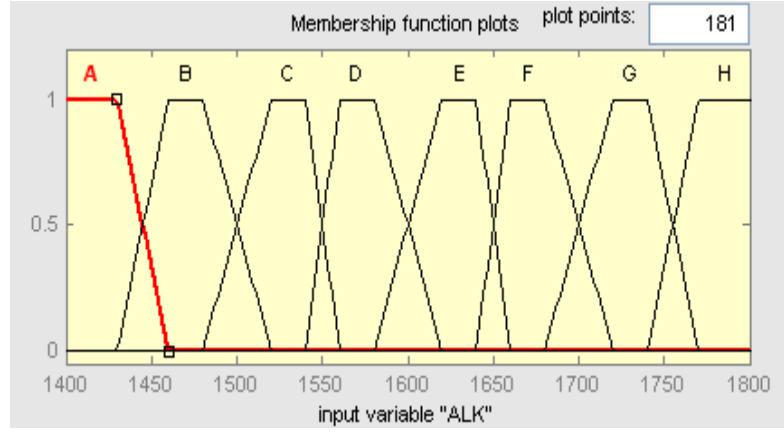
Şekil 3.4 Üyelik fonksiyonları

### 3.6 Model Değişkenlerinin Bulanıklaştırılması (Fuzzification)

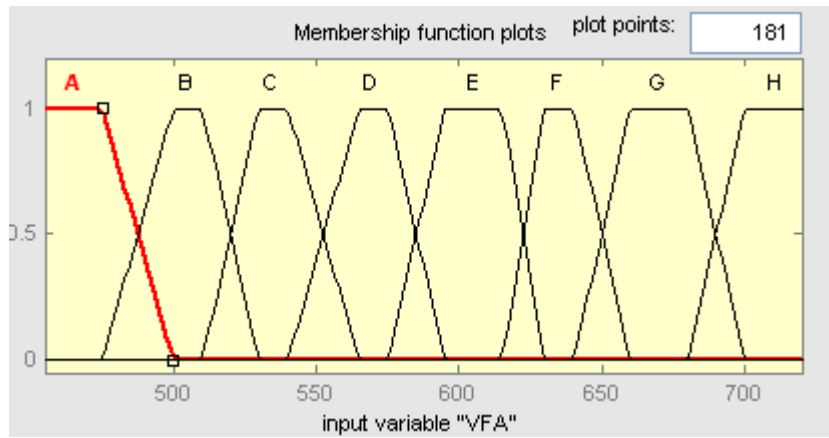
Bu çalışmada, Fuzzy Logic Toolbox, MATLAB®V7.0 çerçevesinde mevcut Bulanık Çıkarım Sistemini (FIS) oluşturmak ve düzenlemek için kullanılmıştır. Girdi ve çıktı değişkenleri, FIS Editör kullanılarak inşa edilmiş ve trapez üyelik fonksiyonları (trapmf) ile bulanıklaştırılmıştır. Şekil 3.5’ de, MATLAB®V7.0 nümerik bilgisayar ortamındaki girdi ve çıktı değişkenleri gösterilmektedir. Her bir girdi ve çıktı değişkeni sekiz üyelik fonksiyonu için A, B, C, D, E, F, G, H kategorilerine ayrılmıştır. Girdi ve çıktı parametrelerine ait üyelik fonksiyonları Şekil 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve Şekil 3.12’de sırasıyla gösterilmiştir.



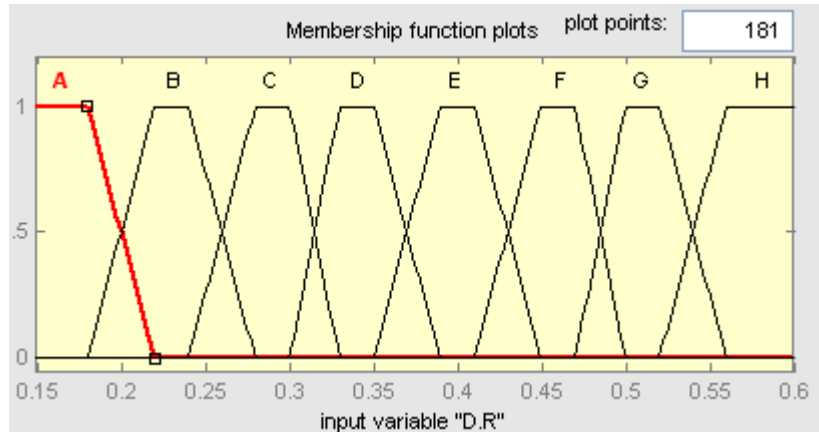
Şekil 3.5 MATLAB®V7.0 nümerik bilgisayar ortamındaki girdi ve çıktı değişkenleri



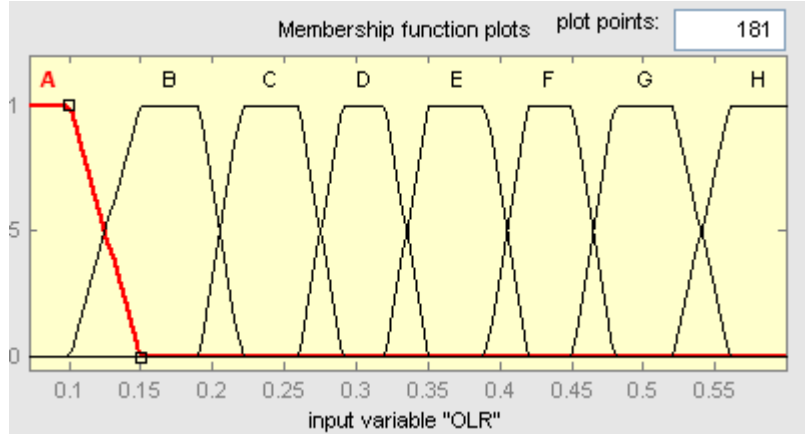
Şekil 3.6 Alkalinite için 8'li trapez üyelik fonksiyonları



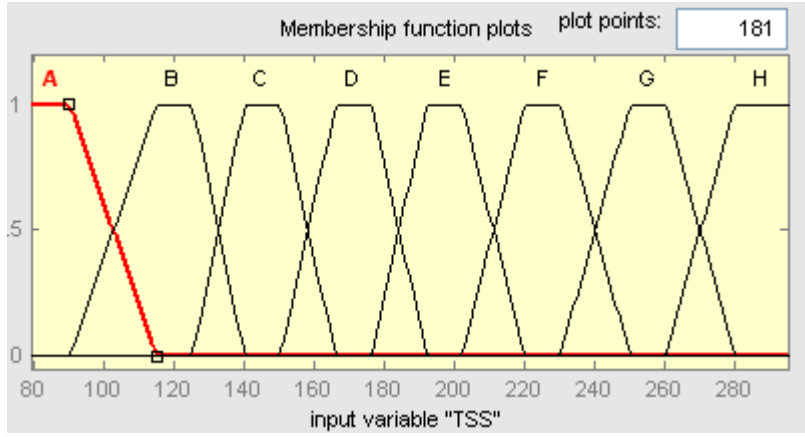
Şekil 3.7 UYA için 8'li trapez üyelik fonksiyonları



Şekil 3.8 Seyreltme oranı için 8'li trapez üyelik fonksiyonları



Şekil 3.9 OYO için 8'li trapez üyelik fonksiyonları

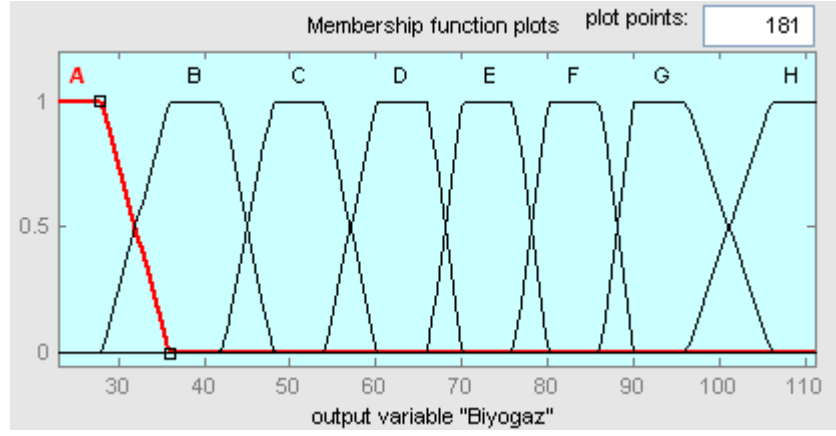


Şekil 3.10 TAKM için 8'li trapez üyelik fonksiyonları



Şekil 3.11 Verim için 8'li trapez üyelik fonksiyonları





Şekil 3.12 Biyogaz için 8'li trapez üyelik fonksiyonları

Çizelge 3.4 Girdi ve çıktı verilerine ait üyelik fonksiyonları ve değişken aralıkları

Üyelik fonksiyonları	Girdi değişkenleri					Çıktı değişkenleri	
	ALK	VFA	DR	OLR	TSS	Verim (KOİ)	Biyogaz
Derece	[1340 1460]	[455 720]	[0.15 0.6]	[0.072 0.599]	[79 295]	[32 64]	[23 111]
<b>A</b>	[1340 1460 1430 1460]	[410 435 475 500]	[0.08 0.12 0.18 0.22]	[-0.006 0.044 0.1 0.15 ]	[43 68 90 115]	[27 30 34 37]	[10 18 28 36]
<b>B</b>	[1430 1460 1480 1520]	[475 500 510 530]	[0.18 0.22 0.24 0.28]	[0.1 0.15 0.19 0.22]	[90 115 125 140]	[34 37 39 41]	[28 36 42 48]
<b>C</b>	[1480 1520 1540 1560]	[510 530 540 565]	[0.24 0.28 0.30 0.33]	[0.19 .22 0.26 0.29]	[125 140 150 166]	[39 41 43 45]	[42 48 54 60]
<b>D</b>	[1540 1560 1580 1620]	[540 565 575 595]	[0.30 0.33 0.35 0.39]	[0.26 0.29 0.32 0.35]	[150 166 176 192]	[43 45 47 49]	[54 60 66 70]
<b>E</b>	[1580 1620 1640 1660]	[575 595 615 630]	[0.35 0.39 0.41 0.45]	[0.32 0.35 0.39 0.42]	[176 192 202 220]	[47 49 51 53]	[66 70 76 80]
<b>F</b>	[1640 1660 1680 1720]	[615 630 640 660]	[0.41 0.45 0.47 0.5]	[0.39 0.42 0.45 0.48]	[202 220 230 250]	[51 53 55 57]	[76 80 86 90]
<b>G</b>	[1680 1720 1740 1770]	[640 660 680 700]	[0.47 0.5 0.52 0.56]	[0.45 0.48 0.52 0.56]	[230 250 260 280]	[55 57 59 62]	[86 90 96 106]
<b>H</b>	[1740 1770 1830 1860]	[680 700 740 760]	[0.52 0.56 0.64 0.68]	[0.52 0.56 0.638 0.678]	[260 280 310 330]	[59 62 66 69]	[96 106 116 126]

### 3.7 Kural Tabanının Tanıtılması (Rule Base)

Bulanık mantığın amacı girdi ve çıktı değişkenleri (veya eylemler ve sonuçları) arasındaki ilişkileri tanımlamak ve model parametrelerini tahmin etmek olduğundan bu nedenle, bazı çıkarımları "EĞER-İSE" şeklinde "kurallar" olarak belirtilen mantıksal ifadelerle tanımlanmaya ihtiyaç vardır [32].

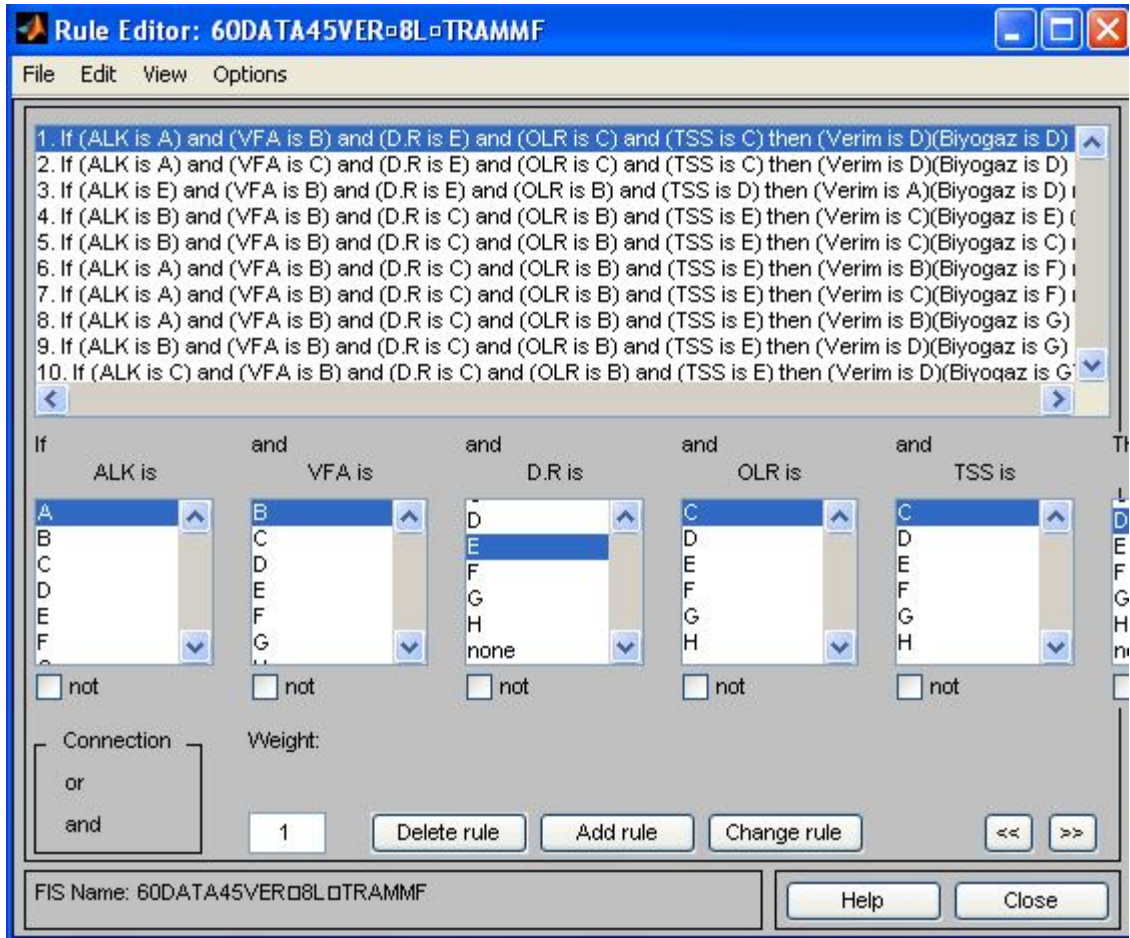
Bu çalışmada, geliştirilen bulanık küme kategorileri için orta, düşük, orta, orta, yüksek, vs gibi bir tanım yerine, mevcut üyelik fonksiyonları kuralların işlemini basitleştirmek için A, B, C, D, E, F, G, H olarak tanımlanmıştır. Her bir girdi / çıktı matrisi ölçülen tekstil atıksuyu verilere göre MATLAB®V7.0 nümerik bilgisayar ortamında kodlanmıştır. Örneğin, aralıkları ve kodları Çizelge 3.4' de verilen, ALK= 1420, VFA= 520, DR= 0.4, OLR= 0.244, TSS= 155, Verim= 45, Biyogaz= 67 sırasıyla A,B,C,B,B,(B,C),E olarak kodlanmıştır.

Çizelge 3.4'de verilen aralıklara göre, bazı deneysel veriler bazı bulanık kategorilerden trapez üyelik fonksiyonlarının kesiştiği bölgelerde kaldığı görülmüştür. Örneğin, yukarıdaki deneysel verilerden verim= 45 değerinde mevcut deneysel veri aralıkları her iki noktayı da dikkate alarak toplam 97 adet kural, bulanık "EĞER-İSE" kural editörü ile kurulmuştur.

Çalışma kapsamında, hem girdi ve hem de çıktı değişkenleri için beş ve sekiz düzeyli trapez üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. En uygun model yapısı (8'li düzey) için örnek olarak, Çizelge 3.5' de MATLAB®V7.0 nümerik ortamı üzerine kurulmuş toplam 97 adet kural tabanından rastgele seçilen 35 kural gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 97 adet kural tabanından rastgele seçilen 35 kural

Girdi parametreleri					Çıktı parametreleri	
ALK	VFA	DR	OLR	TSS	Verim	Biyogaz
D	E	A	E	F	F	B
D	E	A	E	F	G	B
D	E	A	E	F	F	C
D	E	A	E	F	G	C
E	B	E	B	D	A	D
B	B	C	B	E	C	C
A	B	C	B	E	B	G
B	C	C	B	E	D	G
B	E	C	A	E	E	C
A	E	C	A	D	D	E
C	E	C	A	E	E	F
D	E	A	A	D	E	G
E	E	E	E	B	E	C
H	E	E	C	A	C	E
F	E	E	D	A	D	E
F	H	C	E	B	E	D
E	F	A	D	B	F	C
H	F	A	D	B	D	C
C	C	A	E	H	H	E
C	A	H	E	B	A	A
A	A	H	H	A	A	D
F	B	C	H	A	C	B
D	B	C	H	A	B	C
B	B	C	B	E	D	G
D	E	A	A	D	E	G



Şekil 3.13 IF-THEN kural yapısının geliştirilmesi

### 3.8 Non- Linear Regresyon Analizi

Bu bölümde, deneysel veriler ayrıca DataFit® bilimsel yazılım (Copyright \_1995-2005 Oakdale Engineering V8.1.69) tarafından değerlendirilmiş ve sonuçları bulanık mantık tahminleri ve deneysel değerler ile karşılaştırılmıştır. Non-lineer regresyon analizinde kullanılan paket programda, Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmıştır. Regresyon modelleri çözüldükçe, elde edilen modeller en uygundan başlayarak kendi içinde otomatik olarak sıralanmıştır. Deneysel veriler, açık veri kaynağı olarak kullanılan Microsoft® Excel veritabanı bağlantısından alınmış ve regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte  $t$ -oranları ve karşılık gelen  $p$  değerleri ile regresyon katsayılarının ve model değişkenlerinin önemi değerlendirilmiştir. Model performansını daha iyi gözlemlemek için için tanımlayıcı istatistiksel hatalar da hesaplanmıştır.

### 3.9 Model Sonuçlarının Verifikasyonu

Model sonuçlarının doğrulanması model geliştirme önemli bir parçası olup, görsel ve sayısal yöntemler ile elde edilebilmektedir [41,42]. Görsel yöntemler, model performansını sezgisel olarak yakalayabilmesine rağmen, sayısal yöntemler, bilimsel bir şekilde model geliştirmek ve karşılaştırmak için çok daha sağlam bir zemin sağlamaktadır [41,42].

Karşılaştırma amacıyla, determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hata karekökü (RMSE), sistematik ve sistematik olmayan RMSE (sırasıyla  $RMSE_S$  ve  $RMSE_U$ ), ortalama karesel hata (MSE), uyum indeksi (IA), ortalama sapma hatası (MBE), iki faktörü (FA2), fraksiyonel varyans (FV), sistematik hata oranı (PSE) ve kesişim noktası gözlenen değerler ve modelin tahmin performans değerleri arasında ( $a$ ) ve eğim ( $b$ ) ( $y = bx + a$ ) gibi çeşitli istatistiksel göstergeler model performans tahminini tanımlamak için yardımcı araçlar olarak kullanılabilir (Türkdoğan-Aydinol ve Yetilmezsoy, 2010; Yetilmezsoy vd., 2010).

Determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), tahmin modeli için gözlenen toplam değişimin (total variations) ne kadarının model tarafından açıklanıp açıklanamayacağını belirten ve model performansı hakkında önemli bir bilgi sağlayan bir istatistiksel göstergedir. Ayrıca, RMSE yapay zekâ tabanlı modelleri ile en sık kullanılan göstergelerden biri olup, sistematik ( $RMSE_S$ ) ve sistematik olmayan ( $RMSE_U$ ) RMSE olarak bileşenlerine ayrılabilir.  $RMSE_S$ , modele bağlı hata (linear sapma) kısmını anlatmaktadır. Bu nedenle, düşük bir değer iyi bir model anlamına gelir.  $RMSE_U$ , model tarafından elde edilemeyen rastgele belirlenen hata bölümünü açıklamaktadır. MAE, sayısal ölçüm sonuçlarının en basit olanıdır. Bu sadece tahmin verileri üzerinden alınan mutlak hataların ortalamasıdır. MBE ise MAE'ye benzemekte fakat mutlak değeri dikkate almamaktadır. Bu, modelin istenilen tahmin seviyesinin ne kadar altında veya üstünde olduğunu göstermektedir.

Uyum indeksi (IA), 0 - 1 aralığında sınırlı bir boyutsuz bağıl bir ölçü olarak kabul edilir. Bu nedenle, modeller arasında çapraz kıyaslamalar yapmak için idealdir [43]. İkinci faktörü, FA2, 0,5 - 2 aralığında oranı O / P (gözlenen / beklenen) değerleri arasındaki tahmin sonuçlarının yüzdesini verir. FV ise tahmin edilen varyans ve gözlenen varyans arasındaki farkın karşılaştırılması olarak sağlayan başka bir normalizasyon ölçüsüdür.

FV = 0 olan bir modelin varyansı gözlenen değerlerin varyansına eşittir. Yukarıda ifade edilen istatistiksel performans indikatörlerine ilişkin detaylı tanımlar ve matematiksel hesaplamalar çeşitli çalışmalarda bulunabilir [41, 43, 44].

Çizelge 3.6 Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri

Performans indikatörü	Matematiksel ifadeler
(1) Lineer regresyon katsayısı ve sabiti	$(P_i)_{reg} = a + bO_i$ $b = \frac{n \sum_{i=1}^n O_i P_i - \sum O_i \sum P_i}{n \sum O_i^2 - (\sum O_i)^2} \quad a = \frac{\sum P_i - b \sum O_i}{n}$
(2) Determinasyon katsayısı	$R^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n (O_i - O_m)(Y_i - Y_m) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - P_m)^2}$
(3) Ortalama mutlak hata	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  P_i - O_i $
(4) Ortalama karesel hata	$RMSE = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i - O_i]^2 \right)^{0.5}$
(5) Sistemik ortalama karesel hata	$RMSE_S = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(P_i)_{reg} - O_i]^2 \right)^{0.5}$
(6) Unsistemik ortalama karesel hata	$RMSE_U = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(P_i)_{reg} - P_i]^2 \right)^{0.5}$
(7) Sistemik hata oranı	$PSE = \frac{(RMSE_S)^2}{(RMSE_U)^2}$
(8) Uyumluluk indeksi	$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n ( P_i - O_m  +  O_i - O_m )^2}$
(9) Fraksiyonel varyans	$FV = \frac{2(\sigma_o - \sigma_p)}{(\sigma_o + \sigma_p)}$ $\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum (O_i - O_m)^2}{n-1}} \quad \sigma_p = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_m)^2}{n-1}}$
(10) 2'nin faktörü	$0.5 \leq FA2 = \left( \frac{O_i}{P_i} \right) \leq 2$



### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 4.1 Non-Linear Regresyon Modeli

Bu çalışmada iki çıktı; verim (Y1) ve biyogaz (Y2) için kontrol veriseti ile (Ek B) gerçekleştirilen non-lineer regresyon analizinde, en uygun matematiksel formüller aşağıdaki gibi bulunmuştur. Girdi değişkenleri olarak dikkate alınan ALK, VFA, DR, OLR ve TSS ifadeleri, denklemlerde bağımsız değişkenlerin ( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ ) yerlerine konmuş ve elde edilen a,b,c,d,e regresyon katsayısı değerleri ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Non-lineer regresyon analizinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

$$Y_1 = a * x_1 + b * x_2 + c * x_3 + d * x_4 + e * x_5$$
$$= (-5.30 * 10^{-3}) * (ALK) + (7.68 * 10^{-2}) * (VFA) + (-6.42) * (DR) + (9.04) * (OLR) + (6.63 * 10^{-2}) * (TSS)$$

$$Y_2 = a * x_1 + b * x_2 + c * x_3 + d * x_4 + e * x_5$$
$$= (-2.66 * 10^{-3}) * (ALK) + (0.083) * (VFA) + (63.44) * (DR) + (-54.25) * (OLR) + (9.92 * 10^{-2}) * (TSS)$$

Non-lineer regresyon analizinden elde edilen sonuçlara göre; DWS (Durbin-Watson Statistic) sayıları da sırasıyla, verim modelleri 1.76, 1.76, 1.76 iken biyogaz modelleri için 1.48, 1.48 ve 1.45 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin 2'ye yakın olması modelin iyi bir tahmin sonucu verdiğini gösterir, buna kıyasla modelin, verim için daha iyi bir tahmin sonucu verdiğini görülmektedir.

Çizelge 4.1 Non-lineer regresyon analizi sonuçlarının özeti

	Model	SEE	SR	RA	RSS	R <sup>2</sup>	Ra <sup>2</sup>	NNI
<b>KOİ Giderim Verimi (Çıktı 1)</b>								
1	$a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5+f$	3.28	$1.78*10^{-13}$	$3.95*10^{-15}$	420.74	0.78	0.75	1
2	$a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5$	3.24	$-3.37*10^{-2}$	$-7.49*10^{-4}$	420.76	0.78	0,75	11
3	$\exp(a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5+f)$	3.35	-0.19	$-4.23*10^{-3}$	436.72	0.77	0.74	4
<b>Biyogaz (Çıktı 2)</b>								
1	$a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5+f$	17.58	$1.09*10^{-12}$	$2.43*10^{-14}$	12060	0.27	0.17	5
2	$\exp(a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5+f)$	17.63	-0.62	$-1.38*10^{-2}$	12126	0.26	0.17	6
3	$a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5$	18.45	8.86	0.19	13619	0.17	0.09	2

<sup>1</sup> SEE, Tahminin standart hatası; SR, hataların toplamı, RA, hata ortalama; RSS, kareler toplamı; R<sup>2</sup>, çoklu determinasyon katsayısı; Ra<sup>2</sup>, ayarlanmış determinasyon katsayısı; NNI, non-lineer iterasyon sayısı.

Çizelge 4.2 Seçilen en uygun model bileşenleri ve regresyon değişkenleri sonuçları

Bağımsız Değişkenler	SE	t- ratio	P değeri	Katsayılar
$Y1 = (-5.30 \times 10^{-3}) * (ALK) + (7.68 * 10^{-2}) * (VFA) + (-6.42) * (DR) + (9.04) * (OLR) + (6.63 \times 10^{-2}) * (TSS)$				
X1 = ALK	$4.1219 * 10^{-3}$	-1.3526	0.18377	$a = -5.58 * 10^{-3}$
X2 = VFA	$9.2295 * 10^{-3}$	8.3253	0.0	$b = 7.68 * 10^{-2}$
X3 = DR	4.4712	-1.4361	0.15874	$c = -6.42$
X4 = OLR	4.2666	2.1187	0.04037	$d = 9.04$
X5 = TSS	$9.1770 * 10^{-3}$	7.1174	0.0	$e = 6.53 * 10^{-2}$
$Y2(-2.66 \times 10^{-3}) * (ALK) + (0.083) * (VFA) + (63.44) * (DR) + (-54.25) * (OLR) + (9.92 \times 10^{-2}) * (TSS)$				
X1 = ALK	$2.3479 * 10^{-2}$	-0.1133	0.91036	$a = -2.66 * 10^{-3}$
X2 = VFA	$5.2510 * 10^{-2}$	1.5884	0.12008	$b = 0.083$
X3 = DR	25.4383	2.4937	0.01688	$c = 63.44$
X4 = OLR	24.2747	-2.2343	0.03108	$d = -54.25$
X5 = TSS	$5.2211 * 10^{-2}$	1.8995	0.06473	$e = 9.92 * 10^{-2}$

## 4.2 FL Modeli

### 4.2.1 MF Algoritmalarının Mukayesesi

Bu bölümde deneysel veriler ile, bulanık modelde 5'li ve 8'li trapez üyelik fonksiyonlarından elde edilen sonuçlar çıktı parametreleri için karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.3 ve 4.4' de özetlenmiştir.

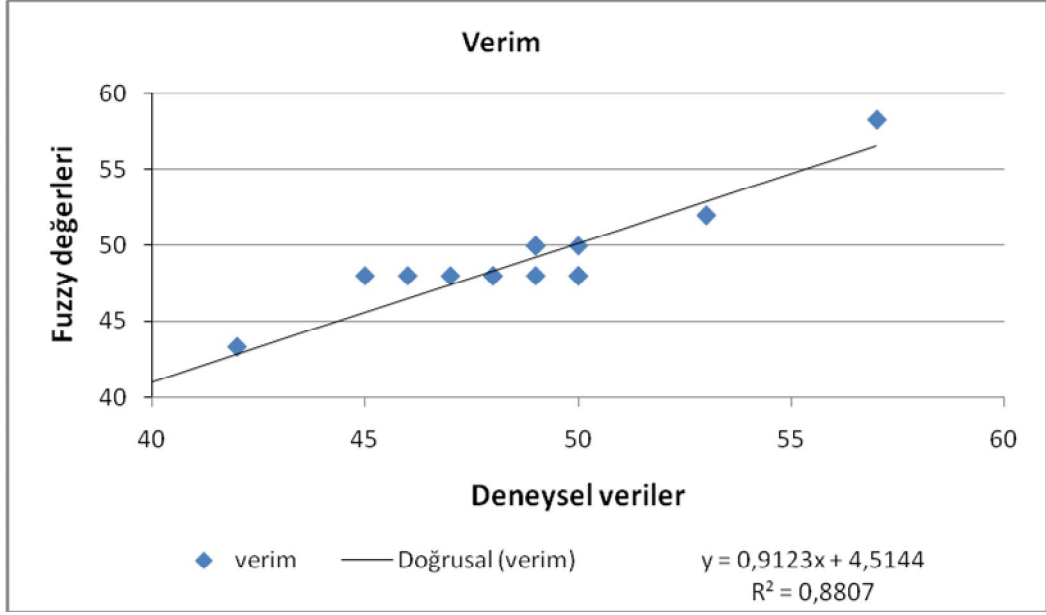
Çizelge 4.3 Her bir mf fonksiyonundan (5'li, 8'li ) elde edilen (verim) sonuçları

<b>Deneysel</b>	<b>Fuzzy 5 li</b>	<b>Fuzzy 8 li</b>
49	47.9	50
46	48	48
42	40.7	43.3
48	48	48
48	48	48
57	54.4	58.3
40	41.4	39.7
53	54.4	52
49	44.4	48
50	48	48
47	48	48
50	48	48
50	50	50
45	48	48
49	47.9	50

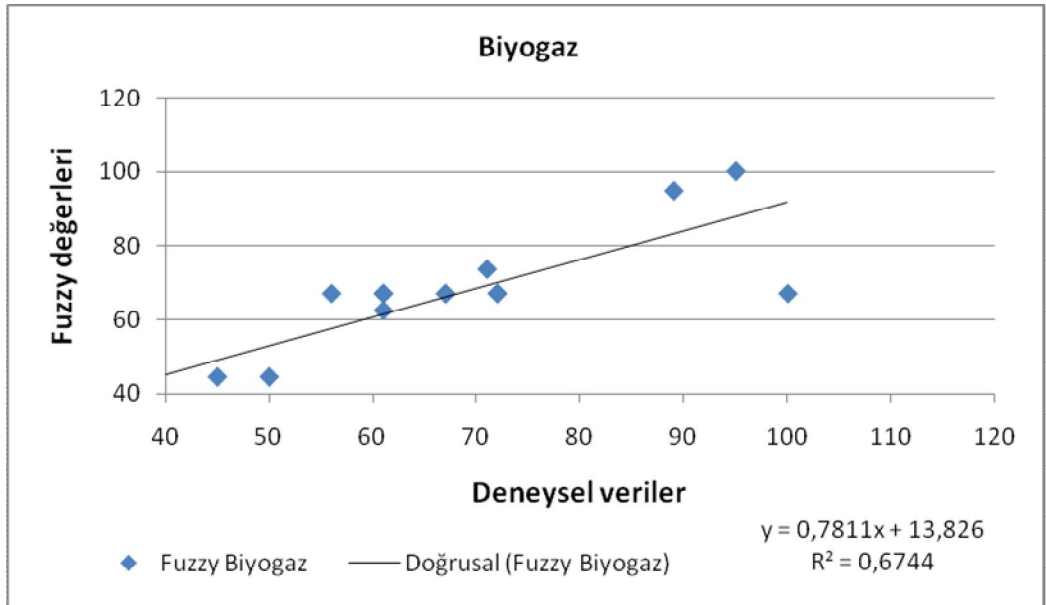
Çizelge 4.4 Her bir mf fonksiyonundan (5'li, 8'li ) elde edilen (biyogaz) sonuçları

<b>Deneysel</b>	<b>Fuzzy 5 li</b>	<b>Fuzzy 8 li</b>
45	30.1	44.4
72	67	67
71	72.2	73.6
56	67	67
67	67	67
40	47	38.4
61	67	62.4
95	100	100
100	67	67
67	67	67
61	67	67
72	67	67
89	87	94.8
61	67	67
50	62.5	44.4

Modelde kullanılan 8'li trapez üyelik fonksiyonu, 5'li ye kıyasla daha iyi bir tahmin vermiştir. Aşağıda Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de çıktı değerleri için deneysel veriler ile 8'li trapez üyelik fonksiyonuna sahip bulanık modelin mukayesesi verilmiş ve determinasyon katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 4.1 Deneysel verim değerleri ile fuzzy değerlerinin mukayesesi



Şekil 4.2 Deneysel biyogaz değerleri ile fuzzy değerlerinin mukayesesi

### 4.3 Tahmin Sonuçlarının Verifikasyonu

Modelde en iyi sonucu veren 8'li trapez üyelik fonksiyonuna sahip bulanık model, deneysel veriler ve datafit programında en iyi tahmin sonucunu veren modeller ile kıyaslanmış, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da iki çıktı değişkeni, verim ve biyogaz için sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 4. 5 Model tahmin sonuçları (Verim)

Non-Lineer Model	DENEYSEL	Fuzzy 8 li
49	49	50
44.99	46	48
41.77	42	43.3
42	48	48
50	48	48
57.7	57	58.3
41.6	40	39.7
50.6	53	52
42.66	49	48
50.52	50	48
47.74	47	48
51.21	50	48
49.39	50	50
44.56	45	48
48.62	49	50

Çizelge 4. 6 Model tahmin sonuçları (Biyogaz)

<b>Non-Linear Model</b>	<b>DENEYSEL</b>	<b>Fuzzy 8 li</b>
52.25	45	44.4
63.51	72	67
66.43	71	73.6
77.76	56	67
68.38	67	67
68.69	40	38.4
57.18	61	62.4
69.29	95	100
63.45	100	67
68.7	67	67
68.8	61	67
67.05	72	67
69.81	89	94.8
65.11	61	67
54.77	50	44.4

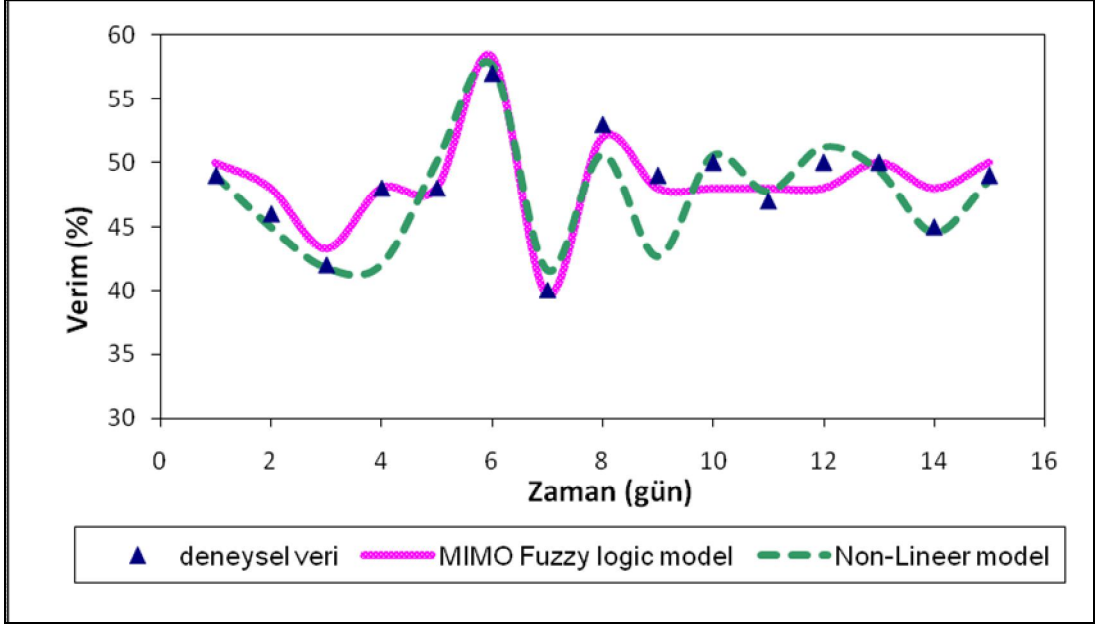


Çizelge 4.7’de iki çıktı değişkeni verim ve biyogaz için, Non-Linear regresyon modeli ve fuzzy modeline ait performans indisleri hesaplanmış ve mukayese edilmiştir.

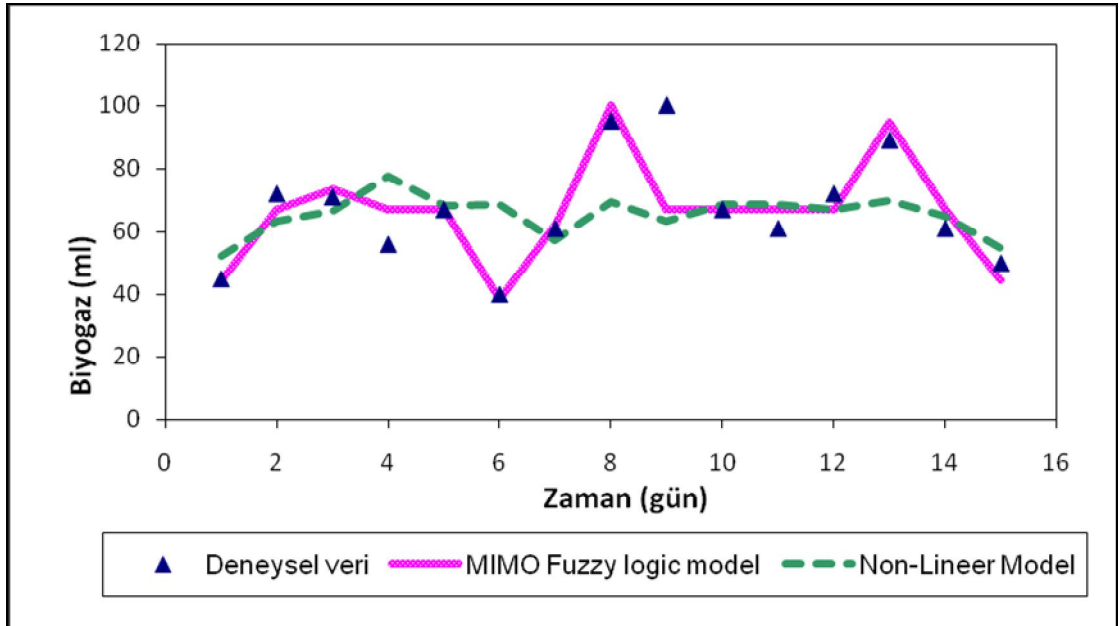
Çizelge 4. 7 Kararlı hal veriseti için performans indisi ve model kıyaslaması

Performans İndisi	Fuzzy setinde kullanılan testing dataları			
	VERİM		BİYOGAZ	
	FLM	NRM	FLM	NRM
$R^2$	0.8807	0.7521	0.6744	0.1307
$R$	0.7887	0.7819	0.7665	0.2497
PSE	0.0367	0.122	0.172	0.1712
RMSE/MSE	0.488	0.399	0.102	0.062
NMSE	0.0018	0.0027	0.0214	0.0599
MAE	1.72	1.6573	5.9067	12.0493
MBE	- 0.4533	- 0.7693	- 0.8667	- 1.7213
RMSE	2.0487	2.5076	9.7763	16.2309
RMSE <sub>S</sub>	0.3935	1.0039	3.7450	5.0188
RMSE <sub>U</sub>	2.0541	2.8738	9.0311	12.1314
MSE	4.1973	6.2879	95.576	263.4452
IA	0.9144	0.8949	0.9006	0.4260
FV	- 0.0109	- 0.2015	0.0501	0.9022
FA2	1.0106	1.0191	1.0207	1.0280

Kontrol verisetinde 8li trapez üyelik fonksiyonuna sahip iki çıktı değişkenin bulanık model performansları, non-lineer regresyon modelleri ve deneysel veriler ile mukayesesi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ‘deki grafikler yardımıyla özetlenmiş ve bulanık modelin non-lineer regresyon modeline göre daha iyi bir tahmin sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 4. 3 Deneysel veriler ile model sonuçlarının mukayesesi (verim)



Şekil 4. 4 Deneysel veriler ile model sonuçlarının mukayesesi (biyogaz)

Bu çalışmada, pamuklu tekstil atıksularının Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktör (YAHÇYR) sistemiyle arıtılmasından elde edilen deneysel veriler esas alınarak, bulanık mantık tabanlı bir MIMO (çoklu girdi, çoklu çıktı) modeli geliştirilmiştir ve toplam 97 adet kural yazılmıştır. Çalışma kapsamında, "EĞER-İSE" formatında en iyi tahmin sonucu 8 düzeyli trapez üyelik fonksiyonu için elde edilmiştir. Modelin eğitimine dahil edilmeyen veriler, kurulan bulanık mantık modelinin tahmin performansını doğrulamada non-linear regresyon modellerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Deneysel veriler, bulanık mantık doğrulama çıktıları ve regresyon model sonuçları verim ve biyogaz için karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında göz önüne alınan çıktı değişkenleri için elde edilen tahmin değerlerine göre, bulanık mantık modelinin, regresyon modeline göre daha iyi tahmin sonucu verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, karmaşık yapıdaki pamuklu tekstil atıksularının anaerobik şartlarda arıtılmasından elde edilen KOİ giderim verimi ve biyogaz miktarı tahmininde bulanık mantık yönteminin kolaylıkla kullanılabileceği, modellemede üyelik fonksiyonlarının esnek bir şekilde uyarlanabilmesi nedeniyle daha hassas ve amaca uygun çözümler bulunabileceği görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi bu sebeple anaerobik proses kontrolünde cesaretlendirici sonuçlar vermiştir.

Tavsiye edilen bulanık mantık esaslı modelin başarılı bir tahmin performansı göstermesiyle, farklı proses şartları ve giriş parametrelerindeki salınımlar için KOİ giderim verimlerinin ve potansiyel biyogaz üretiminin hızlı bir tahmini yapılabilecek ve böylece seyreltilmiş pamuklu tekstil atıksularının arıtımında kullanılan anaerobik prosesin stabilitesini etkileyebilecek muhtemel hataların önceden tespiti sağlanabilecektir.

Bunun yanında, başarılı bir model performansı ile prosesin işletme maliyetinin düşürülmesi gibi potansiyel faydaların, laboratuvar ölçekli bir sistemden pilot ölçekli sisteme ve bunun akabinde sanayi ölçekli sisteme geçiş aşamasında bulanık mantık tekniğinin kullanılmasının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

#### 4.4 Yorumlar ve Öneriler

Bulanık mantık yönteminin uygulanabilirliği oldukça basit olup, karmaşık reaksiyonları tanımlamaya, matematiksel ve biyokimyasal eşitliklere gerek yoktur. Kararlı durum deneysel verileri alınarak yapılan çalışmada, üyelik fonksiyonlarının sayıları arttıkça daha iyi tahmin sonucu elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmada 5'li ve 8'li trapez üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. 10' lu trapez fonksiyonu kullanılması durumunda daha hassas aralıklar oluşacağından daha iyi tahmin sonucu elde edileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte başka türde üyelik fonksiyonlarının çalışılması (üçgen, çan şekilli vb.) ve bunların kombinasyonu da bulanık mantık tahmin sonucunu geliştirecektir.

Bulanık mantık günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, iyi tanımlanmamış proseslerin denetimine basit çözümler getirmektedir.

- Sistem basit bir matematiksel modelle tanımlanabilen bir sistemse o zaman konvansiyonel bir denetim yeterli olacaktır. Ama karmaşık bir sisteme konvansiyonel bir mantık uygulamak hem çok zor hem de yüksek maliyetlidir. Buna karşılık bulanık mantık denetimi, konvansiyonel mantığa göre sistemi daha iyi analiz edebileceği gibi aynı zamanda da ekonomiktir.
- Bulanık mantıkta işaretlerin bir ön işleme tabi tutulmaları ve oldukça geniş bir alana yayılan değerlerin az sayıda üyelik fonksiyonlarına indirgenmeleri nedeni ile bulanık denetim genellikle daha küçük bir yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuçlanır.
- Söz edilen az sayıda değerler üzerinde uygulanacak kural sayısı da az olduğundan sonuca ulaşmak daha da çabuklaşacaktır.
- Bulanık mantık denetiminin sağladığı bir diğer avantaj ise doğrudan kullanıcı girişlerine ve kullanıcının deneyimlerinden yararlanabilmesine olanak sağlamasıdır.

Bunların yanında bazı dezavantajlara da sahiptir.

- Bulanık denetimde kullanılan kurallar deneyime çok bağlıdır.
- Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntem yoktur. En uygun fonksiyon deneme ile bulunur. Bu da oldukça uzun bir zaman alabilir.

- Denetlenen sistemin bir kararlılık analizi yapılamaz ve sistemin nasıl cevap vereceği önceden kestirilemez. Yapılacak tek şey benzetim çalışmasıdır.

#### 4.5 Sonuç

Bu çalışmada, seyreltilmiş pamuklu tekstil atıksularının laboratuvar ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör (YAHÇYR) sistemi ile arıtılmasından elde KOİ giderim verimi ve biyogaz üretiminin fuzzy logic (bulanık mantık) tekniği ile modellenmesi araştırılmıştır. Kullanılan deneysel veriler, gerçek bir proses atıksuyu verileri olup, daha önceki bir çalışmadan alınmıştır (Yetilmezsoy ve Şapçı-Zengin, 2009). Determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri sentetik atıksular ile çalışıldığında daha yüksek çıkmaktadır. Bu çalışmadaki fuzzy modelinde elde edilen ( $R^2$ ) değerleri; biyogaz üretimi ve KOİ giderim verimi için sırasıyla 0.67 ve 0.88 olup, gerçek proses atıksuları için oldukça başarılı kabul edilmektedir.

Yapılan çalışmada ayrıca, bulanık mantık (fuzzy logic) tahmininden çıkan sonuçlar, non-lineer regresyon model sonuçları ile karşılaştırılmış ve MIMO bulanık mantık tabanlı modelin diğer modellere kıyasla daha iyi bir performans ve daha az sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Sapci Z., (2002). Investigation of anaerobic treatability of textile wastewaters, MSc Thesis, Yildiz Technical University, Institute of Science, Istanbul.
- [2] Isik M, ve Sponza D.T., (2004). "Anaerobic/aerobic sequential treatment of a cotton textile mill wastewater", J Chem Tech Biotech, 79(11):1268–1274.
- [3] Talarposhti A.M, Donnelly T, ve Andersonm G.K .,(2001). "Colour Removal from a simulated dye wastewater using a two-phase anaerobic packed bed reactor", Wat Res., 35(2):425–432.
- [4] Chen G., Chai X., Yue P.L., ve Mi Y., (1997). "Treatment of textile desizing wastewater by pilot scale nanofiltration membrane separation", Journal of Membrane Science, 127(1):93-99.
- [5] Sani R.K., ve Banerjee, U.C., "Decolorization of Triphenylmethane Dyes and Textile and Dyestuff Effluent by Kurthia sp.", Enzyme Microb. Technol., 24:433-437.
- [6] Karapınar Kapdan, I. ve Kargı, F., (2000). "Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi", Turk J. Engin. Environ. Sci., 24:161-169.
- [7] Şapçı, Z. ve Üstün, B., (2003). "The Removal of Color and COD from Textile Wastewater by Using Waste Pumice", Electron. J. Environ. Agric. Food Chem., 2(2):286-290.
- [8] Işık M. ve Sponza D.T., (2003). "Effect of Oxygen on Decolorization of Azo Dyes by *Escherichia Coli* and *Pseudomonas sp.* and Fate of Aromatic Amines", Process Biochemistry, 38:1183-1192.
- [9] Işık, M. ve Sponza, D.T., (2004). "Simüle Tekstil Atıksuyunun Anaerobik/Aerobik Arıtımı", Ekoloji, 14(53): 1–8.
- [10] Işık M., (2004). "Efficiency of Simulated Textile Wastewater Decolorization Process Based on the Methanogenic Activity of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor in Salt Inhibition Condition", Enzyme and Microbial Technology, 35:399–404.
- [11] Karapınar Kapdan, I. ve Alparslan S., (2005). "Application of Anaerobic–Aerobic Sequential Treatment System to Real Textile Wastewater For Color and COD Removal", Enzyme and Microbial Technology, 36:273–279.

- [12] Santos, AB., Bisschops, I.A.E., Cervantes F. J., Cervantes, F.J. ve Van Lier, J.B., (2005). "The Transformation and Toxicity of Anthraquinone Dyes During Thermophilic (55°C) and Mesophilic (30°C) Anaerobic Treatments", *Journal of Biotechnology*, 115:345–353.
- [13] Chunsheng, Fu ve Manel Poch, (1998). "Fuzzy model and decision of COD control for an activated sludge process", *Fuzzy Sets and Systems*, 93:281-292.
- [14] Estaben, M., Polit, M. ve Steyer, J.P., (1997). "Fuzzy control for an anaerobic digester", *Control Engineering Practice*, 5:1303-1310.
- [15] Murnleitner, E., Becker, T.M. ve Delgado , A., (2002). "State detection and control of overloads in the anaerobic wastewater treatment using fuzzy logic", *Water Res.*, 36:201-211.
- [16] Polit M., Estaben M. ve Labat P., (2002). "A fuzzy model for an anaerobic digester, comparison with experimental results", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 15:385-390.
- [17] Altunkaynak, A., Ozger, M. ve Cakmakci, M., (2005). "Fuzzy logic modeling of the dissolved oxygen fluctuations in Golden Horn", *Ecologic. Model.*, 189:436-446.
- [18] Fuente, M.J., Robles, C., Casado, O., Syafiie, S. ve Tadeo, F., (2006). "Fuzzy control of a neutralization process", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19:905–914.
- [19] Turkdogan-Aydinol, F. I., ve Yetilmezsoy, K., (2010). "A fuzzy logic-based model to predict biogas and methane production rates in a pilot-scale mesophilic UASB reactor treating molasses wastewater", *J. Hazard. Mater.*, 182:1-3, 460-471.
- [20] Zadeh, L.A., (1965). "Fuzzy sets. *Inf. Control*" , 8:338-353.
- [21] Mamdani, E.H. ve Assilian, S., (1975). "An experiment in linguistic synthesis of fuzzy controllers", *Int. J. Man-Mach. Stud.*, 7:1-13.
- [22] Ozger, M. ve Sen, Z., (2007). "Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach", *Ocean Eng.*, 34:460-469.
- [23] Güneş M., (1997). "Klasik Mantığa Alternatif: Bulanık Mantık(Fuzzy Logic ) ve İşletme Problemlerine Uygulaması", III.Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 29-30 Mayıs.
- [24] Şen Z., "Mühendislikte Bulanık Mantık ve Modelleme Prensipleri",191, Su Vakfı Yayınları, Türkiye.
- [25] Yetilmezsoy, K. ve Sapci-Zengin, Z., (2009). "Stochastic modeling applications for the prediction of COD removal efficiency of UASB reactors treating diluted real cotton textile wastewater", *Stochas. Environ. Res. Risk Assess.*, 23:13-26.
- [26] Sakar, S., Yetilmezsoy, K. ve Kocak-Enturk, E., (2009). "Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment-a literature review", *Waste Manag. Res.*, 27:3-18.

- [27] Lahav O ve Loewenthal R.E., (2000). "Measurement of VFA in anaerobic digestion: The five-point titration method revisited", *Water SA*, 26(3):389–392.
- [28] Torkian, A., Egbali, A. ve Hashemian, S.J., (2003). "The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent", *Resour. Conser. Recyc.*, 40:1-11.
- [29] Verma, S., (2002). "Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes", MSc Thesis, Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines) Fu Foundation School of Engineering & Applied Science, Columbia University, USA.
- [30] Yetilmezsoy, K., (2008). "Treatability of poultry manure wastewater using anaerobic sludge bed reactor", PhD Thesis, Department of Environmental Engineering, Yildiz Technical University, Institute of Science, Istanbul.
- [31] Biswas, J., Chowdhury, R. ve Bhattacharya, P., (2007). "Mathematical modeling for the prediction of biogas generation characteristics of an anaerobic digester based on food/vegetable residues", *Biomass Bioener.*, 31:80-86.
- [32] Yetilmezsoy, K., (2007). "A new empirical model for the determination of the required retention time in hindered settling", *Fresenius Environ. Bul.*, 16:674-684.
- [33] Narnoli, S.K. ve Mehrotra, I., (1997). "Sludge blanket of UASB reactor: mathematical simulation", *Water Res.*, 31(4):715-726.
- [34] Costello, D.J., Greenfield, P.F. ve Lee, P.L., (1991) "Dynamic modeling of a singlestage high-rate anaerobic reactor", I. Model derivation, *Water Res.*, 25(7): 847-858.
- [35] Baruah, A.K., Sharma, R.N. ve Borah, G.C., (1993). "Impact of sugar mill and distillery effluents on water quality of river Gelabil, Assam. Indian", *J. Environ. Health*, 35:288-293.
- [36] Kalyuzhnyi, S.V. ve Davlyatshina, M.A., (1997). "Batch anaerobic digestion of glucose and its mathematical modeling", I. Kinetic investigations, *Bioresour. Technol.*, 59:73-80.
- [37] Bolle, W.L., Breugel, J., Eybergen, G.C., Kossen, N.W.F. ve Gils, W., (1986). "An integral dynamic model for the UASB reactor", *Biotechnol. Bioeng.*, 28 :42-548.
- [38] Cakmakci, M., (2007). "Adaptive neuro-fuzzy modelling of anaerobic digestion of primary sedimentation sludge", *Bioproc. Biosys. Eng.*, 30:349-357.
- [39] Zhang, B., Zhao, H., Zhou, S., Shi, C., Wanga, C. ve Ni, J., (2009). "A novel UASB–MFC–BAF integrated system for high strength molasses wastewater treatment and bioelectricity generation", *Bioresour. Technol.*, 100:5687-5693.
- [40] Biyikoglu, A., Akcayol, M.A., Ozdemir, V. ve Sivrioglu, M., (2005). "Temperature prediction in a coal fired boiler with a fixed bed by fuzzy logic based on numerical solution", *Energy Conser. Manag.*, 46:151-166.
- [41] Yetilmezsoy, K. ve Demirel, S., (2008). "Artificial neural network (ANN) approach for modeling of Pb(II) adsorption from aqueous solution by Antep pistachio (*Pistacia Vera L.*)", *J. Hazard. Mater.*, 153:1288-1300.



- [42] Murnleitner, E., Becker, T.M. ve Delgado, A., (2002). "State detection and control of overloads in the anaerobic wastewater treatment using fuzzy logic", *Water Res.*, 36:201-211.
- [43] Akkoyunlu, A., Yetilmezsoy, K., Erturk, F. ve Oztemel, E., (2010). "A neural network-based approach for the prediction of urban SO<sub>2</sub> concentrations in the Istanbul Metropolitan Area", *Inter. J. Environ. Pol.*, 40:301-321.
- [44] Metternicht, G. ve Gonzalez, S., (2005). "FUERO: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction", *Environ. Model. Soft.*, 20: 715-728.

## DENEYSEL VERİLER

ALK	VFA	DR	OLR	TSS	VERİM	BİYOĞAZ
1420	520	0,4	0,244	155	45	67
1610	490	0,4	0,168	160	35	67
1460	493	0,3	0,160	192	42	71
1450	500	0,3	0,160	192	42	56
1420	495	0,3	0,175	194	40	84
1440	489	0,3	0,160	189	38	89
1500	510	0,3	0,156	187	46	89
1450	535	0,3	0,156	188	46	95
1400	600	0,3	0,086	184	48	67
1450	595	0,3	0,084	186	50	56
1440	594	0,3	0,084	183	46	72
1450	580	0,3	0,088	184	50	78
1510	596	0,3	0,086	185	50	83
1460	622	0,15	0,274	201	56	78
1590	620	0,15	0,350	226	56	45
1590	600	0,15	0,350	229	52	61
1600	564	0,15	0,244	228	56	50
1605	532	0,15	0,198	225	44	56
1500	520	0,15	0,164	213	40	61
1460	606	0,15	0,103	182	52	105
1580	609	0,15	0,072	180	50	89
1640	605	0,4	0,338	116	51	56
1690	602	0,4	0,312	99	45	72
1600	592	0,4	0,256	82	40	61
1800	599	0,4	0,227	85	41	78
1615	690	0,3	0,359	109	51	111
1600	701	0,3	0,327	111	50	61
1680	720	0,3	0,385	109	50	61
1670	690	0,3	0,277	108	45	67
1650	685	0,3	0,272	106	51	28
1660	630	0,3	0,247	104	52	45

1650	626	0,3	0,244	102	51	67
1625	615	0,15	0,338	154	50	45
1650	620	0,15	0,322	140	47	23
1620	630	0,15	0,316	132	53	50
1730	634	0,15	0,322	122	49	45
1780	640	0,15	0,280	118	45	56
1700	615	0,15	0,202	115	48	60
1510	622	0,15	0,398	290	64	73
1600	610	0,15	0,276	280	57	40
1530	455	0,6	0,345	130	32	28
1420	468	0,6	0,559	99	34	61
1630	545	0,45	0,569	90	44	61
1690	520	0,3	0,599	79	43	34
1600	520	0,3	0,544	94	36	56

**KONTROL VERİSETİ**

<b>ALK</b>	<b>VFA</b>	<b>DR</b>	<b>OLR</b>	<b>TSS</b>	<b>VERİM</b>	<b>BIYOGAZ</b>
1700	634	0,15	0,322	122	49	45
1580	560	0,3	0,252	160	46	72
1460	493	0,3	0,160	192	42	71
1430	530	0,4	0,086	170	48	56
1600	605	0,3	0,272	183	48	67
1600	610	0,15	0,276	280	57	40
1600	592	0,4	0,256	82	40	61
1450	610	0,15	0,095	183	53	95
1730	601	0,4	0,301	92	49	100
1610	610	0,3	0,277	185	50	67
1590	598	0,3	0,247	159	47	61
1630	615	0,3	3,316	186	50	72
1580	609	0,15	0,072	180	50	89
1500	580	0,3	0,202	130	45	61
1690	646	0,15	0,267	107	49	50

## 5 Lİ TRAPEZ FONKSİYONU KURAL TABANI

ALK	VFA	DR	OLR	TSS	VERİM	BIYOGAZ
A	B	C	B	B	B,C	C
C	E	C	B	B,C	AB	C
A	A	B	A,B	C	B	C
A	A,B	B	A,B	C	B	B
A	A	B	B	C	A,B	D
A	A	B	A,B	C	C	D
B	B	B	A	C	C	D
A	B	B	A	C	C	D
A	C	B	A	C	C	C
A	C	B	A	C	C	B
A	C	B	A	C	C	C
A	C	B	A	C	C	D
B	C	B	A	C	D	D
A	D	A	C	C	D	D
C	D	A	C	D	D	B
C	C	A	C	D	D	C
C	C	A	B	D	B	B
C	B	A	B	D	B	B
B	B	A	B	D	D	C
A	D	A	A	C	C	E
C	D	A	A	C	C,D	D
C	C,D	C	D	B	B,C	B
D	C	C	C	A	B	C
C	C	C	B	A	B	C
E	C	C	C	A	C,D	D
C	E	B	B	A	C	E
C	E	B	B	A	C	C
D	E	B	B	A	B,C	C
D	E	B	B	A	C,D	C
C,D	E	B	B	A	D	A
D	D	B	B	A	C,D	B
C,D	D	B	B	A	C	C

C	D	A	A	B	C	B
C,D	D	A	A	B	D	A
C	D	A	A	B	C	B
E	D	A	A	B	B,C	B
E	D	A	A	B	C	B
D	D	A	A	A,B	E	C
B	D	A	A	E	D	C
C	D	A	A	E	A	B
B	A	E	E	B	A	A
A	A	E	E	A	B	C
C	B	D	D	A	B	C
D	B	B	B	A	B	A
C	B	B	B	A	A	B

## 8 Lİ TRAPEZ FONKSİYONU KURAL TABANI

ALK	VFA	DR	OLR	TSS	VERİM	BİYOĞAZ
A	B,C	E	C	C	D	D
E	B	E	B	D	A	D
B	B	C	B	E	C	E
B	B	C	B	E	C	C
A	B	C	B	E	B,C	F
A	B	C	B	E	B	G
B,C	B	C	B	E	D	G
B	C	C	B	E	D	G
A	E	C	A	D,E	D,E	D
B	E	C	A	E	E	C
A	E	C	A	D	D	E
B	D	C	A	D,E	E	E,F
C	E	C	A	E	E	F
B	E	A	C	E	F,G	E,F
D	E	A	E	F	F,G	B,C
D	E	A	E	F	E,F	D
D,E	D	A	C	F	F,G	C
E	C	A	B	F	C,D	C
B,C	B,C	A	B	F	B,C	D
B	E	A	A	D	E,F	H
D	E	A	A	D	E	G
E	E	E	E	B	E	C
F	E	E	D	A	D	E
D,E	E	E	C	A	B,C	D
H	E	E	C	A	C	E,F
E	G,H	C	E	B	E	H
D,E	H	C	D	B	E	D
F	H	C	E	B	E	D
F	G,H	C	D	B	D	D
E,F	G	C	C	B	E	A
F	F	C	C	B	E,F	B,C

E,F	F	C	C	A	E	D
E	E	A	E	C	E	B,C
E,F	E	A	D	C	D	A
E	F	A	D	B	F	C
G	F	A	D	B	E	B,C
H	F	A	D	B	D	C
F,G	E	A	B	B	D,E	D
C	C	A	E	H	H	E
D,E	E	A	D	H	G	B
C	A	H	E	B	A	A
A	A	H	H	A	A	D
E	C	F	H	A	C,D	D
F	B,C	C	H	A	C	B
D,E	B,C	C	H	A	B	C



## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Esen SOYDAŞ IŞILDAK  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 29.05.1984 / İSTANBUL  
**Yabancı Dili** : İNGİLİZCE  
**E-posta** : esensoydas@yahoo.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Kırklareli Anadolu Lisesi	2002

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	İDEM Mühendislik Çevre Bilimleri Müh. Müş. İnş. Mad. Ve Tic. Ltd. Şti.	Çevre Mühendisi, Çevre Görevlisi
2006	Ford Otosan, İSKİ Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi	Stajyer Çevre Mühendisi
2005	Eczacıbaşı Sağlık Ürünleri	Stajyer Çevre Mühendisi