

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PETROKİMYA ATIKSUYU ARITIMINDA BULANIK MANTIK TABANLI
DİNAMİK MATRİS KONTROL**

Mehmet ASPIR

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2015**

Her Hakkı Saklıdır

ETİK

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

20.11.2015

Mehmet ASPİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PETROKİMYA ATIKSUYU ARITIMINDA BULANIK MANTIK TABANLI DİNAMİK MATRİS KONTROL

Mehmet ASPİR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

Kimyasal koagülasyon, çevresel etkileri yüksek olan petrokimyasal atıksuyun arıtımında sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Koagülasyon ile gerçekleştirilen arıtım işleminde maksimum verimin sağlanabilmesi için gerekli şartlar oluşturulmalıdır. Bu şartlardan bazıları uygun pH değerinin, uygun koagülant türü ve koagülant doz miktarının belirlenmesidir.

Bu çalışmada, ilk olarak petrokimyasal atıksuyun arıtımında kullanılacak koagülantlar, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve Alum olarak belirlenmiştir. Yapılan ön denemelerde pH ve koagülant miktarı değiştirilerek, çökelmeler gözlenmiş ve numunelerde bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. $Al_2(SO_4)_3$ ve $FeCl_3$ kullanımında %83 ve %84 'lük bulanıklık giderimi sağlandığı görülmüştür.

FDMC algoritmasının test edildiği kontrol deneylerinde, %10'luk HCl ve %10'luk NaOH kullanılmıştır. Kontrol deneylerinde, pH'ın sırasıyla 7, 8, 9, 10 set noktalarında işletilmesi sağlanmıştır. Yaklaşık 500 saniyelik kontrol deneyleri sonunda çökelmeler takip edilerek, bulanıklık ve KOİ giderimleri ölçülmüştür. pH'ın 9 değerine set edildiği ve $FeCl_3$ koagülantının 100 mg/L olarak kullanıldığı denemelerde, %89'luk bulanıklık giderimi ve %95'lik KOİ giderimi sağlanmıştır. Kontrol deneylerinde, IAE, ISE ve ITAE dinamik performans kriterleri belirlenerek, Fuzzy–DMC algoritmasının pH kontrolü için uygunluğu tartışılmıştır.

Kasım 2015, 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: pH kontrol, petrokimya atıksuyu, bulanık dinamik matris kontrol, koagülasyon

ABSTRACT

Master Thesis

FUZZY LOGIC BASED DYNAMIC MATRIX CONTROL IN TREATMENT OF PETROCHEMICAL WASTEWATER

Mehmet ASPIR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

Chemical coagulation is one of the methods which are often used for petrochemical wastewater treatment that has high environmental impacts. In order to approach maximum efficiency in the treatment with coagulation, the necessary conditions should be established. Some of these conditions are appropriate pH value, appropriate coagulants type and coagulants dosage.

In this study, coagulants, those will be used in petrochemical wastewater treatment was determined as $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 and Alum. In preliminary experiments, by changing pH and coagulants amount, precipitations were observed and turbidity measurements were performed. As a result, it was seen that the usage of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and FeCl_3 provide 83% and 84% turbidity removal.

In the control experiments in which FDMC algorithm has been checked, %10 HCl and %10 NaOH was used. In these control experiments, it was provided that pH was operated at the set points of 7, 8, 9 and 10 respectively. At the end of approximately 500 seconds control experiments, precipitations were controlled, turbidity and COD removal were measured. For the trials in which pH value was set to 9 and the coagulant FeCl_3 was used at a value of 100 mg/L, turbidity %89 removal and COD %95 removal were provided. In the control experiments, the appropriateness of algorithm Fuzzy-DMC for pH control was discussed by determining IAE, ISE and ITAE dynamic performance criteria.

November 2015, 81 pages

Key Words: pH control, petrochemical wastewater, fuzzy dynamic matrix control, coagulation

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı bilgi ve önerileriyle yönlendiren değerli hocam sayın Prof. Dr. Zehra ZEYBEK'e (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), bu süreçte desteğini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Gülay ÖZKAN (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) ve Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ'a (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı), çalışmalarına yardımcı olan Yüksek Mühendis İsmail BAYRAM'a ve Yüksek Mühendis Ayşe TAŞKIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet ASPİR

Ankara, Kasım 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	8
3.1 Kimyasal Proseslerin Kontrolü.....	8
3.2 Petrokimya Endüstrisi ve Önemi.....	9
3.2.1 Petrokimyasal atıksuların deşarj standart değerleri.....	10
3.3 Jar Testi Prosedürü.....	11
3.3.1 Kolloidler.....	12
3.4 Geri Beslemeli Kontrol Sistemi.....	14
3.4.1 Cohen-Coon parametre ayarlama yöntemi.....	15
3.5 PRBS (Sahte Ardışık Rastgele İkili Sinyal).....	15
3.6 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi.....	16
3.6.1 Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri.....	17
3.6.2 Üyelik fonksiyonları biçimlerinin sınıflandırılması.....	19
3.6.3 Bulanık mantık denetleyici.....	20
3.7 Dinamik Matris Kontrol.....	21
3.7.1 Fuzzy-DMC algoritması.....	25
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
4.1 Kontrol Deney Sistemi.....	29
4.2 Kontrol Deney Yöntemi.....	30
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	31
5.1 Dinamik Matris Kontrol ve PID Kontrol Parametreleri.....	31

5.2 Koagülant Türü, Koagülant Miktarı ve Uygun pH Değerinin Belirlenmesi....	32
5.3 Kontrol Deneyleri.....	37
5.3.1 FDMC algoritması ile kontrol deneyleri.....	37
5.3.2 PID kontrol denemesi.....	58
5.3.3 Kontrol sonrası bulanıklık ölçümleri.....	56
5.3.4 Kontrol sonrası KOİ ölçümleri.....	57
5.3.5 Kontrol sonrası dinamik performans kriterleri.....	58
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	65
EK 1 Visual Basic Programlama Diliyle Yazılmış Fuzzy-DMC Algoritması.....	66
EK 2 Performans Kriteri Belirleme Yöntemleri.....	78
EK 3 pH ve Ayarlanan Değişken Üyelik Fonksiyonu.....	79
EK 4 İlişki Matrisi.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	81

SİMGELER DİZİNİ

$\tilde{A}$	Bulanık küme
b_i	Dinamik matris kontrol çıktıları
u	Sistem girdisi
y^{sp}	Set noktası
$\mu(x)$	Üyelik fonksiyonu
ζ	Zeta potansiyeli
γ ve λ	Ağırlık katsayıları
Γ ve Λ	Diyagonal matrisler

Kısaltmalar

BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DMC	Dinamik Matris Kontrol
FDMC	Fuzzy Dinamik Matris Kontrol
FRM	Bulanık İlişkisel Model
IMC	İç Model Kontrol
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MPC	Model Öngörmeli Kontrol
PID	Oransal-İntegral-Türevsel (Proportional Integral Derivative)
PRBS	Sahte Rastgele İkili Ardışık Sinyal (Pseudo Random Binary Sequence)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Jar testi aparatı diagramı.....	12
Şekil 3.2 Zeta potansiyelinin şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.3 Kapalı çevrim geri beslemeli kontrol sistemi.....	15
Şekil 3.4 PRBS sinyalinin gösterimi.....	17
Şekil 3.5 Üyelik fonksiyonlarının alabildiği şekiller ve ifadeleri.....	18
Şekil 3.6 Üyelik fonksiyonu biçimleri (deneysel ve güvenilirlik temelinde).....	19
Şekil 3.7 Üyelik fonksiyonu biçimleri (teorik ve kişisel kavram temelinde).....	20
Şekil 3.8 Bulanık sistem.....	21
Şekil 3.9 Örnekleme zamanı ile çıktı değerleri.....	21
Şekil 3.10 Dinamik matris kontrol hareket yörüngeleri.....	24
Şekil 3.11 FRM modelinin DMC algoritmasında kullanımı.....	27
Şekil 3.12 Sistem çıktısı için üyelik fonksiyonu.....	28
Şekil 3.13 Ayarlanan değişken için üyelik fonksiyonu.....	28
Şekil 4.1 Deney düzeneği.....	29
Şekil 5.1 PRBS etkisi ile çıkış değişkeni değişimi.....	32
Şekil 5.2 $Al_2(SO_4)_3$ kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri.....	35
Şekil 5.3 $FeCl_3$ kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri.....	35
Şekil 5.4 $FeSO_4$ kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri.....	35
Şekil 5.5 Alum kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri.....	36
Şekil 5.6 pH=7 set noktasında, 50 mg/L $FeSO_4$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	38
Şekil 5.7 pH=8 set noktasında, 50 mg/L $FeSO_4$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	39
Şekil 5.8 pH=9 set noktasında, 50 mg/L $FeSO_4$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	40
Şekil 5.9 pH=10 set noktasında, 50 mg/L $FeSO_4$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	41
Şekil 5.10 pH=7 set noktasında, 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	42
Şekil 5.11 pH=8 set noktasında, 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	43
Şekil 5.12 pH=9 set noktasında, 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	44
Şekil 5.13 pH=10 set noktasında, 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	45
Şekil 5.14 pH=7 set noktasında, 100 mg/L $FeCl_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	46
Şekil 5.15 pH=8 set noktasında, 100 mg/L $FeCl_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	47
Şekil 5.16 pH=9 set noktasında, 100 mg/L $FeCl_3$ koagülantı ile FDMC kontrol.....	48

Şekil 5.17 pH=10 set noktasında, 100 mg/L FeCl ₃ koagülantı ile FDMC kontrol.....	49
Şekil 5.18 pH=7 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol.....	50
Şekil 5.19 pH=8 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol.....	51
Şekil 5.20 pH=9 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol.....	52
Şekil 5.21 pH=10 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol.....	53
Şekil 5.22 pH=9 set noktasında, 100 mg/L FeCl ₃ koagülantı ile PID kontrol.....	55
Şekil 5.23 Kontrol denemeleri sonrasında ölçülen bulanıklık değerleri.....	56
Şekil 5.24 Kontrol denemeleri sonrasında ölçülen KOİ değerleri.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Petrol sanayi (Petrol Rafinerileri ve Benzerleri) atıksuyu için deşarj standartları.....	10
Çizelge 3.2 Petrol sanayi (Petrol Dolum Tesisleri ve Benzerleri) atıksuyu için deşarj standartları.....	10
Çizelge 3.3 Petrol sanayi (Hidrokarbon Üretim Tesisleri) atıksuyu için deşarj standartları.....	11
Çizelge 5.1 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU)....	33
Çizelge 5.2 $FeCl_3$ koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU).....	34
Çizelge 5.3 $FeSO_4$ koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU).....	35
Çizelge 5.4 Alum koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU).....	36
Çizelge 5.5 Kontrol sonrası bulanıklık ölçüm sonuçları.....	57
Çizelge 5.6 Kontrol sonrası KOİ ölçüm sonuçları.....	58
Çizelge 5.7 $FeSO_4$ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC)....	58
Çizelge 5.8 $FeCl_3$ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC).....	58
Çizelge 5.9 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC).	59
Çizelge 5.10 Alum koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC).....	59
Çizelge 5.11 $FeCl_3$ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri.....	59

1. GİRİŞ

Temel kaynakları ham petrol ve doğal gaz olan petrokimya endüstrisinde, petrokimyasal ürünlere talebin sürekli artmasıyla düzenli olarak kapasite artırımına gidilmekte, ürün çeşitliliğini attırmak için yeni yatırımlar yapılmaktadır. Çevresel etkileri çok fazla olan bu sanayi alanında, atıksu kontrolü için ileri teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Organik ve inorganik kirleticilere rastlanan, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) değerlerine sahip, askıda katı parçacık içeren petrokimya atıksuların arıtılması için fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemler uygulanmaktadır.

Atıksuların etkili bir şekilde arıtımının yapılması için tercih edilebilen elektrokimyasal ve membran arıtım tekniklerinin yanında, kimyasal koagülasyon ile yapılan arıtım işlemi, hem bilinen geleneksel bir yöntem olması hem de ekonomik olması sebebiyle kullanılmaktadır.

Kimyasal koagülasyonda, FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Alum, PACl gibi inorganik ve guar gum, xanthan gum, sodyum aljinat ve karboksimetil selüloz gibi organik çöktürücüler denenerek arıtım yapılabilir. Atıksu karakterizasyonuna göre, bu çöktürücüler etkisinde verimlilik ve arıtılmış su kalitesi gözlenir.

Endüstriyel atıksuların arıtılması işlemlerinde dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden biri pH'dır. Kimyasal koagülasyon ile yapılacak olan çöktürme prosesinde, kullanılan çöktürme ajanı ile birlikte hangi pH'da çalışıldığı değerlendirilmektedir.

Kimyasal proseslerin büyük çoğunluğu doğrusal olmayan davranış göstermektedir. Arıtım esnasında pH prosesinin doğrusal olmayan yapısını göz önüne alarak, etkin bir kontrol edici gerekmektedir.

pH prosesi, üzerinde sıklıkla çalışılan, kontrol edilmesi zor olan bir prostir. PID gibi kontrol edicilerin yetersiz kaldığı bu proses için, VISUAL BASIC (VISIDAQ) programında geliştirilmiş, bulanık mantık tabanlı dinamik matris kontrol algoritması, bu çalışmada pH kontrolü için kullanılmıştır. Uygun çöktürücüler ile farklı pH değerlerinde denemeler yapılarak hem kontrol hem de atıksu arıtımı sağlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ballice vd. (1997), kolloidal sistemli ve yağ içerikli bir endüstriyel atıksu için koagülant ile kimyasal çöktürme işlemini uygulamıştır. Atıksuyun analiz değerleri belirlendikten sonra, önce yüksek sıcaklıkta kolloidal parçacıkların dağılımı sağlanmış, daha sonra demir-3-klorür ile çöktürme işlemi yapılmıştır. Diğer denemelerde demir-2-sülfat, alüminyum sülfat ve sentetik polielektrolitler kullanılmıştır. Kullanılan polielektrolitin uygunluğu, fiziksel ve kimyasal özellikleri ve arıtma maliyetine etkisi tartışılmıştır. Değerlendirilen sonuçlar ile herhangi bir atıksuyun arıtımı için yumaklaştırma ve çökelek oluşturma işleminin gerçekleşeceği optimum koşulların önerilebilmesi, ileri düzey bir arıtma tesisi gerektirmeden, atıksuların, uygun kimyasal madde doz miktarı ve uygun proses aşamaları ile arıtımının gerçekleştirilebileceği tartışılmıştır.

Sung vd. (1998), pH prosesinde karşılaşılan doğrusal olmama durumunu ve iyon konsantrasyonu, çözünürlük gibi denge bileşenlerini kontrol etmek için bir adaptif kontrol edici tasarlamışlardır. Sürekli karıştırılmalı nötralizasyon tankı için besleme akışında zayıf asit, titrasyon işleminde kuvvetli baz kullanımı düşünülmüş, sistem için pH modellemesi oluşturulmuştur. Titrasyon eğrilerini oluşturmak için PI kontrol edici kullanılmıştır. Öngörüsüz kontrol stratejisi ile, PI kontrol ediciden alınan pH çıktı değerlerini ve set noktasındaki pH değerini, toplam iyon konsantrasyonu ile ilişkilendirerek, PI kontrol edici girdisi oluşturulmaktadır. Sistem besleme bileşenlerinin özelliklerinin bilinmediği durumda, adaptif kontrol edici kullanımının sonuçlarının, kuvvetli baz konsantrasyonu değişiminde ve pH kontrolünde etkisi iyi olarak gözlenmiştir.

Demircan vd. (1999), lineer olmayan, açık döngülü ve kararlı olmayan sistemler için, dinamik matris kontrol (DMC) algoritmasını, FRM (fuzzy relational model) tekniğine uygulamışlardır. Optimum model için, birinci ve ikinci derece modeller, referans set noktalarıyla ISE (Integral Square Errors) değerleri belirlenerek oluşturulmuştur. Lokal ve genel tanımlı ISE parametreleri belirlenmiştir. Servo ve düzenleyici kontrol sistemlerinde, FRM modellerinin DMC ile performansı test edilmiştir. Birinci ve ikinci

derece transfer fonksiyonları için FRM üzerinde RLS (Recursive Least Square)'nin olumlu etkisi görülmüştür.

Edgar ve Postlethwaite (2000), çok değişkenli pH nötralizasyon prosesi simülasyonu oluşturarak FIMC (fuzzy internal model control) denetlecinin test etmişlerdir. Nötralizasyon prosesi, bir karıştırma tankında, zayıf asit; asetik asit ve kuvvetli baz; sodyum hidroksit ile gerçekleştirilmiştir. Prosesin dinamik modeli oluşturularak, titrasyon fonksiyonları belirlendi ve diferansiyel denklemler Simulink-Matlab programında çalıştırıldı. Internal model kontrolünde, SISO sistemler için kullanılan Fuzzy Relational Modelini, çok değişkenli pH simülasyonu için ccFRM (crisp-consequent Fuzzy Relational Model) formuna dönüştürdüler. FIMC denetlecinin performansı, 0.5 m sabit sıvı seviyesinde 500 saniye aralıklarla, pH set noktasına ulaşmak için asit ve baz akış hızları değişimi ile gözlemlendi. İkinci test, çözeltinin pH'nı nötr durumda tutmak için asit ve baz akış hızları değişikliklerinde ufak dalgalanmaların olduğunu göstermiştir. Diğer bir testte, FIMC kontrol sisteminin kararlılığını ölçmek için baz konsantrasyonu ile %10'luk basamak etki verildiğinde, kontrol edicinin pH ve sıvı seviyesindeki değerleri koruduğu görülmüştür.

Postlethwaite ve Edgar (2000), bir diğer çalışmalarında, pH ve sıvı seviye kontrolünde çalıştırılmak üzere, nonlinear sistemler için bulanık mantığın kullanıldığı yeni bir MIMO algoritması geliştirmişlerdir. Yeni FIMC+ algoritmasıyla, her bozan etki girdi elemanı için alt modeller geliştirilip, kontrollü çıktı elemanlarının tahmini değerleri oluşturulmuştur. Ortaya çıkan "tahmin yüzeyi"nde monotik ve monotik olmayan bölgeler gözlemlendi. Geliştirilen model, FIMC+ algoritması içerisinde uygulandı. Yapılan ilk test için, kontrol edici, pH set noktası değişikliklerinde sıvı seviyesini sabit tutmuştur. Bozan etki değişkenleri; asit ve baz akış hızları büyük oranda değişiklik göstermiştir. İkinci testte, pH set noktasını sabit tutmak için, tank seviyesinde, asit ve baz akış hızlarında büyük değişimler görülmüştür.

Wright ve Kravaris (2001), endüstriyel bir pH prosesi için kontrol edici geliştirmişlerdir. Kontrol edici, kimyasal bileşenleri bilinmeyen ve asidik özellik gösteren akış sistemine uygulanmaktadır. Sistemin pH değişimine, kireçli su akımıyla

etki edilmektedir. İlk olarak, açık döngüde zaman-pH değişimi gözlenmiş, farklı zamanlarda tanktan alınan numuneler, sodyum hidroksit ile titre edilerek, pH-NaOH titrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Lineer olmayan sistem için, PI kontrol edici modeline girdi sağlayacak matematiksel model geliştirilmiştir. Model içerisinde, "s ve c" "forgetting factor" değerleri ve set edilen pH ile anlık pH farklarının ölçümleri kullanılmaktadır. Geliştirilen kontrol sisteminin performansı, katı partikülleri bulunan kireçli suyun optimum akış hızı denemelerinde, sıvı akış sisteminin farklı pH set değerlerinde, karıştırma etkisi gözlemlerinde kullanılmıştır. Akım değişimlerine bağlı, pH değişimlerine bağlı tüm sistem cevapları, zamana göre grafiksel olarak gösterilmiştir.

Zeybek ve Albaz (2005), bir boya fabrikası atıksuyunun kimyasal çöktürme yöntemi ile arıtımında, Fuzzy-Dinamik matris kontrol (FDMC) uygulamasını denemişlerdir. DMC algoritmasının Fuzzy ilişki matrisi ile modifiye edilmesiyle oluşturulan algorithmada, pH kontrolündeki lineer olmayan durumu, belirsizlik ve matematiksel model oluşturmadaki zorluk göz önüne alınarak, güvenilir bir kontrol edici tasarımına odaklanılmıştır. pH kontrolü deneylerinde, model olmadan kontrol, FDMC etkisinde kontrol ve PID kontrol etkileri gözlenmiştir. Klasik DMC algoritmasının modifiye Fuzzy İlişki Matris versiyonu, lineer yaklaşımı ve fuzzy modelleri kullanarak, kontrol hareketleri oluşturmuştur. Basamak etki verilerek oluşan bir A dinamik matrisi kontrol çıktıları oluşumunda kullanılmıştır. Sistem girdi ve çıktıları arasındaki bulanık ilişkiden oluşan bir R ilişki matrisi kullanılmıştır. Lineer modelin ve fuzzy modelin DMC algoritmasında kullanımı ile kontrol hareketleri gerçekleştirilmiştir. Fuzzy ilişki modelinde, üçgen üyelik fonksiyonu ile 5 adet bulanık set oluşturularak değişkenler belirlenmiştir. Sonuç olarak boya atıksuyunda denenen FDMC algoritması, PID kontrole göre set noktasından sapmayı azaltarak, daha dar aralıkta pH kontrolü sağlamıştır.

Çetinkaya vd. (2006), FDMC (fuzzy-dinamik matris kontrol) algoritmasını, karıştırmalı polimerizasyon reaktöründe optimum sıcaklık kontrolü için kullanmışlardır. FDMC kontrolün kıyaslamasını NLGPC (genelleştirilmiş nonlineer tahmin edici kontrol) ile yapmışlardır. Ayarlanan değişken ve sıcaklık için üçgen ayak

fonksiyonundan bulanık üyelik seti oluşturulmuştur. Stiren polimerizasyon reaktöründe optimum sıcaklık kontrolü için deneyler yapılmıştır. Oluşturulan reaksiyon eğrisinden A dinamik matrisi belirlenmiş ve böylece DMC algoritması için katsayılar hesaplanmıştır. Kontrol deneylerinden FDMC algoritması kullanımında, monomer dönüşümü, zincir uzunluğu ve molekül ağırlığı sonuçları NLGPC kontrolü ile karşılaştırılmış ve daha iyi bulunmuştur. ISE, IAE ve ITAE kriterleri hesaplanarak FDMC kontrolünün daha iyi sağlandığı görülmüştür.

Verma vd. (2010), petrokimya tesisinden almış oldukları, “saf tereftalik asit (PTA)” üretim biriminin atık suyu üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, PTA atık suyunun KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) değerini, organik ve inorganik koagülanlar kullanarak ve seyreltme yapmadan düşürmeyi amaçlamışlardır. Atık sudaki KOİ (2776 mg/L) değerini, petrokimya atık suları için kabul edilebilir değer olan 125 mg/L seviyesine düşürmek için kullanılan inorganik koagülanlar, Alum, PACl, FeCl₃, FeSO₄; organik koagülanlar, guar gum, xanthan gum, sodyum aljinat ve karboksimetil selülozdur. Koagülasyon-flokülasyon işlemlerinde kullanılan organik koagülanların KOİ giderme verimleri düşük (%6.2-%18.6) olduğundan, deney çalışmalarına inorganik koagülanlar üzerinden devam edilmiştir. FeCl₃ için, optimum doz 3000 mg/L, optimum pH 5.6 olarak belirlenmiş ve %75.57’lik en yüksek verim elde edilmiştir. Oluşan tortunun karakterizasyonunu daha iyi belirlemek için optimum dozda (175 mg/L) katyonik polielektrolit (C-PAA) ilave edilerek, çamur hacim endeksi (SVI) 177 mg/L, özgül kek direnci (α) $1,14 \times 10^{10}$ m/kg ve tortu direnci (R_m) $3,80 \times 10^5$ 1/m değerine düşürülmüştür. Arıtma işlemi sonucu oluşan floklaşmaların termogravimetrik analizlerinden ve SEM görüntülerinden, FeCl₃ koagülan flokları daha kararlı görülmüştür. EDAX ve FTIR analizleriyle de FeCl₃ için karbon elementinin kütlece yüzdesi, diğer koagülanlara göre daha yüksek değerde, %53.55 olarak belirlenmiştir.

Chen vd. (2011), lineer olmayan pH nötralizasyon prosesi için, fuzzy kontrol ve kayan kipli kontrolün kombinasyonunu ile adaptif fuzzy kayan kipli kontrol (FSMC) algoritması oluşturmuşlardır. Bu metot ile çok değişkenli nötralizasyon prosesi için girdi değişkeni sayısı azaltılmış, fuzzy kural tablosu daha kolay belirlenmiştir. pH prosesinde tampon çözelti ile birlikte kuvvetli asit ve kuvvetli baz kullanılmıştır.

Kontrol edici tasarımımda, u_{eq} eşdeğer çıktı değişkenine, u_s switch kontrol değeri eklenmektedir. Lyapunov fonksiyonu ile oluşturulan fuzzy kural tablosu için S ve Ş girdi değişkenleri tanımlanmış, kontrol değişkenlerine bağlı 7x7 fuzzy kural seti oluşturulmuştur. Kontrol verimliliğini geliştirmek için daralma-genişleme faktörleri, fuzzy kontrol kısmına eklenmiştir. Asit, baz ve tampon sıvı akışının bulunduğu sistemde, çıkış pH'ı 7 değerine ve sıvı yüksekliği 14 cm değerine set edilmiştir. Geliştirilen FSMC kontrol metodu ile lineer olmayan prosesin kontrolü iyi şekilde sağlanmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1 Kimyasal Proseslerin Kontrolü

Enerjinin, hammaddenin ve diğer kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını gerektiren kimyasal proseslerde, işletim şartları, ürün kalitesi, çevresel etkiler, güvenlik gibi faktörler de göz önüne alındığında, proses kontrolün önemi büyüktür. Modern tesislerde ve entegre sistemlerde, dinamik, karmaşık bir yapı ve anlık ölçülmesi gereken çok fazla değişken vardır. Her bir ünitenin işletim kısıtlamaları, kendine özgü dinamiği, kontrol sistemi oluşturulurken dikkate alınan hususlardandır.

Birden fazla girdi değişkeni ile işletilen kimyasal proseslerde, çıktı değişkenleri etkilenmekte ve yan optimal işletim şartları, yeni tasarım değişkenleri oluşmaktadır. Çeşitli parametreler ve değişkenlerin yanında, prosesin fiziksel özellikleri de farklılık göstererek, sistemin dinamik davranışını etkilemektedir (Alpbaz 2004). Kimyasal proseslerin büyük çoğunluğu doğrusal olmayan sistemlerden oluştuğundan, doğrusal olmayan kontrol edicilerin kullanılması uygundur. Bununla beraber doğrusal kontrol sistemlerinden, oransal integral türevsel (PID) kontrol edicisi ve varsayılan proses modeline dayalı iç model (IMC) kontrol edicisi de tercih edilmektedir.

Optimal işletim şartlarını belirleyebilme ve prosesin matematiksel modelini oluşturabilme, doğrusal olmayan sistemlerin kontrol edilmesinde kolaylık sağlar. Deneysel ya da teorik çalışmalarla geliştirilen “modele dayalı kontrol ediciler” ile çok değişkenli sistemler başarılı bir şekilde kontrol edilmektedir. Model öngörmeli kontrol (MPC) tekniği, proses kısıtlamalarına ve dijital kontrolünde geniş örnekleme periyoduna sahip olan petrol rafinerilerinde ve petrokimya tesislerinde sıklıkla uygulanır (Donkelaar 2000).

Analitik yöntemlerle geliştirilen modellere alternatif olarak oluşturulan bulanık mantık sistemleri, yapay sinir ağları sistemleri, genetik algoritmalar ile geliştirilen ampirik modeller, proses kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Böylece doğrusal olmayan kimyasal proseslerin de daha etkin kontrol edilmesi amaçlanmıştır.

3.2 Petrokimya Endüstrisi ve Önemi

Petrokimya endüstrisi için gerekli olan ana kaynakların başında ham petrol ve doğal gaz gelmektedir. Toluen, ksilen, propilen, benzen gibi temel petrokimyasalların üretimiyle başlayan süreç, petrokimyasal ara ürünler ve petrokimyasal son ürünlerle devam etmektedir. Petrokimya, nafta, gaz yağı başta olmak üzere, petrol rafinerisi ürünlerini ve doğal gazı kullanarak, plastikler, kauçuk ve elyaf hammaddeleri, temel ve ara petrokimyasallar üreten, inşaat, otomotiv, deterjan, tekstil, elektronik, tarım gibi birçok sektöre girdi sağlayan bir sanayi alanıdır.

Çeşitli prosesler sonucu üretilen kimyasallar için gerekli petrokimya endüstrisi ürünleri sayesinde, günlük hayatta kullandığımız kablolar, tıbbi malzemeler, ilaçlar, fotoğraf malzemeleri, her türlü gıda ambalajları, plastik su şişeleri ve kaplar, deterjanlar, çorap, kord bezi gibi tekstil ürünleri, boya, parfüm, krem, mutfak eşyaları, tarım ilaçları, füze yakıtı, hayvan yemi, fırça, balık ağı, yapıştırıcılar, buzdolabı, çamaşır makinası, vantilatör, duvar kaplamaları gibi hemen hemen tüm maddelerin özünde kimya ve petrokimya mevcuttur. Bugün ticari olarak 14000'e yakın farklı ürünün hammaddesini kimya ve petrokimya ürünleri oluşturmaktadır (Çelebi 2010).

Petrokimya tesislerinde, farklı türdeki ürünlerin sayısı, sanayi alanın sürekli gelişmesi düşünüldüğünde, her bir ünitenin atıksuyunun arıtılması için spesifik olarak fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtım teknikleri denenmektedir. İnsan sağlığına ve çevreye karşı zararlı etkileri fazla olan bu endüstrinin atıksuları için arıtımın en iyi şekilde yapılması gerekliliği doğmaktadır. Ultrafiltrasyon, ters ozmos, diyaliz gibi membran teknikleri, elektrokimyasal arıtım teknikleri ve diğer kimyasal, biyolojik teknikler bu endüstride kullanılan arıtım tekniklerinden bazılarıdır.

3.2.1 Petrokimyasal atıksuların deşarj standart değerleri

Petrokimya endüstrisindeki arıtılmış suyun sahip olması gereken özelliklerin gösterildiği, tesis türlerine göre Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen “su kirliliği kontrolü yönetmeliği” çizelge 3.1-3.3’de verilmiştir.

<http://www.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/YON-25687SKKY.docx>

Çizelge 3.1 Petrol sanayi (Petrol Rafinerileri ve Benzerleri) atıksuyu için deşarj standartları

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
ASKIDA KATI MADDE(AKM)	(mg/L)	120	60
YAĞ VE GRES	(mg/L)	20	10
AMONYUM AZOTU (NH ₄ -N)	(mg/L)	40	20
HİDROKARBONLAR	(mg/L)	15	10
SÜLFÜR (S ⁻²)	(mg/L)	2	1
FENOL	(mg/L)	2	1
KROM (Cr ⁺⁶)	(mg/L)	0.2	0.1
TOPLAM SİYANÜR (CN ⁻)	(mg/L)	2	1
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.2 Petrol sanayi (Petrol Dolum Tesisleri ve Benzerleri) atıksuyu için deşarj standartları

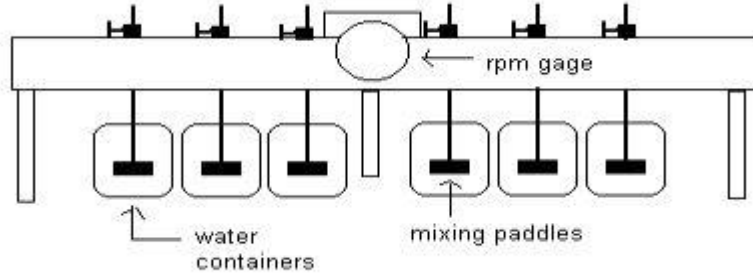
PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	400	200
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	60	30
YAĞ VE GRES	(mg/L)	40	20
HİDROKARBONLAR	(mg/L)	6	8
FENOL	(mg/L)	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN ⁻)	(mg/L)	0.5	0.2
SÜLFÜR (S ⁻²)	(mg/L)	2	1
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.3 Petrol sanayi (Hidrokarbon Üretim Tesisleri) atıksuyu için deşarj standartları

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	300	250
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	200	100
YAĞ VE GRES	(mg/L)	20	10
HİDROKARBONLAR	(mg/L)	15	10
AMONYUM AZOTU (HN4-N)	(mg/L)	20	10
SODYUM (Na)	(mg/L)	250	200
SERBEST KLOR (Cl)	(mg/L)	0.3	-
SÜLFAT (SO ₄)	(mg/L)	2000	1700
DEMİR	(mg/L)	10	8
FENOLLER	(mg/L)	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN-)	(mg/L)	1	0.5
SÜLFÜR (S ⁻²)	(mg/L)	2	1
CİVA (Hg)	(mg/L)	-	0.05
KADMİYUM (Cd)	(mg/L)	0.15	0.10
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	1	0.5
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	1	0.5
KROM (Cr ⁺⁶)	(mg/L)	0.5	0.2
BAKIR (Cu)	(mg/L)	1	0.5
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	6	4
pH	-	6-9	6-9
(Ek satır:RG-24/4/2011-27914) Renk	(Pt-Co)	280	260

3.3 Jar Testi Prosedürü

Jar testi, atık su arıtımında, optimum koagülant dozunu ve optimum pH değerini belirleyebilmek için genelde ”jar testi aparatı” kullanarak gerçekleştirilen deneydir. Deneyde, farklı pH değerlerinde, farklı çöktürücülerin farklı miktarları ile denemeler yapılır ve ne kadar miktarda çöktürme yapılacağına karar verilir.



Şekil 3.1 Jar testi aparatı diagramı

3.3.1 Kolloidler

Koloidal çözelti, 1-100 nm boyutlarındaki gözle ya da optik mikroskoplarla görülemeyecek taneciklerden oluşan heterojen çözeltilerdir. Emülsiyonlar, süspansiyonlar, jel ve sollar, koloidal sistemlere örneklerdir. Koloidal partiküller organik ve inorganik moleküllerden oluşur ve suya karşı kararlılığına göre hidrofilik ve hidrofobik olarak adlandırılır.

Çözelti içerisinde kolloidlerin uzaklaştırılması için moleküllerin taşımış oldukları elektriksel yüklerin ortadan kaldırılması ve kararsızlaştırılması gerekir. Kullanılan çöktürücü kimyasal maddeler, zıt yüklü iyonlar ile tabaka sıkıştırmasını, elektrostatik etkileşimi sağlayacak olan adsorpsiyon ve yük nötralizasyonunu, metal tuzları ile çökelek içerisinde almayı, organik polimerler ile tanecik-polimer kompleksi oluşturmayı sağlayacaktır. Böylece bozulan kolloid yapı, yumak oluşturabilecek, büyüyecek, ağırlaşp çökebilecektir (Ballice vd. 1997).

Kolloidlerin büyüklüklerine, molekül ağırlıklarına optik özellikleri incelenerek ulaşılabilir. Yoğun ışın demeti gönderilen partiküllerin, bu ışınları dağıtması ve dağılan her bir ışığın dalgalarının birleşmesi ile saçılım yoğunluğu oluşur. (Faraday Tyndall Etkisi'ne dayanır) Saçılım yoğunluğu partikül difüzyonu ile partikül büyüklüğü ilişkisi Stokes-Einstein eşitliğiyle verilmiştir (Eşitlik 3.1).

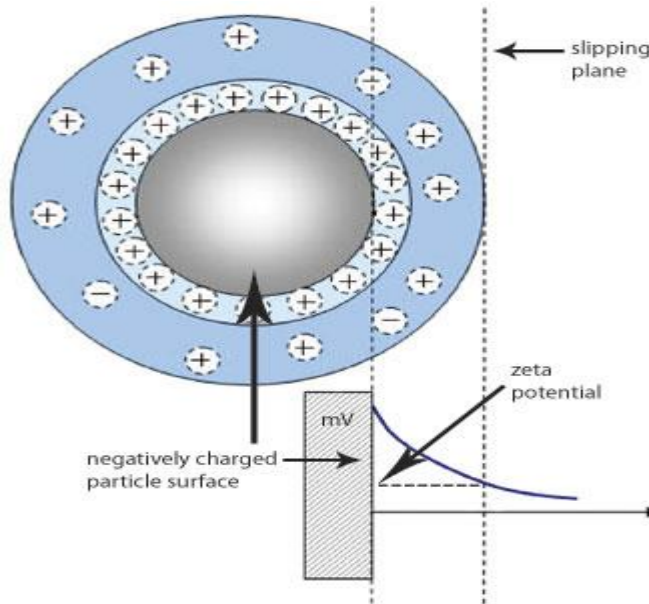
$$D = \frac{kT}{6\pi\eta R_h} \quad (3.1)$$

Dağılan ışığın şiddetinin ölçülmesi ile türbidite değerine de ulaşılır. Böylece kolloidal bir dağılımın molekül ağırlığı bulunabilir.

$$\frac{H_c}{T} = \frac{1}{M} + 2Bc \quad (3.2)$$

Yer çekimi etkisi altında bulunan kolloidlerin termal özellikleri ve çözeltinin viskozite özellikleri incelenerek de kolloid sistemin kinetiği belirlenebilmektedir.

Kolloidal sistemlerde koagülasyon işleminin daha iyi gerçekleşmesinde, çözelti içerisindeki partiküllerin stabil halden uzaklaşması ve “Zeta potansiyeli”nin azaltılması önemlidir. Partiküller iyonik özelliklerine göre karşı yüklü iyonları adsorbe eder ve tek tabakalı (monomoleküler) bir yapı oluşur. Bu tabakanın etrafında da hareketli ikinci iyon tabakası (Helmholtz elektriksel çift tabaka) oluşur. Çift tabaka dışında da nötral alan bulunur. Zeta potansiyeli (ζ), bu nötral alan ile partikül yüzeyi arasındaki potansiyel farktır. Zeta potansiyeli, zetametre ile ölçülür, birimi milivoltur (Çelebi 2009).

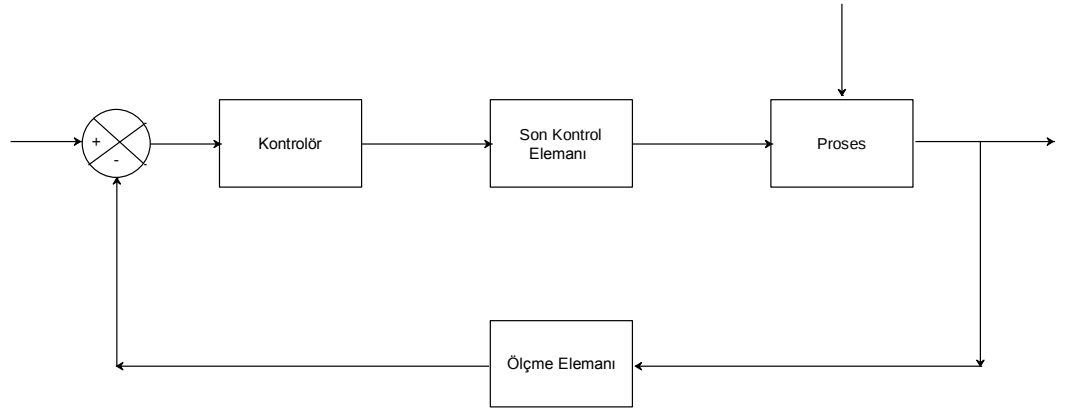


Şekil 3.2 Zeta potansiyelinin şematik gösterimi

3.4 Geri Beslemeli Kontrol Sistemi

Geri beslemeli kontrol teknikleri, proses endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal proseslerde, akış kontrolü, basınç kontrolü, sıvı seviyesi kontrolü, sıcaklık kontrolü, bileşim kontrolü gibi işlemlerde, geri beslemeli kontrol tekniğine sıkça rastlanır (Stephanopoulos 1984). Kapalı çevrim geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Geri beslemeli kontrolde, çıkış değişkeni kontrolü için, çıkış değişkeni ölçümü yapılır, alınan sinyal ile belirlenen set noktası değeri (istenilen değer) karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu hata sinyali ($y_{sp}-y_m$) oluşturulur. Kontrolör, gelen hata sinyalini azaltacak yönde çıkış sinyali üretecektir ve son kontrol elemanı, kontrolörden gelen çıkış sinyaline göre fiziksel işlem uygular.



Şekil 3.3 Kapalı çevrim geri beslemeli kontrol sistemi

Geri beslemeli kontrol sisteminde en çok tercih edilen kontrolör tipi, oransal, integral ve türevsel kontrol modlarının beraber kullanıldığı PID kontrol edicisidir. PID kontrol edici için türevsel ve oransal tepmeleri elimine etmek için seri, paralel, esnek formlarda da yapı bulanabilmektedir (Seborg vd. 2012). Zaman tabanında genel PID (oransal, integral, türevsel) kontrol edici denklemi aşağıdaki gibidir.

$$p(t) = K_C e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.3)$$

3.4.1 Cohen-Coon parametre ayarlama yöntemi

Eski yöntemlerden biri olan Cohen-Coon parametre tayin yöntemi ile PID kontrol parametreleri ayarlanabilir. Bu yöntem ile prosesin basamak etki altında yatışkın hale geçen reaksiyon eğrisinden yararlanarak, sistemde ölü zaman (t_d) ve zaman sabiti (τ_s) değerleri hesaplanabilir. Sistem tepkisinin uyduğu iletim fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$G(s) = \frac{K e^{-(t_d s)}}{1 + \tau_s s} \quad (3.4)$$

Sistem kazancının “K” olarak gösterildiği PID kontrol için belirlenmesi gereken parametreler aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

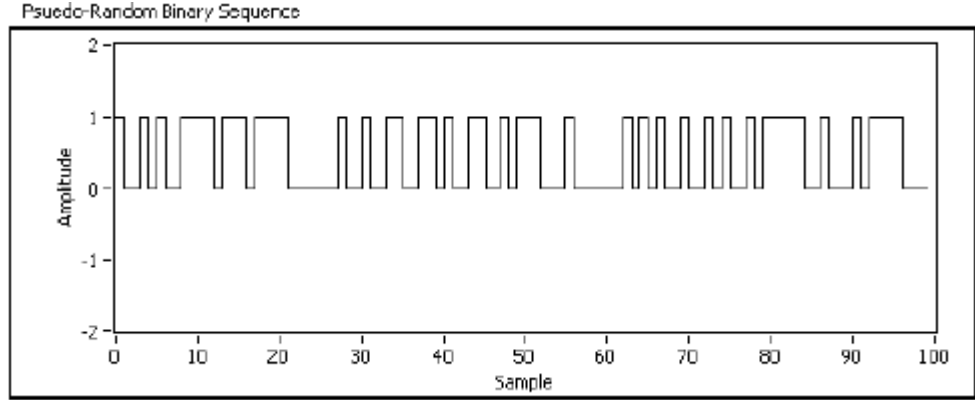
$$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{t_d} \left[\frac{4}{3} + \frac{t_d}{4\tau} \right] \quad (3.5)$$

$$\tau_I = \tau_d \frac{32 + 6 \frac{t_d}{\tau}}{13 + 8 \left(\frac{t_d}{\tau} \right)} \quad (3.6)$$

$$\tau_D = t_d \frac{4}{11 + 2 \left(\frac{t_d}{\tau} \right)} \quad (3.7)$$

3.5 PRBS (Sahte Rastgele Ardışık İkili Sinyal)

Rastgele proses etkilerini görmek ve parametre belirlemek için kullanılan test sinyali yöntemlerindendir. PRBS sinyalinin oluşturulmasında geriye kaydırmalı sayaç yöntemi (shift register) kullanılır. PRBS sinyali sisteme verdiği etki, doğrusal veya doğrusal olmayan modellerin parametrelerinin hesaplanmasında kullanılır. PRBS sinyallerinin büyüklüğü, proses kontrol sistemine uygun girdi sinyallerinden seçilmelidir. Tahmin edilecek parametreler için genelde “Bierman algoritması” seçilmektedir. PRBS sinyalinin sisteme verdiği etki, doğrusal veya doğrusal olmayan modellerin parametrelerinin hesaplanmasında kullanılır.



Şekil 3.4 PRBS sinyalinin gösterimi

3.6 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi

Felsefe ve mantık alanında tartışılan bulanık mantık kavramı, pozitif bilimlerde çok fazla uygulama alanı bulmakta ve başarılı sonuçları ortaya konmaktadır. İnsan düşünme sistematığının makinelere aktarılması özellikle kontrol alanında kolaylık sağlamıştır. 1965 yılında Prof. Lotfi A.Zadeh tarafından ileri sürülen bulanık mantık ve bulanık küme teorisinde, belirsizlik durumları matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır.

Klasik küme anlayışında, üyelerin A kümesine veya onun değillemesi $\bar{A}$ kümesine ait olması beklenir (Paksoy vd. 2013). Bulanık mantıkta ise, varlıklar, kesin olmayan bilgilerin sayısal gösterimi olan bulanık sayıların kullanılması ile $[0,1]$ aralığında üyelik derecesi alacaktır ve üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ ile gösterilecektir. Bulanık mantık, bir kesinlik bildirmeden, kavramların (doğru, çok doğru; iyi, biraz iyi...) matematiksel olarak derecelendirmesini sağlayacaktır. Böylece bulanık mantık dilsel anlatımın yorumlanması olmaktadır.

Bu teori, kesin sınırları olmayan karmaşık sistemleri, problemleri tanımlamak ve çözmek için geliştirilmiştir. Günlük hayatta karşılaşılan birçok problemin üstesinden bir dizi bulanık operasyon yapılarak geliriz. Örneklerden biri, bir aracı diğer araçlara paralel olarak park etmek olabilir. Sürücü, aracı ileri geri hareket ettirirken, direksiyonu gerekli açıyı ayarlamak için çevirecek ve bu işlemleri bir kaç kez yapacaktır. Park

işlemi gerçekleştirilirken açı, hız, mesafe gibi terimlerin niteleyicisi olarak kullanılan ifadeler, bulanık mantığın derecelendirebileceği hale gelebilir (McNeill ve Thro 1994).

Endüstriyel proseslerin karmaşık ve matematiksel modellemesinin zor olması sebebiyle, bulanık sistemler yaygın olarak endüstriyel proses kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır. Verimliliği arttırmak için, birçok makinenin sistemsel denetiminde de bulanık mantık uygulaması gerçekleştirilmektedir. İnsan düşünme tarzına yakın olması ve üyelik derecelerinin kullanılması, bulanık kontrol sistemlerinin oluşturulması için en önemli etkidir.

3.6.1 Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri

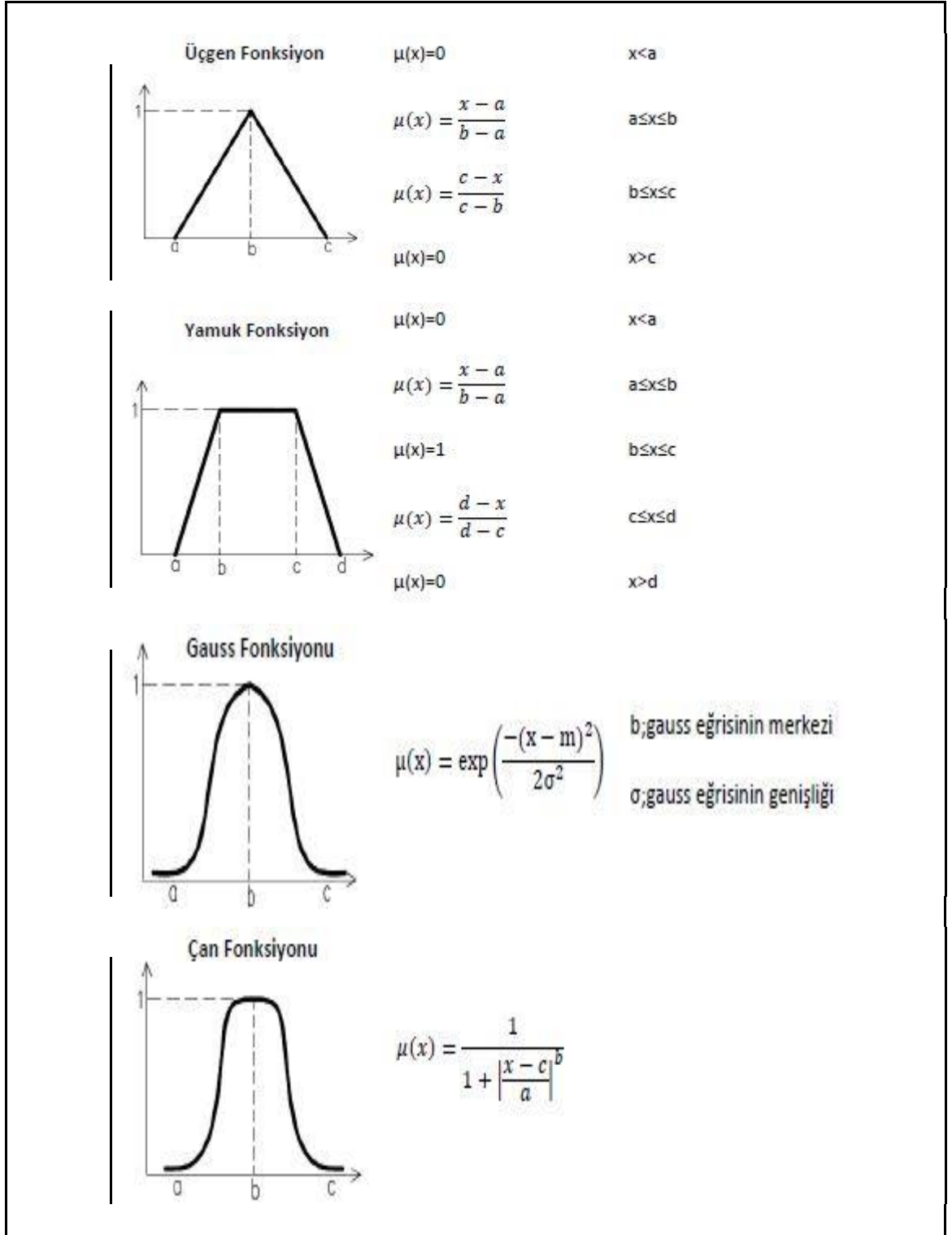
“x” ile gösterilen elemanlardan oluşan A kümesi (U evrensel kümesinin alt kümesi) için üyelikler, μ_A karakteristik fonksiyonu ile gösterilir ve $[0,1]$ aralığında derecelendirilirse, $\tilde{A}$ bulanık kümesi (bulanık seti) oluşacaktır.

$$\tilde{A} = \{[x, \mu_{\tilde{A}}(x)]/x \in A\} \quad (3.8)$$

x_1, x_2, x_3 elamanları için:

$$\tilde{A} = \{(x_1, \mu_{\tilde{A}}(x_1)), (x_2, \mu_{\tilde{A}}(x_2)), (x_3, \mu_{\tilde{A}}(x_3))\} \quad (3.9)$$

Üyelik fonksiyonlarının alabildiği şekiller farklılık gösterebilir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarının şekil ve ifadelerinden bazıları şekil 3.5’deki gibidir (Paksoy vd. 2013).



Şekil 3.5 Üyelik fonksiyonlarının alabildiği şekiller ve ifadeleri

3.6.2 Üyelik fonksiyonları biçimlerinin sınıflandırılması

Üyelik fonksiyonları biçimlerini, Dombi (1990) dört ana grup içinde sınıflandırmıştır (Şekil 3.6-3.7).

Deneyisel karar vermeye dayalı üyelik fonksiyonları	Güvenirlilik kavramına dayalı üyelik fonksiyonları
Zadeh fonksiyonu	Zimmermann fonksiyonu
$\mu_{Young}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq 25, \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x-25}{5}\right)^2} & \text{if } x > 25 \end{cases}$	$\mu(x) = 1 - \frac{x}{a}, \quad x \in [0, a]$
Krusinka ve Liebhart fonksiyonu	Heshmaty and Kandel fonksiyonu
$\mu_{Old}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 50, \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x-50}{5}\right)^2} & \text{if } x > 50 \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{ a-x }{a} & \text{if } a-a \leq x \leq a+a, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Dimitri ve Luban fonksiyonu	Hannan fonksiyonu
$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctan \frac{x-a}{b}, \quad x \in [-\infty, \infty].$	$\mu(x) = a \left(1 - e^{-(b-x)/(b-a)} \right), \quad x \in [a, b].$
Svarowski fonksiyonu	Bortolan ve Degani fonksiyonu
$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left(\frac{\pi}{b-a} \left(x - \frac{a+b}{2} \right) \right), \quad x \in [a, b]$	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq a, \\ w_1 \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a \leq x \leq b, \\ 1 & \text{if } b \leq x \leq c, \\ w_2 \frac{d-x}{d-c} & \text{if } c \leq x \leq d, \\ 0 & \text{if } d \leq x. \end{cases}$
	Dimitru ve Luban fonksiyonu
	$\mu(x) = \frac{1}{1 + x/\alpha},$

Şekil 3.6 Üyelik fonksiyonu biçimleri (deneysel ve güvenirlilik temelinde)

Teorik isteklere dayalı fonksiyonlar	Kişi kavramlarının bir modeli olarak fonksiyonlar
Civanlar ve Trussel fonksiyonu $\mu(x) = \begin{cases} \lambda p(x) & \text{if } \lambda p(x) \leq 1, \\ 1 & \text{if } \lambda p(x) > 1, \end{cases}$ Svarovski fonksiyonu $\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } a \leq a, \\ \mu_1(x) & \text{if } a \leq x \leq b, \\ \mu_1(x) & \text{if } b \leq x \leq c, \\ 1 & \text{if } c \leq x \leq d, \end{cases}$	Hersh fonksiyonu $\mu(x) = \frac{1}{2} + d \left(\frac{r}{10} \right) \text{ where } d(x) = \begin{cases} 1 & \text{for yes responses,} \\ -1 & \text{for no responses} \end{cases}$ Norwich ve Turksen fonksiyonu $\mu_{m_A}(x) = f_m(\mu_A(g_m(x)))$ Zysno ve Zimmermann fonksiyonu $\mu(x) = \left[\frac{1}{d} \left(\frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}} - c \right) + \frac{1}{2} \right]$

Şekil 3.7 Üyelik fonksiyonu biçimleri (teorik ve kişisel kavram temelinde)

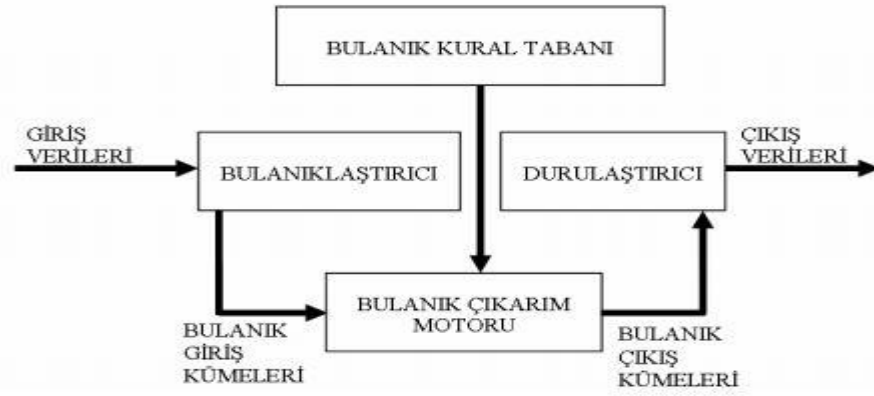
3.6.3 Bulanık mantık denetleyici

Bulanıklaştırma basamağında, sisteme girilen değerler sayısal değerlerin, sözel olarak nitelendirilebilecek bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atanması gerçekleşir.

Bulanık çıkarım mekanizması basamağında, bulanıklaştırılmış üyelik derecelerinin (bulanık değerler) kontrol çıktısına dönüşeceği durulaştırma basamağı için kural tabanı veya ilişki matrisi oluşturulacaktır.

Durulaştırma basamağında, kontrol sinyali olarak kullanılacak değerler sayısal değerlere dönüştürülecektir. Genellikle kullanılan yöntemler, en büyük üyelik ilkesi, sentroid, ağırlıklı ortalama, ortalama en büyük üyelik, toplamların merkezi, en büyük alanın merkezi, en büyük ilk ve son üyelik derecesi yöntemleridir (Paksoy vd. 2013).

Şekil 3.8’de bulanık sistemin, bulanıklaştırma, bulanık çıkarım mekanizması ve durulaştırma basamakları gösterilmiştir.



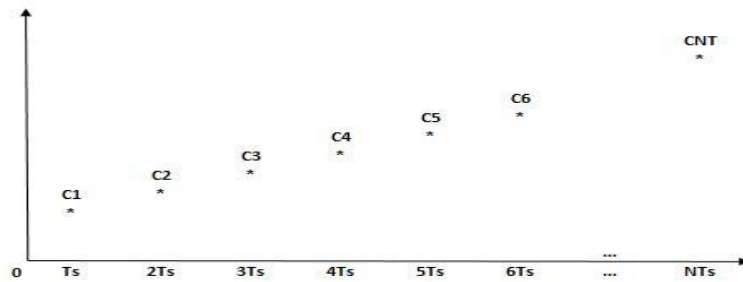
Şekil 3.8 Bulanık sistem

3.7 Dinamik Matris Kontrol

Dinamik Matris Kontrol (DMC), sistem gelecek çıktıları geçmişe ve sistem dinamiklerine dayanıp tahmin ederek kompleks kontrol problemlerini çözen bir bilgisayar kontrol algoritmasıdır.

DMC, proses dinamiklerini sayılar vektörü ile veren bir metottur ve bu sayılar vektörü çok değişkenli kontrol problemlerinin doğrusal eşitlikler ile formüle edilmesine olanak sağlar. Bu doğrusal eşitliklerin katsayılarının matrisi “Dinamik Matris” olarak adlandırılır (Cutler 1983).

Yüksek basamaktan doğrusal bir sürecin basamak yanıtını, $\Delta m=A$ gibi bir basamak etki verildiğinde $\left(\frac{A}{s}\right)$, elde edilen örnekleme zamanı ile şekil 3.9’deki gibi olmaktadır.



Şekil 3.9 Örnekleme zamanı ile çıktı değerleri

Sistemin birim basamak etkiye (yani 1/s) karşı yanıtını bulmak istersek, elde ettiğimiz şekil 3.9'daki çıktı değerlerini A sayısına bölmeliyiz. Dinamik matris kontrol de bu esasa dayanmaktadır. Yeni çıktıları b_i simgesi ile gösterirsek;

$$b_i = c_i / A \quad (3.10)$$

$i=1 : NT$ (NT: örnekleme zamanı)

Böylelikle katlama modelini elde etmiş oluruz. Bu elde ettiğimiz değerleri “dinamik matris” formunda yazacak olursak, aşağıdaki gibi B matrisini elde ederiz.

$$B = \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & b_1 & 0 & \dots & \dots \\ b_3 & b_2 & b_1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{NV} & b_{NV-1} & b_{NV-2} & \dots & b_{NV+1-NU} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

NV: Kestirim ufkundaki örnekleme sayısı

NU: Ayar parametre sayısı

b_i değerleri, prosesin gerçek değerleri olduğu gibi, prosesin doğrusal modeli oluşturularak da elde edilebilir. Örneğin;

$$y(t) = 1 - 2e^{-0,1(t-1)} + e^{-0,2(t-1)} \quad (3.12)$$

$$y(t) = 1U(t-1) - 2e^{-0,1(t-1)}U(t-1) + e^{-0,2(t-1)}U(t-1) \quad (3.13)$$

$$B' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0,00906 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0,03286 & 0,00906 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{NV} & b_{NV-1} & b_{NV-2} & \dots & b_{NV+1-NU} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Kontrol edici, farklı proseslere uygun olarak B matrisini B', B'', B''' formlarında tasarlayabilir.

Tek girdili ve tek çıktılı bir model sistem için DMC modeli eşitlik (3.15)'de gösterilmiştir.

$$y(k) = \sum_{i=1}^N a_i \Delta u(k-i) + a_N u(k-N-1) + d(k) \quad (3.15)$$

k : örnekleme süresi

u : girdi

a_i : basamak yanıtı katsayısı

d : çıktı üzerinde bozan etken

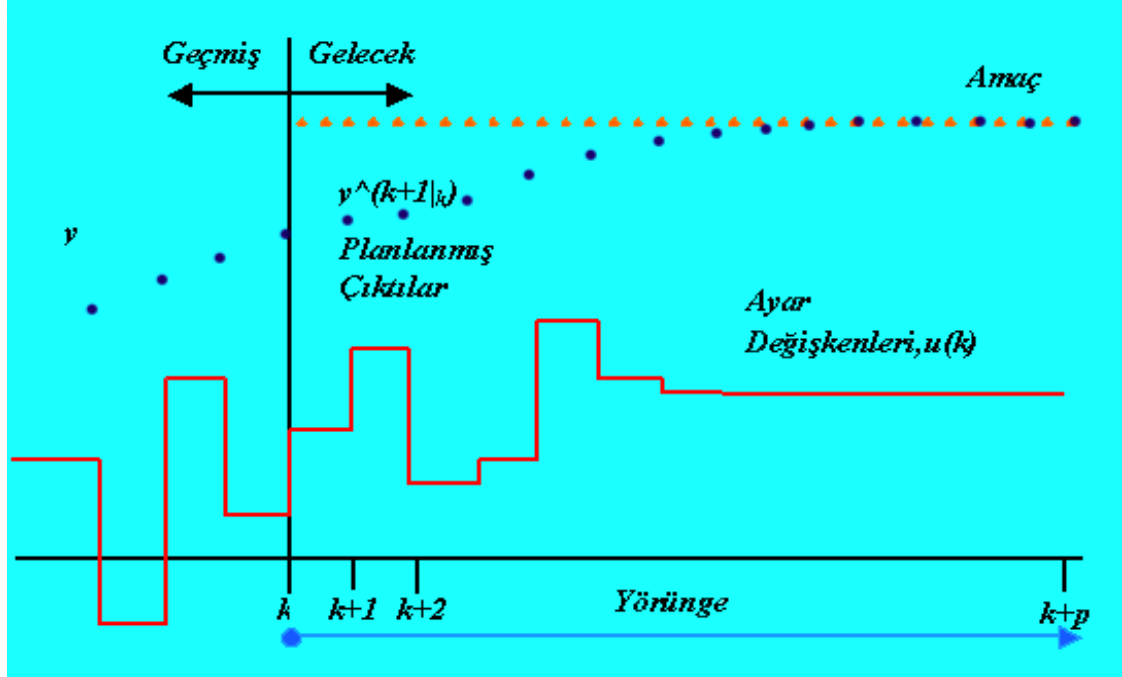
Sistemde ölçülen bozan etken değerleri, ölçülen çıktı değerleri ile geçmişte ölçülen çıktı değerlerinin farkı ile bulunur.

$$d(k) = y^{\text{ölç}}(k) = -[\sum_{i=1}^N a_i \Delta u(k-1) - a_N u(k-N-1)] \quad (3.16)$$

DMC kontrolde geleceğe yönelik tahminlerden oluşan matris formu ile tanımlanan hareket yörüngesinde doğrusal eşitlik (3.17) elde edilir.

$$Y^{\text{doğ}} = Y^{\text{geçmiş}} + A \Delta u + d \quad (3.17)$$

A: basamak yanıtı katsayılarından oluşan matris



Şekil 3.10 Dinamik matris kontrol hareket yörüngeleri (Özkan 2006)

Şekil 3.10’da, DMC kontrolün hareket yörüngeleri gösterilmiştir. Hareket yörüngesi M ile, tahmin yörüngesinin uzunluğu P ile gösterildiğinde, kontrol girdilerinin hesaplanması için eşitlik (3.18) kullanılır.

$$\min_{\Delta u} \sum_{i=1}^P \gamma^2(i) [y^{sp}(k+i) - y^{Li}(k+i)]^2 + \sum_{j=1}^M \lambda^2(j) [\Delta u(k+M-j)]^2 \quad (3.18)$$

y^{sp} : set (ayar) noktası

γ ve λ : çıktı hatası ve girdideki değişimler üzerinde zamanla değişen ağırlık katsayıları

En küçük kareler yöntemi kullanılarak oluşturulan DMC kontrol yasası eşitliği:

$$\Delta u = (A^T \Gamma^T \Gamma A + \Lambda^T \Lambda)^{-1} A^T \Gamma^T \Gamma (y^{sp} y^{geçmiş} - d) \quad (3.19)$$

Γ ve Λ : $\gamma(i)$ ve $\lambda(i)$ etkilerini içeren diyagonal matrisleridir.

3.7.1 Fuzzy-DMC algoritması

Klasik DMC algoritmasının modifiye Fuzzy İlişki Matris versiyonu, gelecek çıktı tahminlerinde proses nonlineerliği etkisi ile bozan etken oluşturan sistemlere uygulanır. DMC algoritması her örnekleme zamanı, lineer yaklaşımı ve fuzzy modelleri kullanarak kontrol hareketi sağlar.

Gelecek hata vektörü ve prosesin dinamik matrisi kullanılarak kontrol hareketleri sağlanır. Kontrol hareketlerini sağlamak için geliştirilen ağırlıklandırılmış matrislerden oluşan eşitlik aşağıdadır. Eşitlik (3.20), eşitlik (3.18) ve eşitlik (3.19)'dan türetilmiştir.

$$\Delta u = (A^T \Gamma^T \Gamma A + \Lambda^T \Lambda)^{-1} A^T \Gamma^T \Gamma (E') \quad (3.20)$$

A, sistemin dinamik matrisini gösterir.

$$A = \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & b_1 & 0 & \dots & \dots \\ b_3 & b_2 & b_1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{NV} & b_{NV-1} & b_{NV-2} & \dots & b_{NV+1-NV} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Bozan etki vektörü gelecek çıktı tahmini için sabit kabul edilmiştir. Ofset olmadan kontrol sağlamak için, hata vektörünün (E') her bir hata değeri, FDMC algortimasından hesaplanmıştır.

Hata vektörünün hassas olarak hesaplanması, ofset olmadan kontrolü sağlamakta ve bozan etken etkisini daha aza indirmektedir. Hata vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\hat{p}H = pH_{past} + A\Delta u \quad (3.22)$$

$$e_2 = \hat{p}H - pH_{fuzzy} \quad (3.23)$$

$$e_1 = pH_{setpoint} - pH_{process} \quad (3.24)$$

$$E' = e_1 + e_2 \quad (3.25)$$

$pH_{setpoint}$: pH için seçilen set noktası

$\hat{p}H$: lineer model çıktısı

pH_{fuzzy} : fuzzy model çıktısı

$pH_{process}$: sistem çıktısı

Kontrol edilen değişken ve ayarlanan değişkeni olan tek girdili ve tek çıktıli dinamik proses için, FRM aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$pH(k) = R \circ pH(k-1) \circ Q(k-\tau_d) \quad (3.26)$$

pH : model çıktısı

Q : model girdi vektörü

R : girdi ve çıktı arasındaki bulanık ilişkileri gösteren model ilişki matrisi

$\circ$: bulanık düzen işleticisi

k : mevcut zaman

$k-1$: geçmişteki tek örnekleme zamanı

$k-\tau_d$: geçmişteki örnekleme periyodundaki ölü zaman (zaman gecikimi: düzenli girdi değişimi ile girdinin çıktıya etkisi arasındaki gecikme)

Tek girdinin olduğu durumda fuzzy ilişki modeli eşitlik (3.27)'deki gibi olacaktır.

$$\bar{R}_k = (k-\tau) \circ e_I(k-1) \circ e_I(k) \quad (3.27)$$

$\bar{R}$: ölçülen pH ile set noktası ve $u(k-\tau)$ ayarlanan değişken arasındaki değişimleri gösteren ilişki matrisi

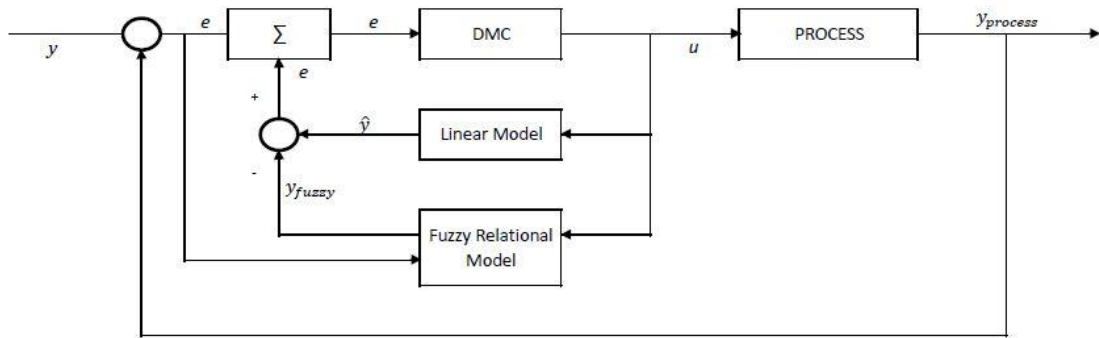
$$\hat{R} = \cup_{k=1}^k \bar{R}_k \quad (3.28)$$

$\hat{R}$: toplam ilişki matrisi

FDMC kontrolünü kullanmak için fuzzy modeli eşitlik (3.29) olarak formülize edilmiştir.

$$E'(k) = \hat{R} \circ E'(k-1) \circ \Delta u(k-1) \quad (3.29)$$

Bu basamakta standart ilişki matrisi oluşturulabilir. Lineer model ve fuzzy modelin DMC'de kullanımı ile DMC algoritması, her örnekleme zamanı için kontrol hareketini hesaplayacaktır (Şekil 3.11).



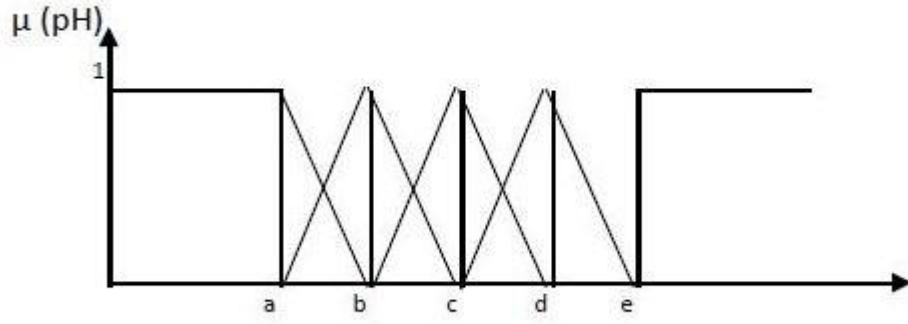
Şekil 3.11 FRM modelinin DMC algoritmasında kullanımı

$y_{process}$: sistem çıktısı

y_{fuzzy} : fuzzy model çıktısı

y : lineer model çıktısı

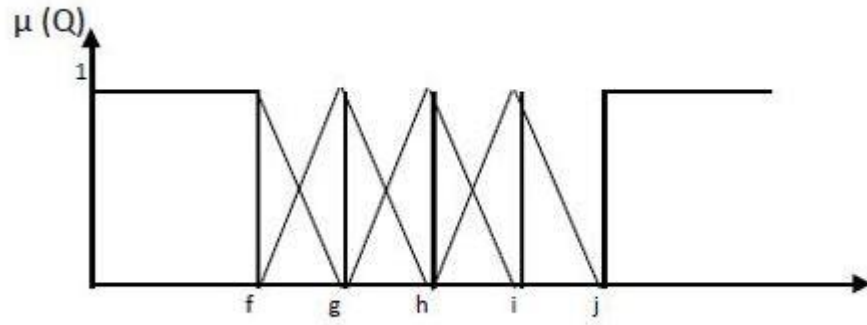
Kullanılan üçgen fonksiyonlar ile bulanık setler tanımlanır (Şekil 3.12-3.13).



Şekil 3.12 Sistem çıktısı için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{pH}(pH) = 1 - \left(\frac{pH_{center} - pH}{pH_{left\ wide}} \right) \quad (3.30)$$

$$\mu_{pH}(pH) = 1 - \left(\frac{pH_{center} - pH}{pH_{right\ wide}} \right) \quad (3.31)$$



Şekil 3.13 Ayarlanan değişken için üyelik fonksiyonu

$$\mu_Q(Q) = 1 - \left(\frac{Q_{center} - Q}{Q_{left\ wide}} \right) \quad (3.32)$$

$$\mu_Q(Q) = 1 - \left(\frac{Q_{center} - Q}{Q_{right\ wide}} \right) \quad (3.33)$$

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Kontrol Deney Sistemi

Petrokimya atık suyunun arıtımında kullanılacak kontrol sistemi için deney düzeneği oluşturulmuştur. Kontrol deneylerinde, 2 L hacimli yarı kesikli reaktör, ayar değişkeni olan %10'luk olarak hazırlanan bazın beslenmesi için peristaltik pompa, sabit akışta beslenecek olan %10'luk asit için ayırma hunisi, pH değişimlerini gösteren sanayi tipi pH ölçer ve pH elektrot, online sisteme bağlı bilgisayar, A/D çeviriciler ve bir mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Deneylerde, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 ve Alum koagülanları (Merck Kimyasalları) kullanılmıştır. Kullanılan atıksu Tüpraş/İzmit tesisinden temin edilmiştir. Benzer petrokimyasal atıksu çalışmaları ve atıksu deşarj kriterleri göz önüne alınarak, çalışılan pH aralığı, 7-10 olarak belirlenmiştir. Çalışmalarda, tüm pH değerlerinde etkin olan noniyonik polielektrolit kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Deney düzeneği

4.2 Kontrol Deney Yöntemi

Kontrolü ve arıtımı gerçekleştirilecek olan petrokimya atıksuyu, reaktöre 1 L olarak alınmaktadır. Mekanik karıştırıcı hızı sabit 200 devir/dakika olarak ayarlanmakta ve on-line bilgisayara bağlı reaktör sistemi çalıştırılarak, deneyeler başlatılmaktadır. Kontrol sistemi olarak FDMC denemeleri, 4 farklı koagülant türü için pH 7, 8, 9 ve 10 değerlerinde yapılırken, kimyasal çöktürücü etkisindeki atıksuya sabit akış hızında HCl çözeltisi ve ayarlanabilen değişken olan NaOH çözeltisi beslenmektedir.

Set edilen pH değerine ulaşmak için yaklaşık 500 saniye kontrol sistemi çalıştırılır. Her bir denemede sabit miktar polielektrolit eklemesi ve karıştırılması yapılmaktadır. Aynı işlemler PID algoritması denenen kontrol basamağında da tekrarlanır.

25-26°C sıcaklıkta gerçekleşen kontrol denemelerinin gösterimi grafiksel olarak hazırlanmaktadır. Deneyler esnasında baz pompasında zaman-akış hızı değişimi kontrol edilmektedir.

Kontrol deneylerinin sonunda alınan numuneler, 1 gün boyunca çökelmeye bırakılır, sonrasında atık suyun süzüntü bölgesi için bulanıklık ve KOİ ölçümleri yapılarak arıtımın verimi bulunur.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Dinamik Matris Kontrol ve PID Kontrol Parametreleri

pH kontrol deneylerinde kullanılacak FDMC algoritması için parametreler belirlenirken PRBS test sinyali etksindeki pH'nın değişim eğrisinden yararlanılmış ve eşitlik (5.1) kullanılmıştır. Şekil 5.1'de, PRBS sinyalinin çıkış değişkenine (pH) etkisi gösterilmektedir.

$$K_{DMC} = (A^T A)^{-1} A^T \quad (5.1)$$

$$A = \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 7,433 \\ 7,399 \\ 7,361 \end{bmatrix}$$

$$K_{DMC} = [0,0452 \ 0,0451 \ 0,0448]$$

$$K_{DMC} (1) = 0,0452$$

$$K_{DMC} (2) = 0,0451$$

$$K_{DMC} (3) = 0,0448$$



Şekil 5.1 PRBS etkisi ile çıkış değişkeni değişimi

PID kontrol için kullanılan parametreler (Cohen-Coon yönteminden)

$$K_c = 33$$

$$\tau_i = 36$$

$$\tau_d = 6$$

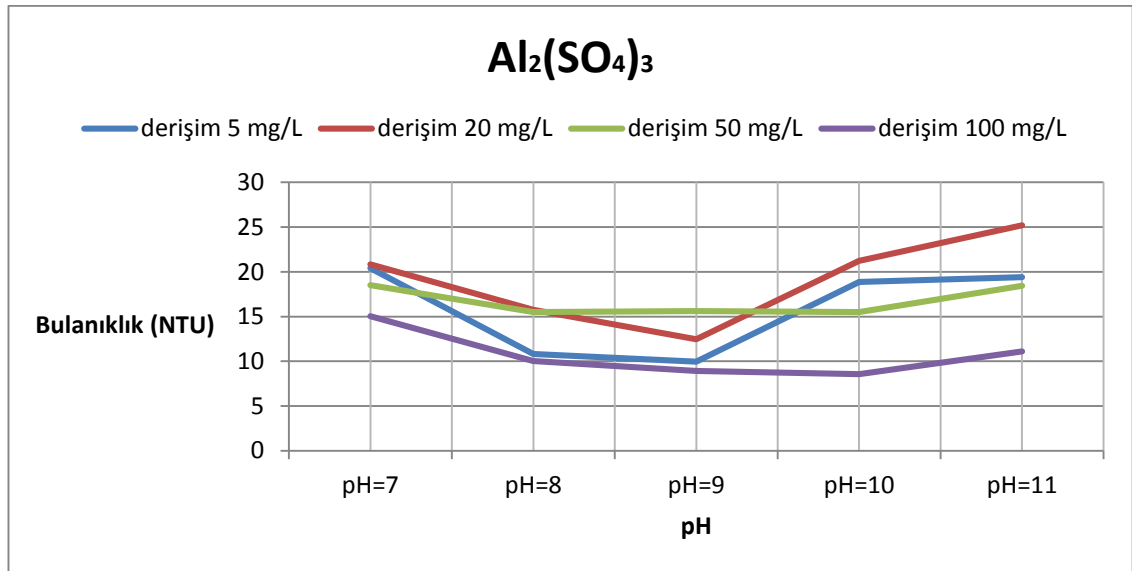
5.2 Koagülant Türü, Koagülant Miktarı ve Uygun pH Değerinin Belirlenmesi

Çalışmalar 7-11 pH değerleri aralığında gerçekleştirilmiştir. 5 mg/L, 20 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L koagülant derişimlerinde hazırlanan atıksu çözeltilerinin, sabit pH değerlerine getirilmesi sağlanmıştır. pH ayarlamaları için seyreltik NaOH ve HCl çözeltileri kullanılmıştır.

Atıksuyun bulanıklık değeri 53.20 NTU olarak ölçülmüştür. 50 ml olarak hazırlanan atıksu çözeltilerinin, 180 devir/dakika (rpm) dönüş hızında karıştırılarak, seyreltilmiş NaOH ve HCl çözeltileri ile pH ayarlamaları yapılmış, 24 saatlik süre sonunda çökmeleri takip edilmiştir. Tüm çöktürme denemelerinde 0.01 mg/L doz miktarında noniyonik polielektrolit kullanılmıştır. Atıksuda ölçülen bulanıklık değerlerine göre

uygun koagülant, koagülant miktarı ve pH belirlenmiştir. Her bir numuneden 3 defa ölçüm yapılarak, ortalama değerler üzerinden grafikler hazırlanmıştır. Grafikler, atıksu çözeltisinde pH'nın 7-11 aralığında olduğu ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 Alum koagülantlarının 5 mg/L, 20 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L derişimlerinde kullanıldığı şartlarda, çökelme sonrası atıksuda ölçülen bulanıklık değerlerini göstermektedir. Böylece atıksu için arıtım veriminin yüksek olma şartları belirlenmiştir.

Şekil 5.2'de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantının 5, 20, 50 ve 100 mg/L derişimlerinde kullanıldığı ve pH'nın 7, 8, 9, 10 ve 11 değerlerine ayarlandığı çöktürme denemeleri ile ölçülen bulanıklık değerlerinin değişimi, çizelge 5.1'de tüm ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



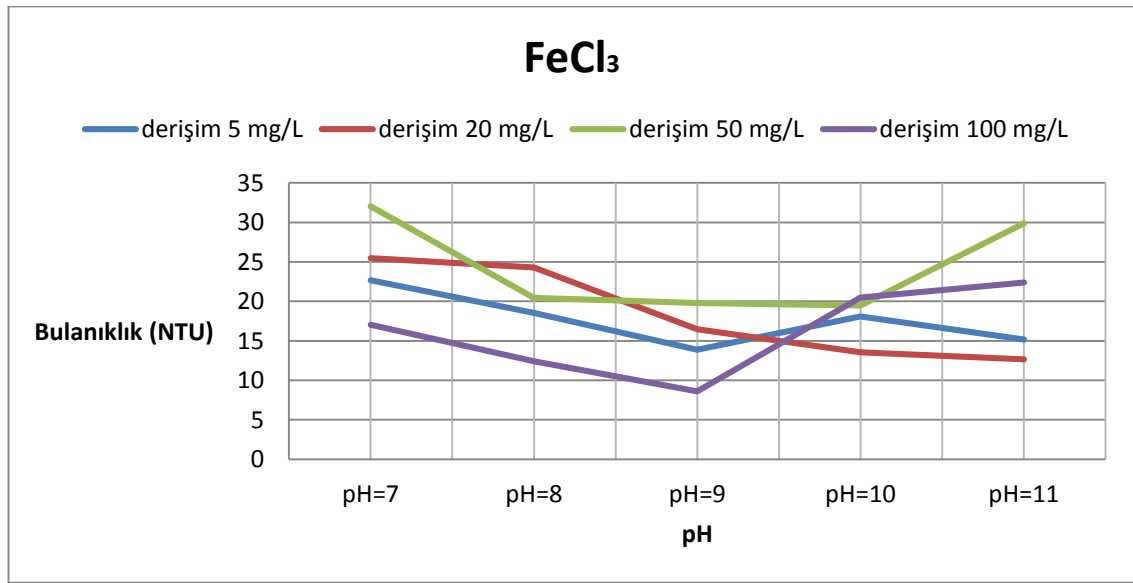
Şekil 5.2 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri

Çizelge 5.1 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU)

Koagülant Derişimi (mg/L)	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10	pH=11
5	20,40	10,81	9,96	18,88	19,40
20	20,85	15,74	12,45	21,23	25,20
50	18,50	15,50	15,60	15,50	18,45
100	15,03	10,03	8,93	8,56	11,10

Koagülant olarak $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanıldığı durumda, 100 mg/L derişimde, pH 9 değerinde %83 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. pH 11 değerinde, 20 mg/L doz miktarı kullanılması durumunda bulanıklık gideriminin %53'de kalarak en düşük verimi oluşturduğu görülmüştür.

Şekil 5.3'de FeCl_3 koagülantının 5, 20, 50 ve 100 mg/L derişimlerinde kullanıldığı ve pH'nın 7, 8, 9, 10 ve 11 değerlerine ayarlandığı çöktürme denemeleri ile ölçülen bulanıklık değerlerinin değişimi, çizelge 5.2'de tüm ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



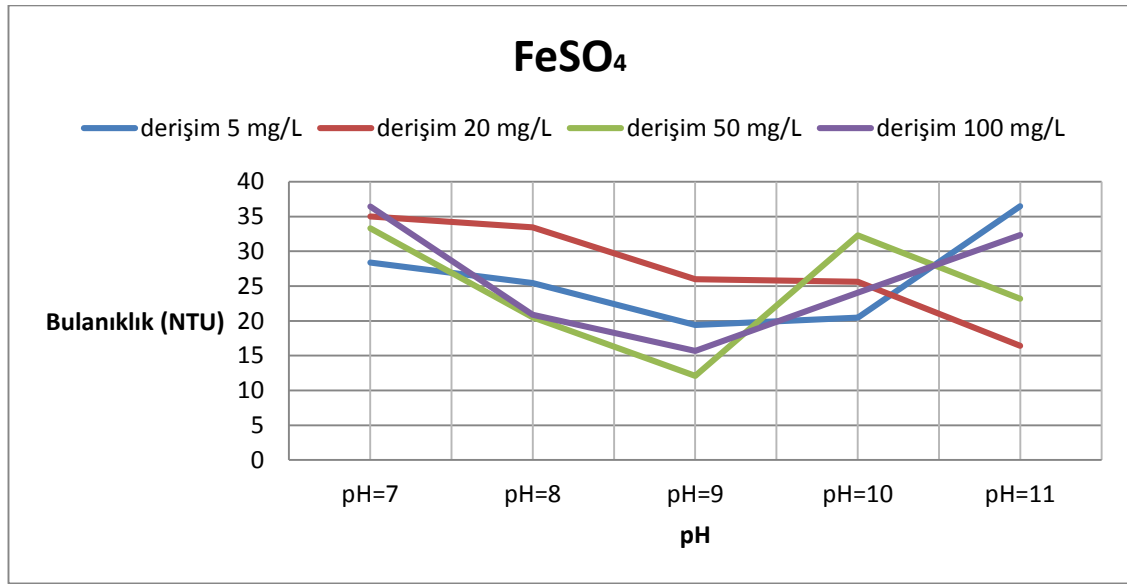
Şekil 5.3 FeCl_3 kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri

Çizelge 5.2 FeCl_3 koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU)

Koagülant Derişimi (mg/L)	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10	pH=11
5	22,67	18,55	13,86	18,09	15,17
20	25,46	24,31	16,45	13,55	12,65
50	32,05	20,45	19,8	19,48	29,88
100	17,02	12,42	8,62	20,48	22,4

Koagülant olarak FeCl_3 kullanıldığı durumda, 100 mg/L derişimde, pH 9 değerinde %84 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. pH 7 değerinde, 50 mg/L doz miktarı ile çalışıldığında, %39 bulanıklık giderimi olarak en düşük verim gözlenmiştir.

Şekil 5.4’de FeSO_4 koagülantının 5, 20, 50 ve 100 mg/L derişimlerinde kullanıldığı ve pH’nın 7, 8, 9, 10 ve 11 değerlerine ayarlandığı çöktürme denemeleri ile ölçülen bulanıklık değerlerinin değişimi, çizelge 5.3’de tüm ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.4 FeSO_4 kullanımında, pH 7-11 aralığında, ölçülen bulanıklık değerleri

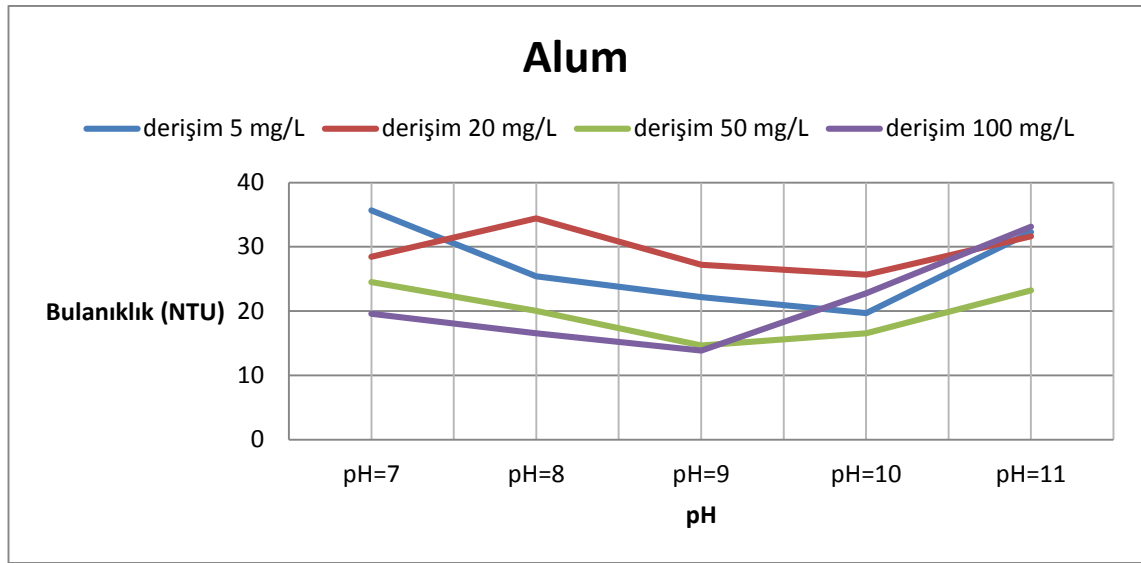
Çizelge 5.3 FeSO_4 koagülantı kullanımında ölçülen bulanıklık değerleri (NTU)

Koagülant Derişimi (mg/L)	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10	pH=11
5	28,40	25,42	19,43	20,45	36,50
20	35,01	33,44	26,01	25,63	16,40
50	33,30	20,50	12,11	32,29	23,20
100	36,45	20,89	15,70	24,06	32,33

Koagülant olarak FeSO_4 kullanıldığı durumda, 50 mg/L derişimde, pH 9 değerinde %77 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Genel olarak düşük verimin olduğu denemelerde, pH

11 değeriinde, 5 mg/L doz miktarında, %31 olarak en düşük bulanıklık giderimi gerçekleşmiştir.

Şekil 5.5'te Alum koagülantının 5, 20, 50 ve 100 mg/L derişimlerinde kullanıldığı ve pH'ın 7, 8, 9, 10 ve 11 değeriine ayarlandığı çöktürme denemeleri ile ölçülen bulanıklık değeriinin değeriimi, çizelge 5.4'de tüm ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Alum kullanımıında, pH 7-11 aralığıında, ölçülen bulanıklık değeri

Çizelge 5.4 Alum koagülantı kullanımıında ölçülen bulanıklık değeri (NTU)

Koagülant Derişimi (mg/L)	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10	pH=11
5	35,65	25,43	22,15	19,69	32,28
20	28,44	34,42	27,19	25,68	31,65
50	24,50	20,05	14,65	16,55	23,21
100	19,56	16,56	13,84	22,78	33,15

Koagülant olarak Alum kullanıldığı durumda, 100 mg/L derişimde, pH 9 değeriinde %74 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Genel olarak düşük bulanıklık giderimleri sağlanmıştır. pH 7 değeriinde, 5 mg/L doz miktarı ile %33'lük en düşük verim gözlenmiştir.

İncelemeler sonrası, bulanıklık gideriminin yüksek olarak sağlandığı koagülantların FeCl_3 ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ olduğu görülmektedir. Kontrol deneylerinde, 4 koagülant türü için denemeler yapılacak, kontrol sonrası atıksu çözeltilerinden bulanıklık giderimi ve KOİ ölçümleri alınacaktır.

5.3 Kontrol Deneyleri

5.3.1 FDMC algoritması ile kontrol deneyleri

Petrokimya atıksuyunda pH kontrol deneyleri, FDMC kontrol algoritması kullanılarak, FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 ve Alum koagülantları için pH'nın 7, 8, 9 ve 10 olarak belirlendiği set noktalarında yapılmıştır. Çöktürme deneyleri sonucu göz önüne alınarak, FeSO_4 için 50 mg/L, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 ve Alum için 100 mg/L doz miktarı kullanılmıştır.

Deney başlangıcında, 2 L hacimli reaktöre, çalışılan atıksudan 1 L koyulmaktadır. Ayırma hunisi yardımıyla 9.2 ml/dk hızında sabit akış olarak kullanılan, %10'luk olarak hazırlanan HCl çözeltisi ve peristaltik pompa yardımıyla ayarlanabilen değişken olan, %10'luk olarak hazırlanan NaOH çözeltisi reaktöre ince lastik hortum ile beslenmektedir. 7, 8, 9 ve 10 olan pH set noktalarında, kontrol denemeleri yaklaşık 500 saniyelik periyotlarda yapılmıştır.

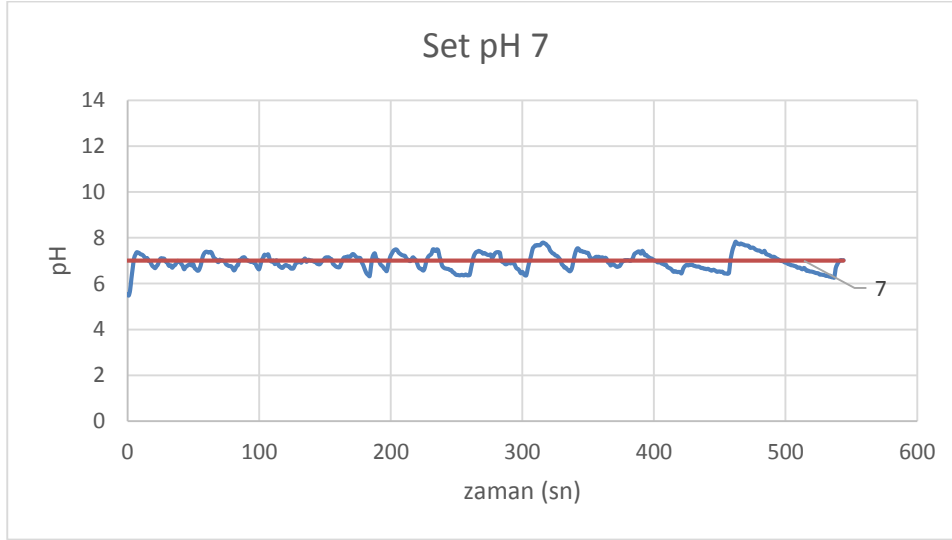
Her deneme sonrası yaklaşık 200 ml'lik numuneler alınarak, 24 saat çökelme için bekletilmiştir. Bu süre sonunda atıksuyun üst kısmından, laboratuvar tüplerine tekrar numuneler alınarak KOİ ve bulanıklık değerleri ölçülmüştür.

25-26 °C sıcaklıkta gerçekleşen kontrol deneyleri sırasında, ayarlanabilen değişkenin ve üretilen pompa sinyallerinin grafikleri oluşturulmuştur.

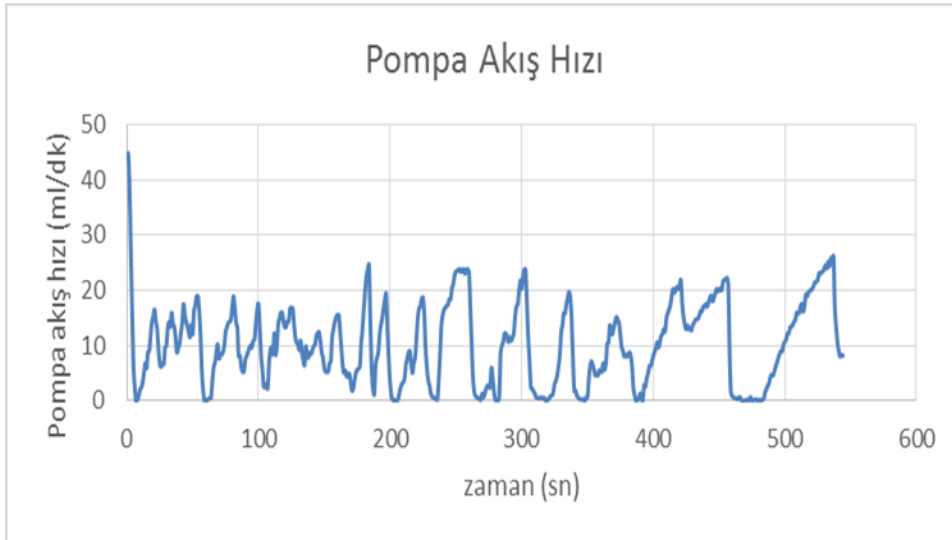
FeSO₄ koagülantı ile kontrol deneyleri

Doz miktarı : 50 mg/L Sabit akış : 9,2 ml/dk HCl (%10)

Set noktası pH 7



(a)



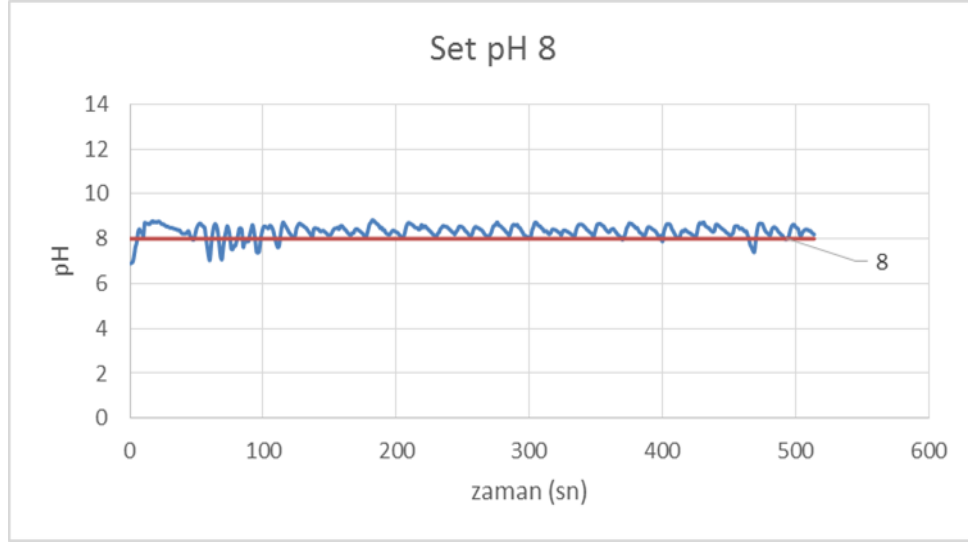
(b)

Şekil 5.6 pH=7 set noktasında, 50 mg/L FeSO₄ koagülantı ile FDMC kontrol

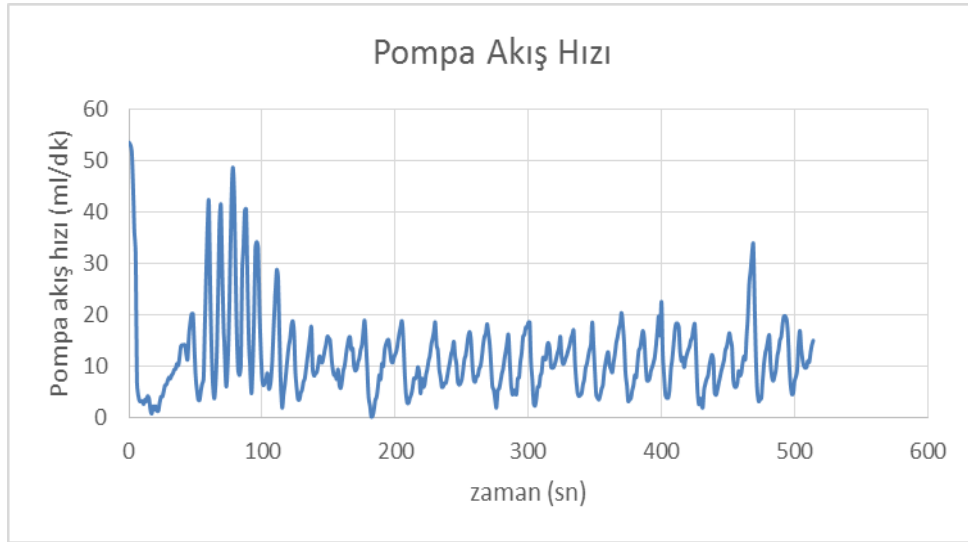
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.6'da, 50 mg/L'lik FeSO₄ çöktürücüsü ile pH=7 set değerinde kontrol yapılmış, zor olmasına rağmen set 7 değerinde kontrol başarılı olmuştur. Kontrol sırasında önemli ölçüde pompa hareketliliği gözlenmiştir. Kontrol sonucu KOİ değeri 2371 mg/L olarak ölçülmüştür.

Set noktası pH 8



(a)



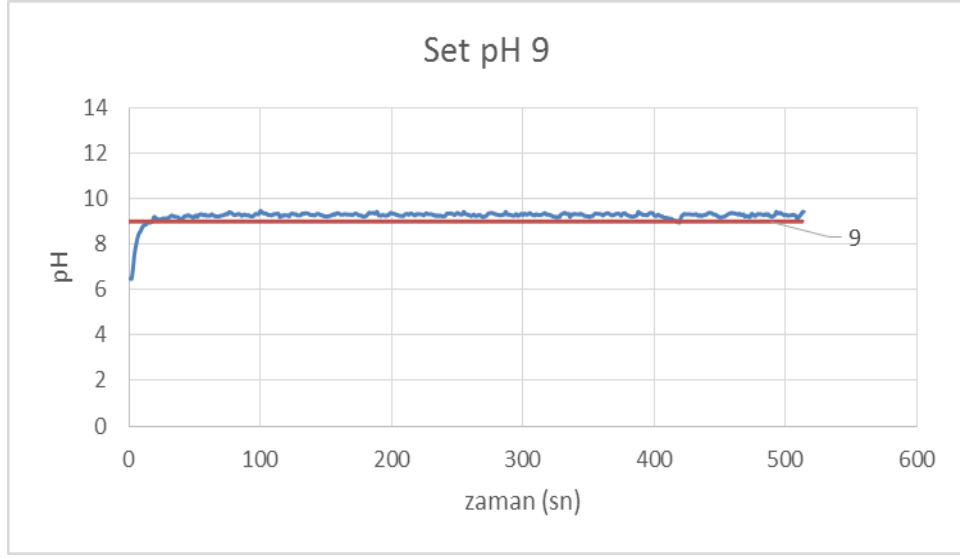
(b)

Şekil 5.7 pH=8 set noktasında, 50 mg/L FeSO_4 koagülantı ile FDMC kontrol

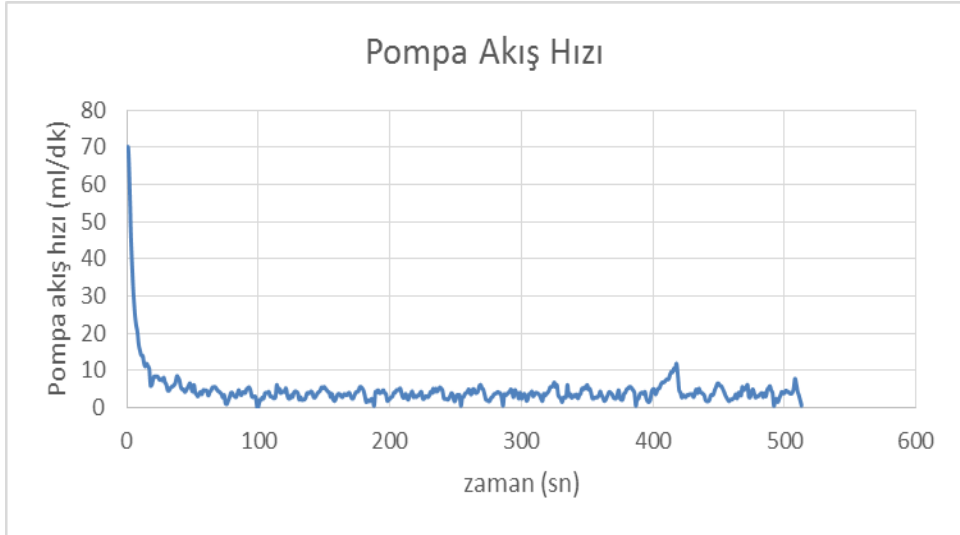
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.7'de, 50 mg/L'lik FeSO_4 çöktürücüsü ile pH=8 set değerinde kontrol yapılmış, set noktasında küçük salınımlar ile kontrol sağlanmıştır. Pompa akışında önemli ölçüde değişimler gözlenmiş ve bu değişimlerin pH değişimine uyumlu olduğu görülmüştür. KOİ değeri 2065 mg/L olarak ölçülmüştür.

Set noktası pH 9



(a)



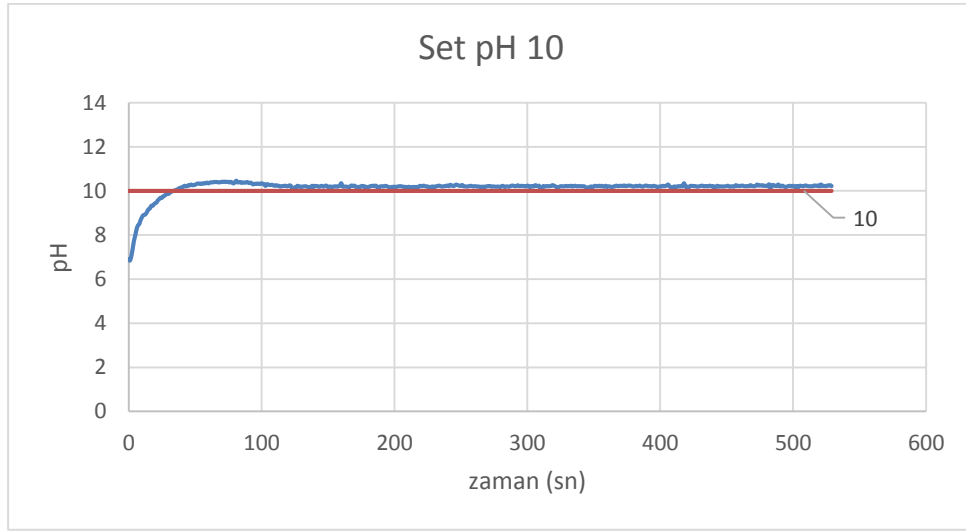
(b)

Şekil 5.8 pH=9 set noktasında, 50 mg/L FeSO₄ koagülantı ile FDMC kontrol

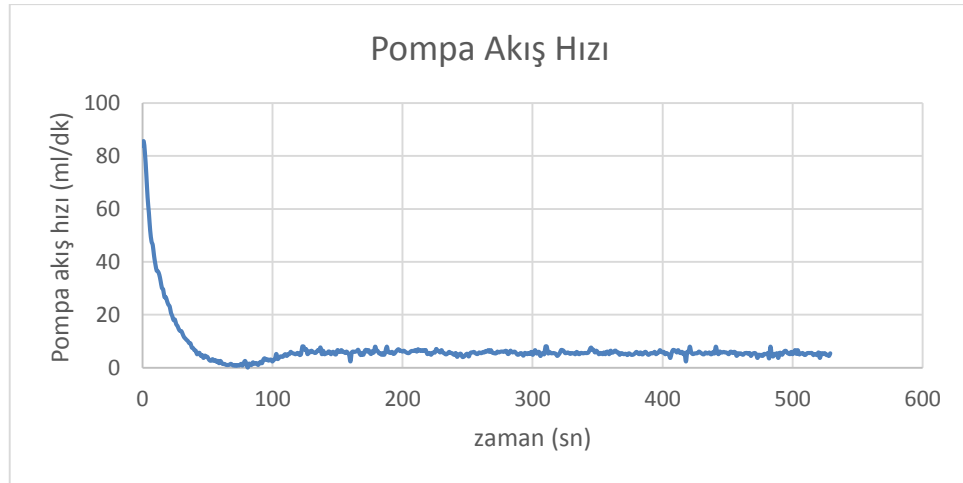
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.8'de, 50 mg/L'lik FeSO₄ çöktürücüsü ile pH=9 set değerinde kontrol yapılmış, ihmal edilebilir ölçüde ofset oluşmuştur. pH'daki çok küçük salınımlara uygun baz pompası sinyalleri üretilmiştir. Bu kontrol sonucu KOİ değeri 1858 mg/L olarak ölçülmüştür.

Set noktası pH 10



(a)



(b)

Şekil 5.9 pH=10 set noktasında, 50 mg/L FeSO_4 koagülantı ile FDMC kontrol

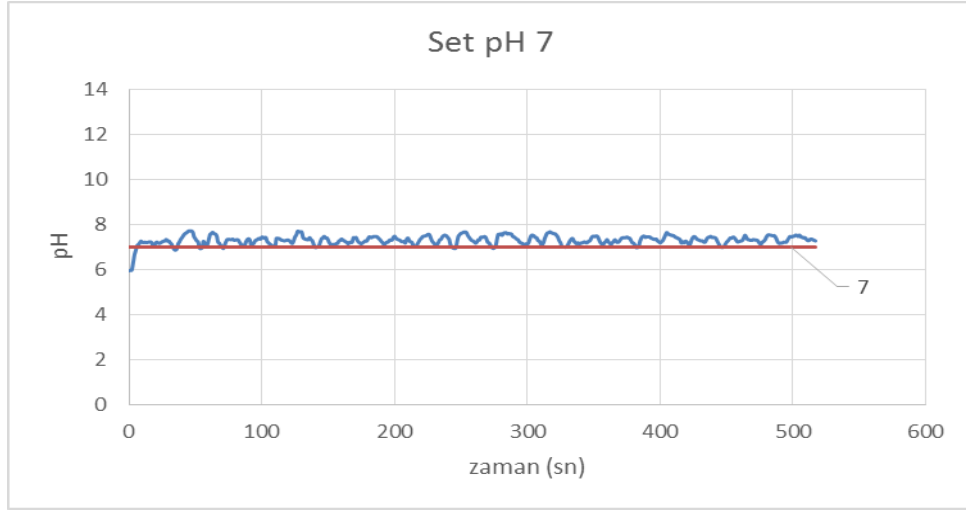
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.9'da, 50 mg/L'lik FeSO_4 çöktürücüsü ile pH=10 set değerinde kontrol yapılmış, 100 saniye sonrasında çok küçük ofset vererek kontrol sağlanmıştır. İlk 100 saniyedeki pH salınımına uygun olarak baz pompası sinyali üretilmiştir. KOİ değeri 1925 mg/L olarak ölçülmüştür.

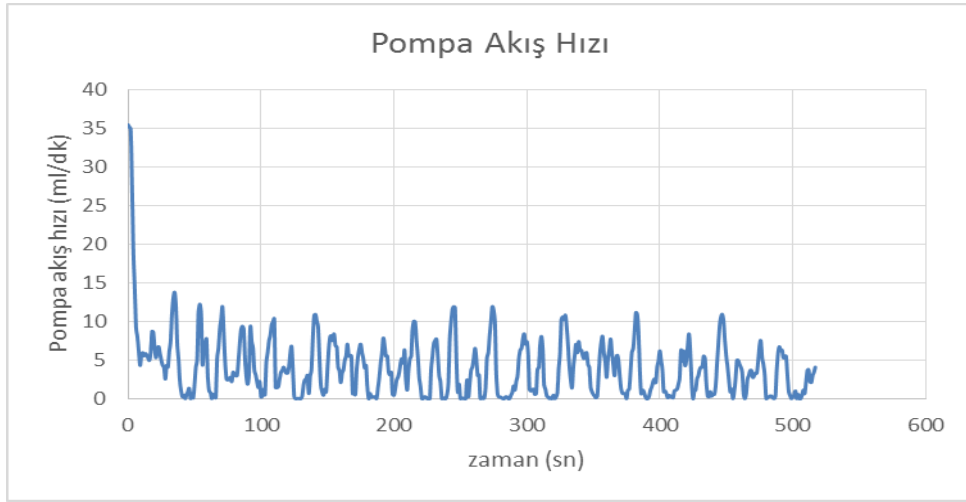
$Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile kontrol deneyleri

Doz miktarı : 100 mg/L Sabit akış : 9,2 ml/dk HCl(%10)

Set noktası pH 7



(a)



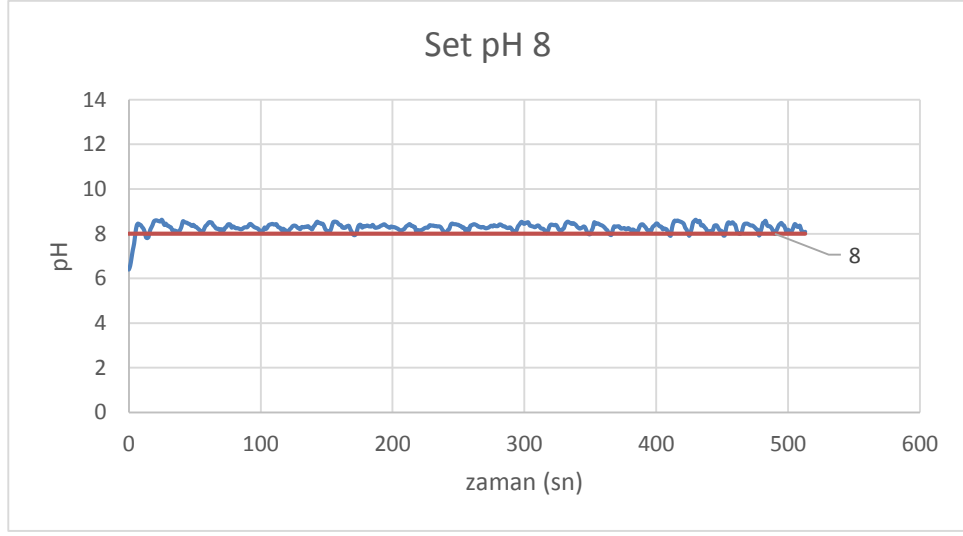
(b)

Şekil 5.10 pH=7 set noktasında, 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol

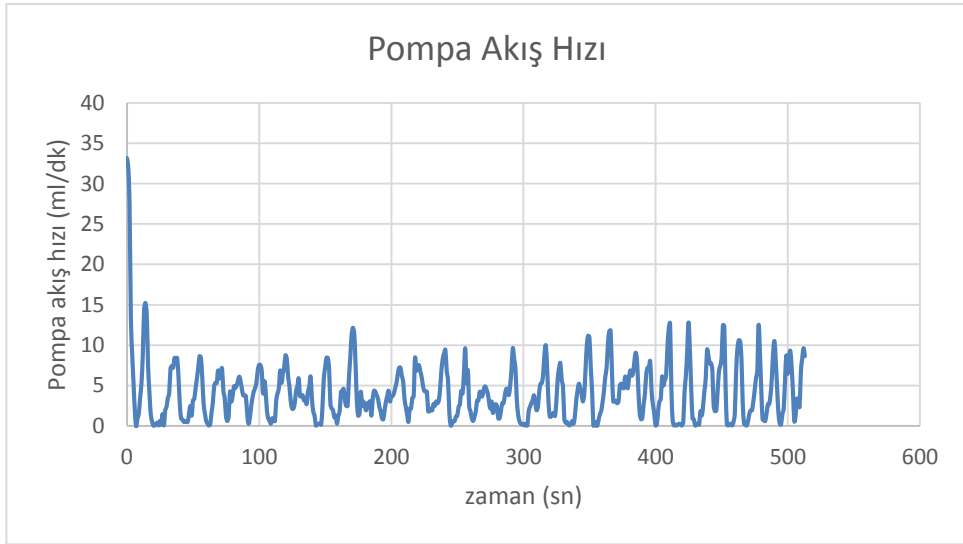
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.10'da, 100 mg/L'lik $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü ile pH=7 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, küçük salınımlar ile set noktasında kontrolün sağlandığı görülmüştür. Uygun pompa akış hızları gözlenmiştir. Bu kontrol sonucu ölçülen KOİ değeri 568 mg/L'dir.

Set noktası pH 8



(a)



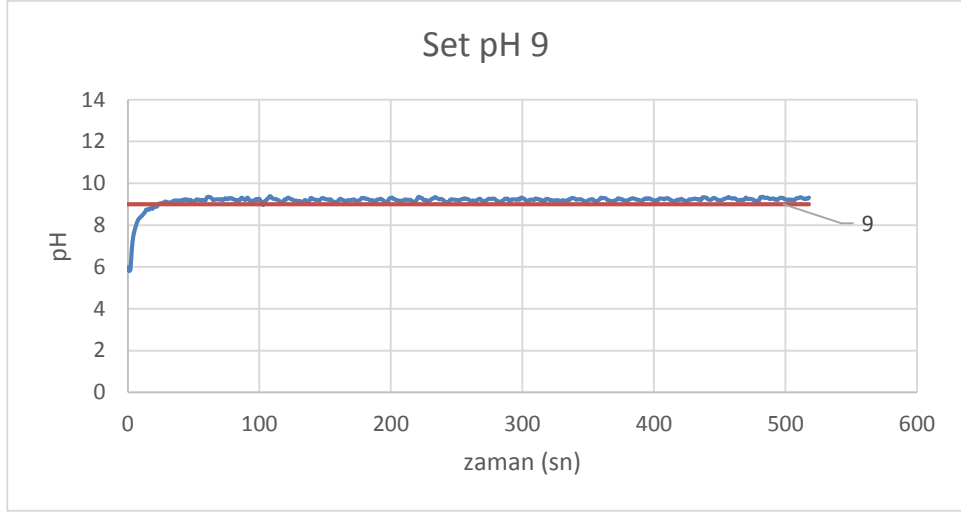
(b)

Şekil 5.11 pH=8 set noktasında, 100 mg/L $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol

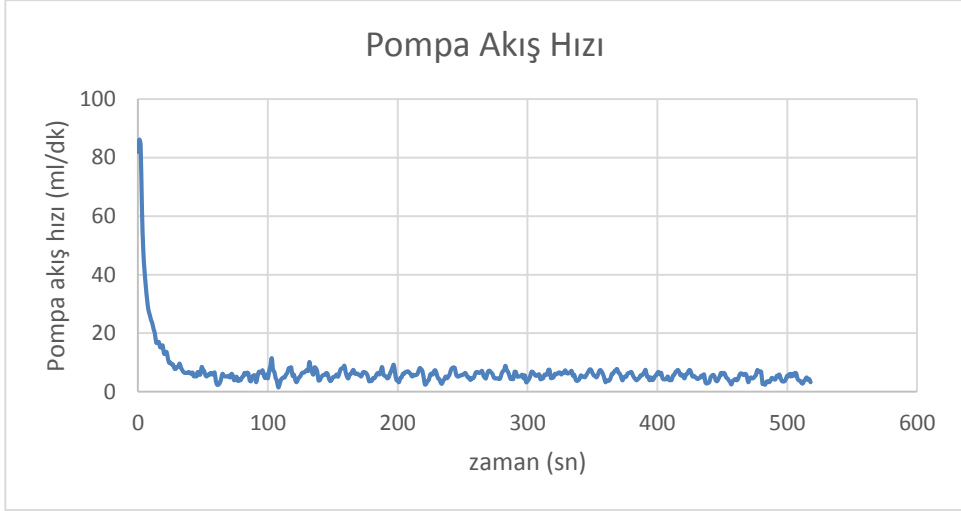
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.11'de, 100 mg/L'lik $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ çöktürücüsü ile pH=8 set noktasında FDMC kontrol uygulanmış, şekil 5.10'daki gibi kontrol performansı sağlanmıştır ve küçük salınımlara uygun pompa sinyalleri üretilmiştir. Bu kontrol sonucunda ölçülen KOİ değeri 724 mg/L'dir.

Set noktası pH 9



(a)



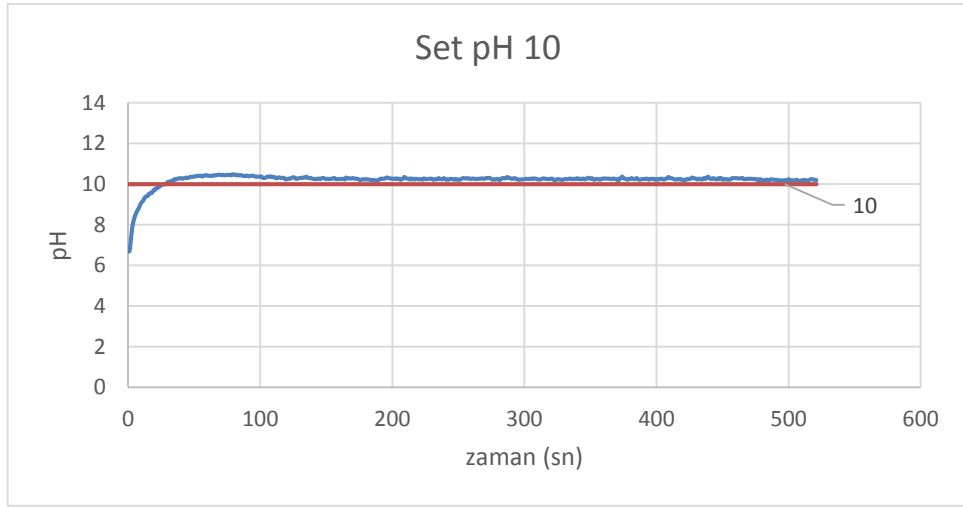
(b)

Şekil 5.12 pH=9 set noktasında, 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol

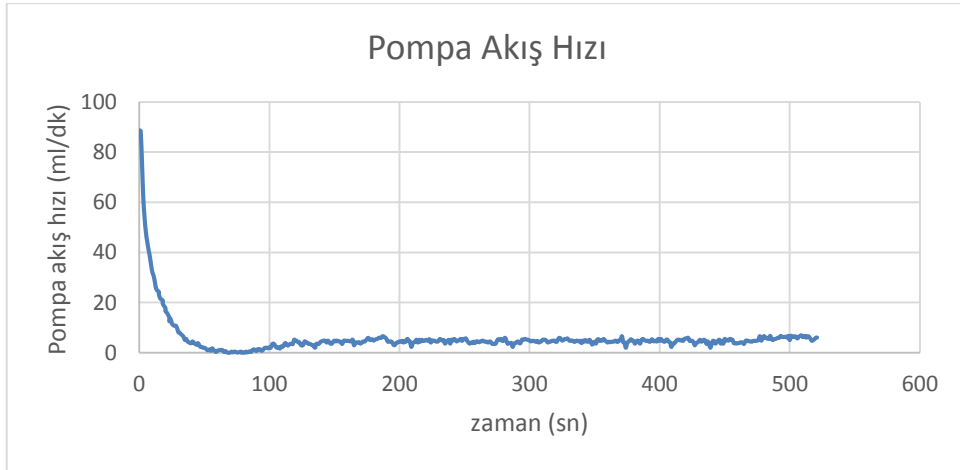
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.12'de, 100 mg/L'lik $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü ile pH=9 set noktasında kontrol, salınım olmadan set noktasına oturarak gerçekleşmiştir. pH kontrolüne uygun olarak küçük hareketler ile pompa akış hızı kontrolü sağlamıştır. Ölçülen KOİ değeri 192 mg/L'dir.

Set noktası pH 10



(a)



(b)

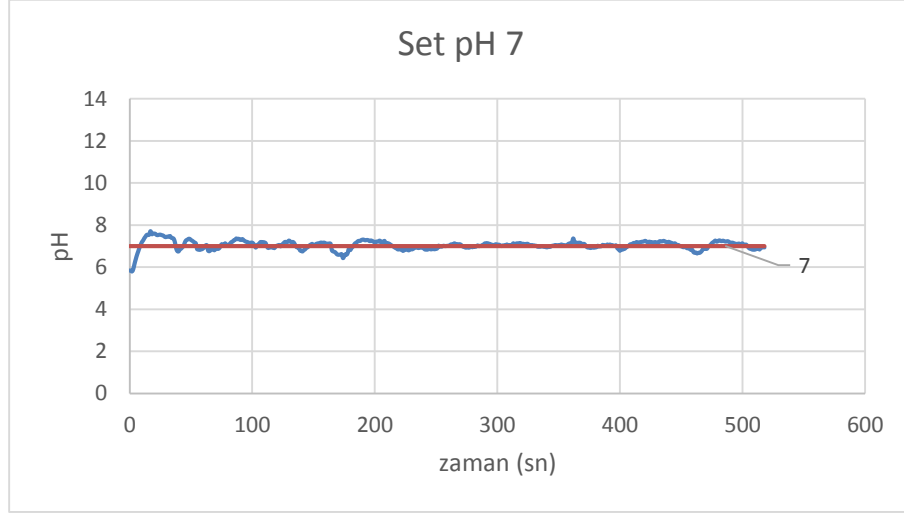
Şekil 5.13 pH=10 set noktasında, 100 mg/L $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile FDMC kontrol
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.13’de, 100 mg/L’lik $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ çöktürücüsü ile pH=10 set noktasında kontrol, ilk 100 saniye içerisinde set noktasından sapma yapıp, çok küçük ofset vererek set noktasına ulaşmıştır. İlk 100 saniyedeki salınımına uygun pompa akış hızı değişimi gözlenmiştir. Ölçülen KOİ değeri 824 mg/L’dir.

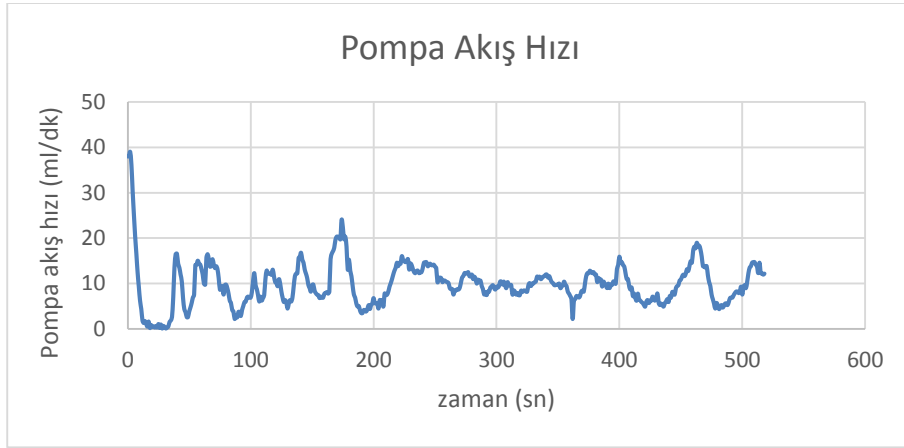
FeCl₃ koagülantı ile kontrol deneyleri

Doz miktarı : 100 mg/L Sabit akış : 9,2 ml/dk HCl(%10)

Set noktası pH 7



(a)



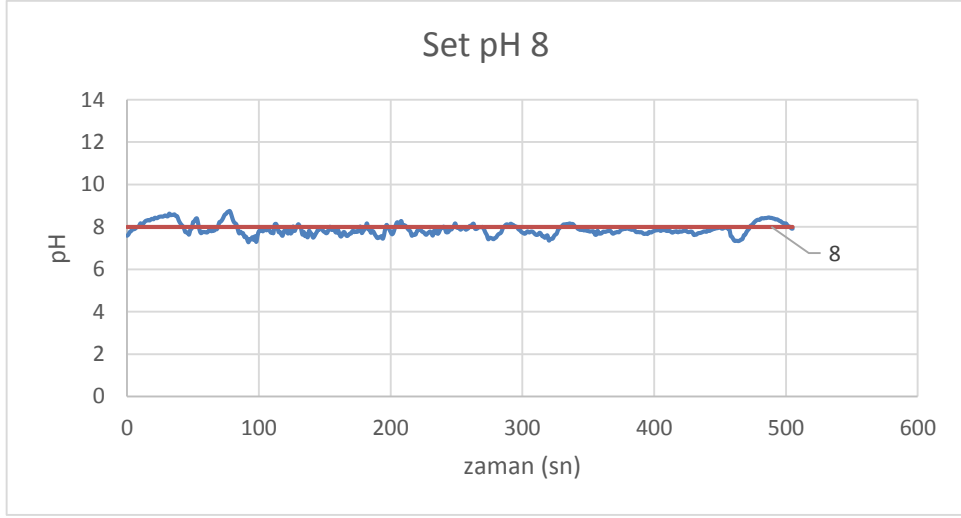
(b)

Şekil 5.14 pH=7 set noktasında, 100 mg/L FeCl₃ koagülantı ile FDMC kontrol

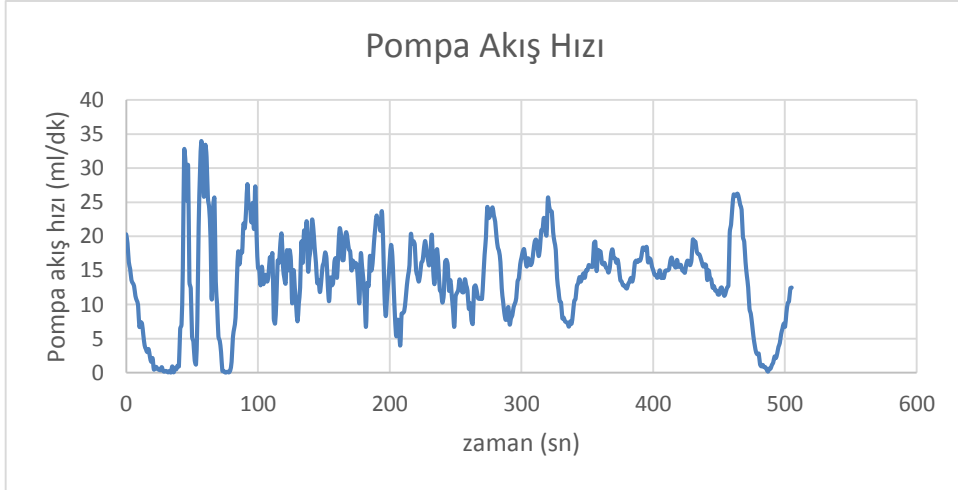
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.14'de, 100 mg/L'lik FeCl₃ çöktürücüsü ile pH=7 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, set noktasında kontrol küçük salınımlarla sağlanmıştır. Uygun pompa akış hızları gözlenmiştir. Kontrol sonucu KOİ değeri 423 mg/L'dir.

Set noktası pH 8



(a)

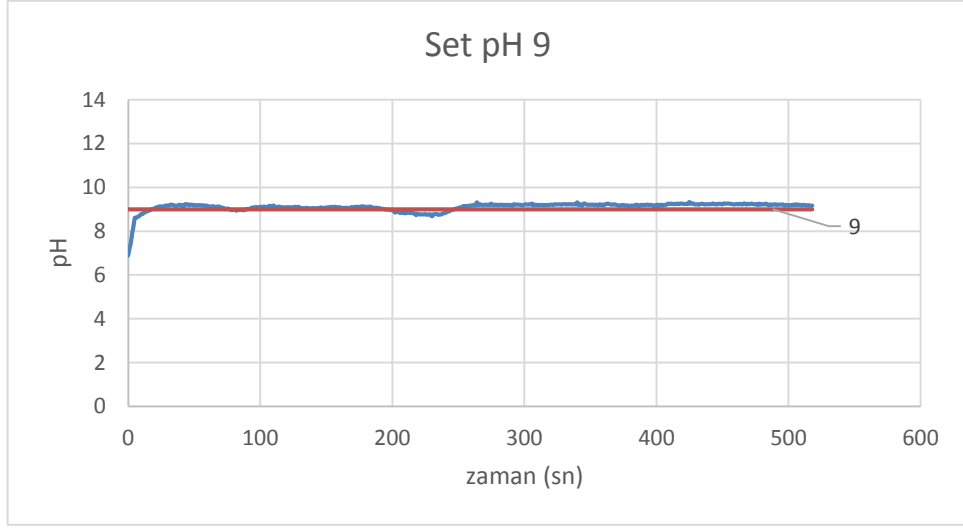


(b)

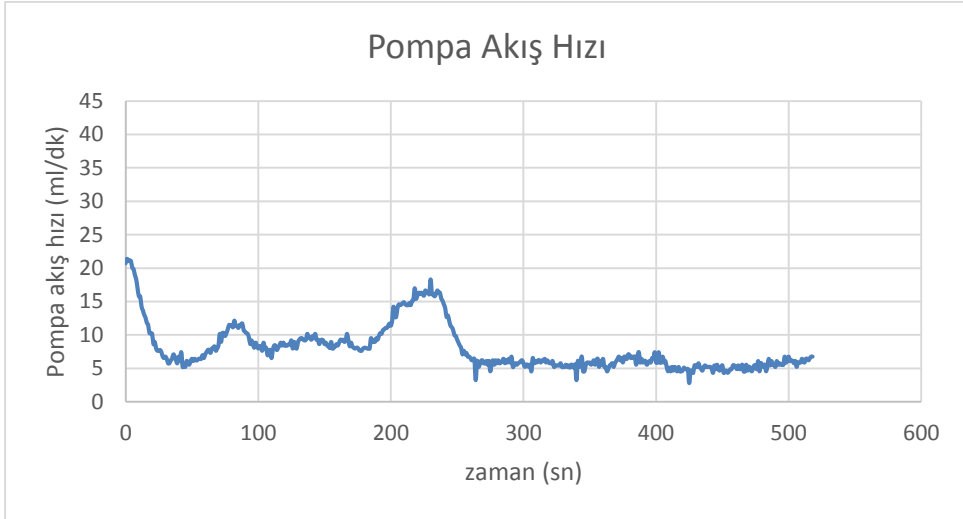
Şekil 5.15 pH=8 set noktasında, 100 mg/L FeCl_3 koagülantı ile FDMC kontrol
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.15'de, 100 mg/L'lik FeCl_3 çöktürücüsü ile pH=8 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, şekil 5.14'dekine benzer salınımlarla set noktasına ulaşılmaya çalışılmıştır. pH kontrolüne uygun pompa hızları gözlenmiştir. Kontrol sonucu KOİ değeri 355 mg/L'dir.

Set noktası pH 9



(a)

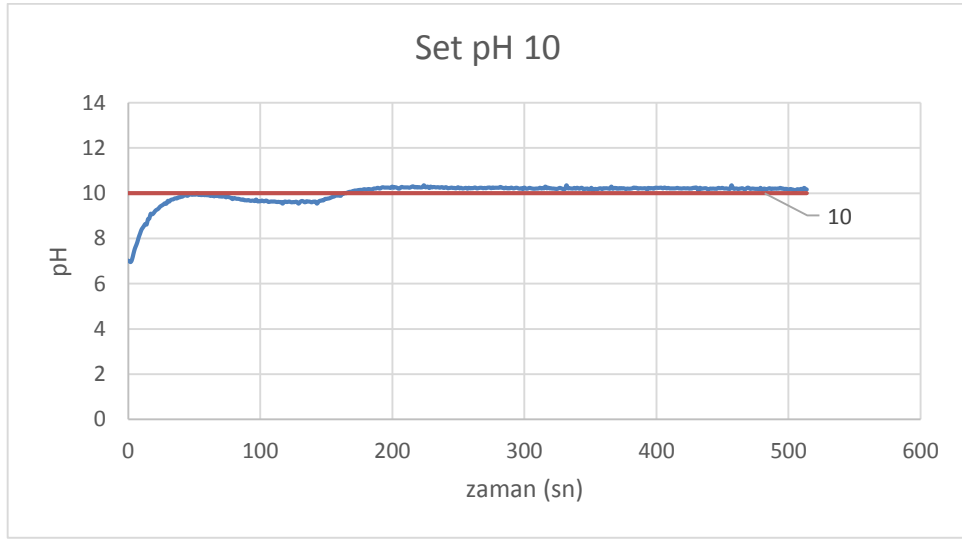


(b)

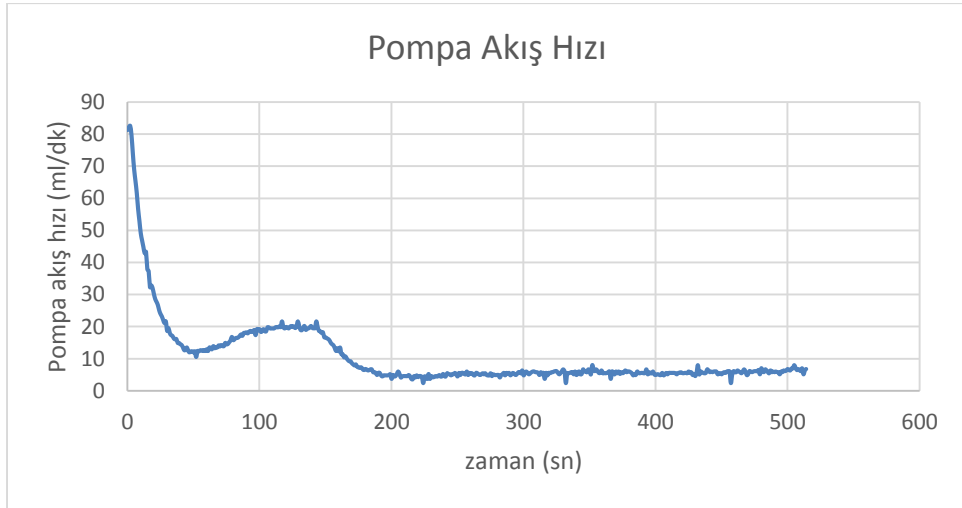
Şekil 5.16 pH=9 set noktasında, 100 mg/L FeCl_3 koagülantı ile FDMC kontrol
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.16'de, 100 mg/L'lik FeCl_3 çöktürücüsü ile pH=9 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, kontrol küçük ofset vererek set noktasına oturmuştur. pH kontrolündeki salınım karşı pompa akış hızı değişimleri uygun olmuştur. Kontrol sonucu KOİ değeri 148 mg/L'dir.

Set noktası pH 10



(a)



(b)

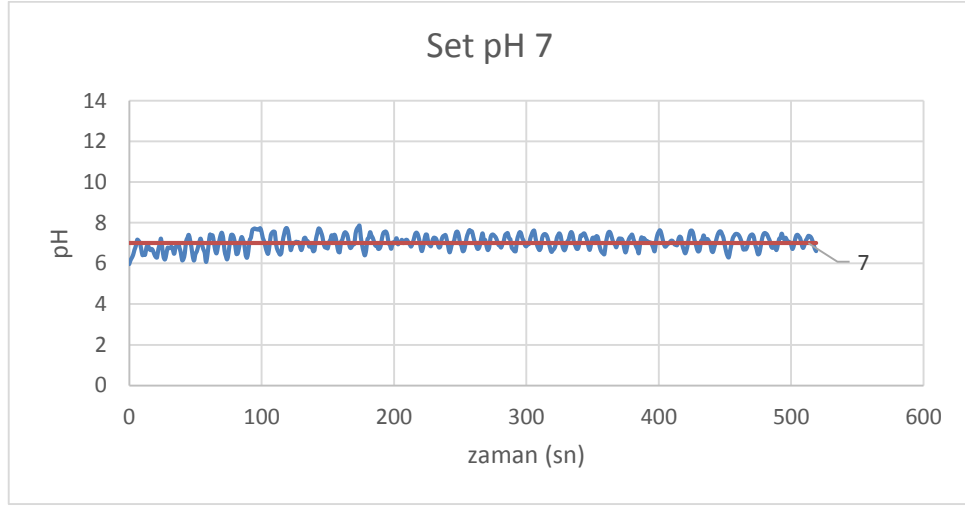
Şekil 5.17 pH=10 set noktasında, 100 mg/L FeCl_3 koagülantı ile FDMC kontrol
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.17'de, 100 mg/L'lik FeCl_3 çöktürücüsü ile pH=10 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, ilk 150 saniyelik periyotta ters cevap gözlenmiş, kontrolün devamında set noktasına ulaşılmıştır. Gözlemlenen ters cevaba uygun pompa sinyalleri üretilmiştir. Kontrol sonucu KOİ değeri 425 mg/L'dir.

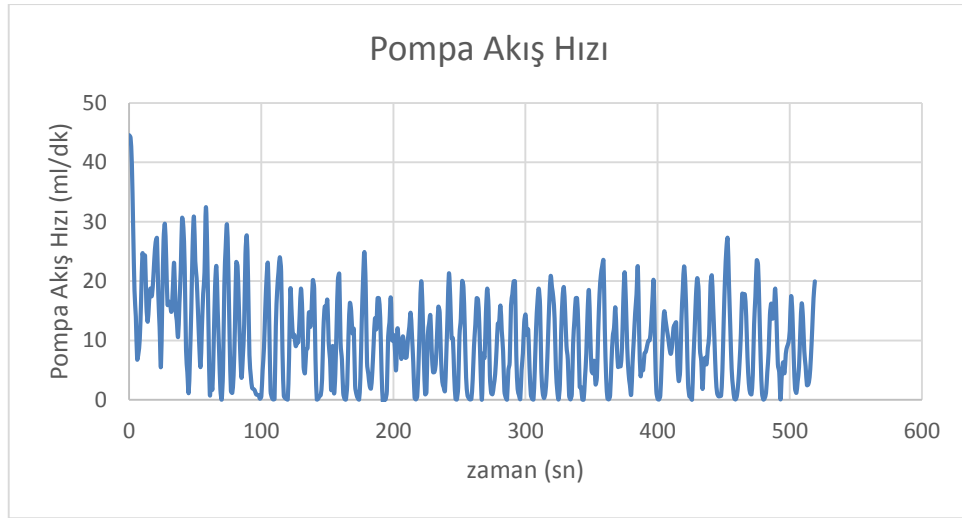
Alum koagülantı ile kontrol deneyleri

Doz miktarı : 100 mg/L Sabit akış : 9,2 ml/dk HCl(%10)

Set noktası pH 7



(a)

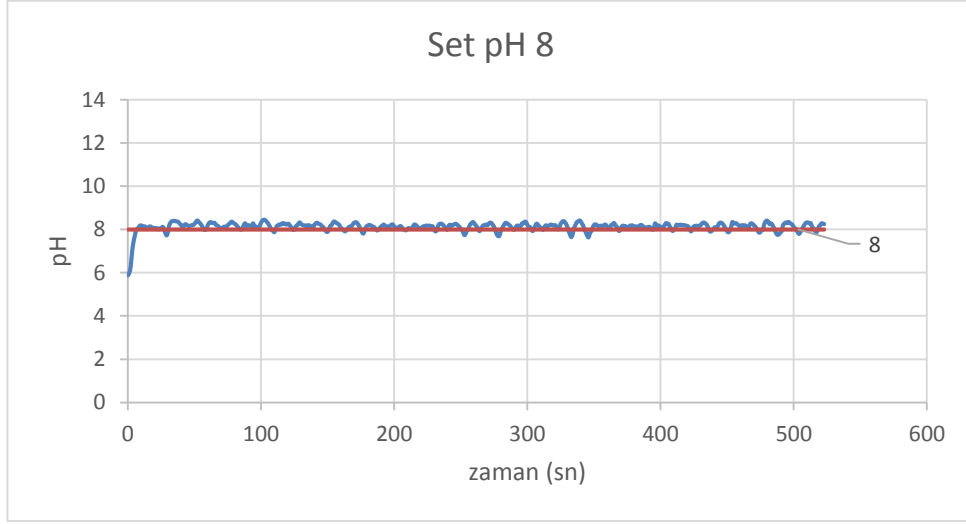


(b)

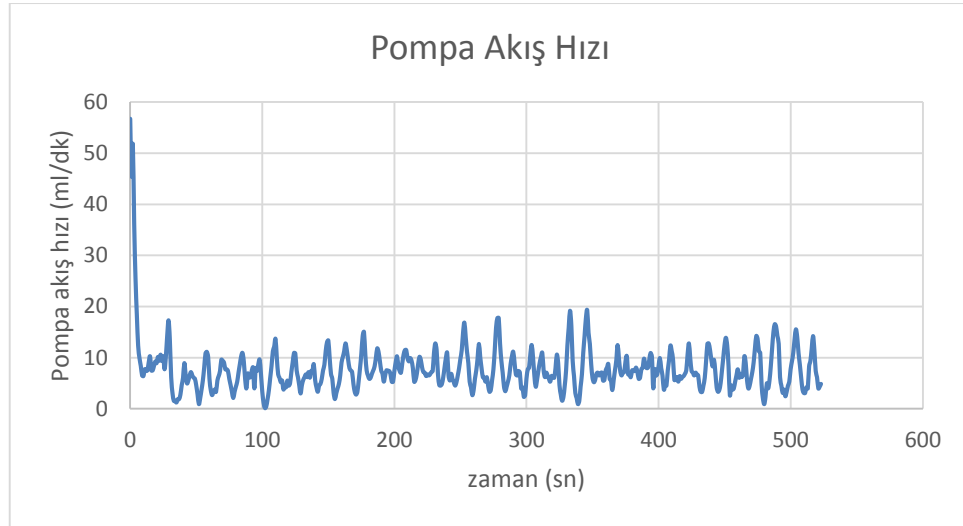
Şekil 5.18 pH=7 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.18'de, 100 mg/L'lik Alum çöktürücüsü ile pH=7 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, küçük salınımlarla kontrol sağlanmıştır. Önemli ölçüde değişimler gösteren pompa akış hızları gözlenmiştir. Pompa akış hızları pH değişimlerine uygun olarak değişmiştir. Kontrol sonucu KOİ değeri 1845 mg/L'dir.

Set noktası pH 8



(a)



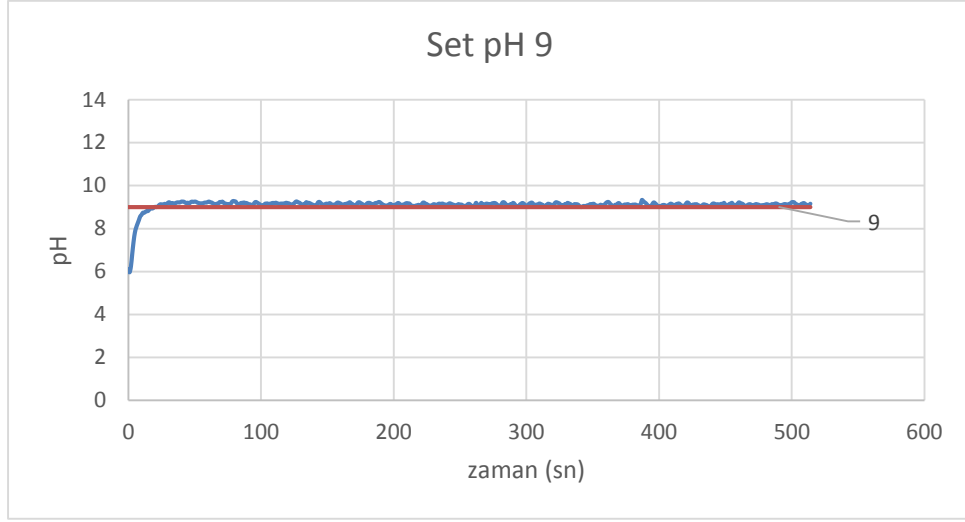
(b)

Şekil 5.19 pH=8 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol

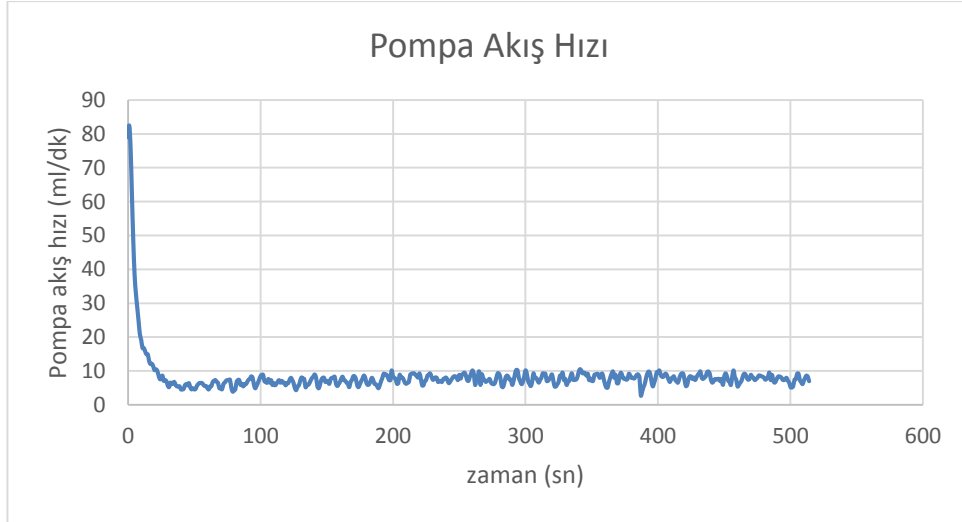
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.19'da, 100 mg/L'lik Alum çöktürücüsü ile pH=8 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, şekil 5.18'dekine benzer küçük salınımlarla set noktasına ulaşılmıştır. Uygun pompa hızları gözlenmiştir. Bu kontrol sonucu KOİ değeri 1564 mg/L olarak ölçülmüştür.

Set noktası pH 9



(a)

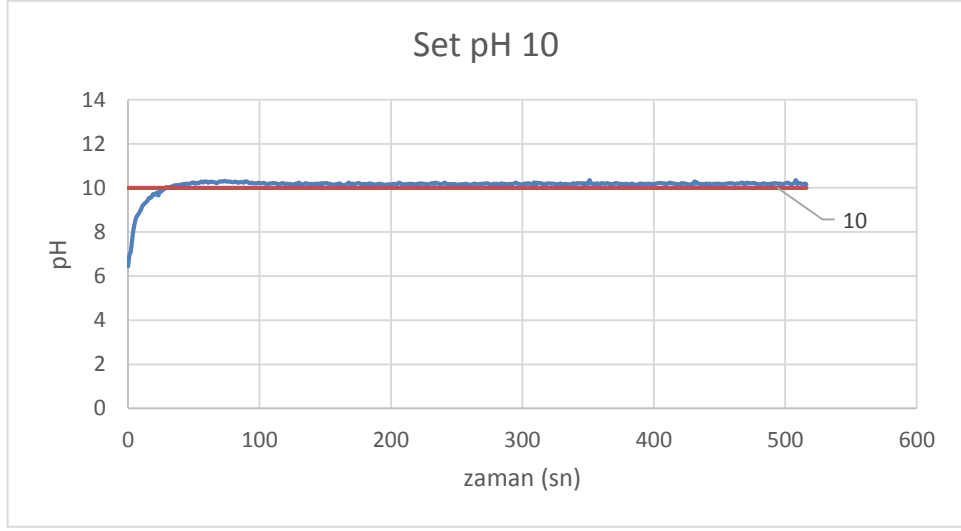


(b)

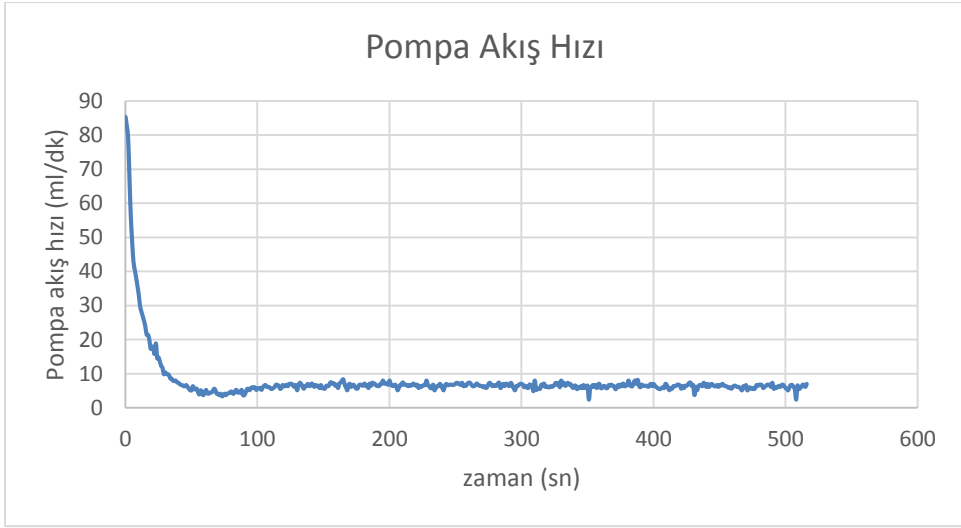
Şekil 5.20 pH=9 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.20'de, 100 mg/L'lik Alum çöktürücüsü ile pH=9 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, kontrol çok başarılı şekilde set noktasına oturmuştur. Çok küçük pH değişimlerine karşı pompa akış hızı değişimi uygun olmuştur. Kontrol sonucu KOİ değeri 1042 mg/L'dir.

Set noktası pH 10



(a)



(b)

Şekil 5.21 pH=10 set noktasında, 100 mg/L Alum koagülantı ile FDMC kontrol

a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Şekil 5.21'de, 100 mg/L'lik Alum çöktürücüsü ile pH=10 set noktasında FDMC kontrolü yapılmış, şekil 5.20'deki gibi başarılı kontrol gerçekleşmiştir. İlk 100 saniyedeki salınıma uygun pompa sinyali üretilmiştir. Kontrol sonucu KOİ değeri 1678 mg/L'dir.

Fuzzy-DMC algoritması kullanılarak yapılan pH kontrol deneyleri tek deneme olarak yapılmıştır. Seçilen set noktalarında, pH'ın kontrol etkisinde tutulabildiği görülmüştür. Ayarlanabilen değişken olan NaOH için, pompaya gönderilen sinyalin akış hızına dönüştürülmesiyle oluşturulan grafiklerde, kontrol grafikleriyle uyumlu eğriler oluşmuştur. Genel olarak, bu eğrilerde sinyal gecikmesinin olmadığı, kontrolde gürültünün düşük seviyede kaldığı ve bu durumun set noktasından sapmaya ya da ofset oluşumuna neden olmadığı görülmüştür.

Yaklaşık 500 saniyelik kontrol sonrası deney sonlandırılarak, arıtım verimi için bulanıklık ve KOİ ölçümleri yapılmaya başlanmıştır. Yapılan incelemelerde, FeCl₃ koagülantının kullanıldığı ve set olarak pH 9'un seçildiği kontrol deneyinde, ofset değerinin yaklaşık 0.1 olması, çok az gürültü oluşumuna rastlanması, iyi bir kontrol sağlandığını göstermiştir. pH 9'da, FeCl₃ koagülantının 100 mg/L doz miktarında kullanılması ile maksimum arıtım verimi gerçekleşmiştir.

Deneylerde tek bir deneme yapılması ile olası bozan etken şartlarına karşı kontrol algoritmasının davranışını görmek amaçlanmıştır. Koagülant derişimi, polielektrolit kullanımı, besleme hatlarında asit veya baz birikimi, gürültü oluşumu, sinyal gecikmeleri, sıcaklık faktörü gibi etkenlerde pH kontrolünün çok iyi sağlandığı görülmüştür. 25-26°C sıcaklık değerlerinde yapılan çalışmalarda, ayarlanabilen değişken olan NaOH bazını reaktöre besleyen pompanın akış değişimlerinden de, FDMC algoritmasının pH kontrolü için uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

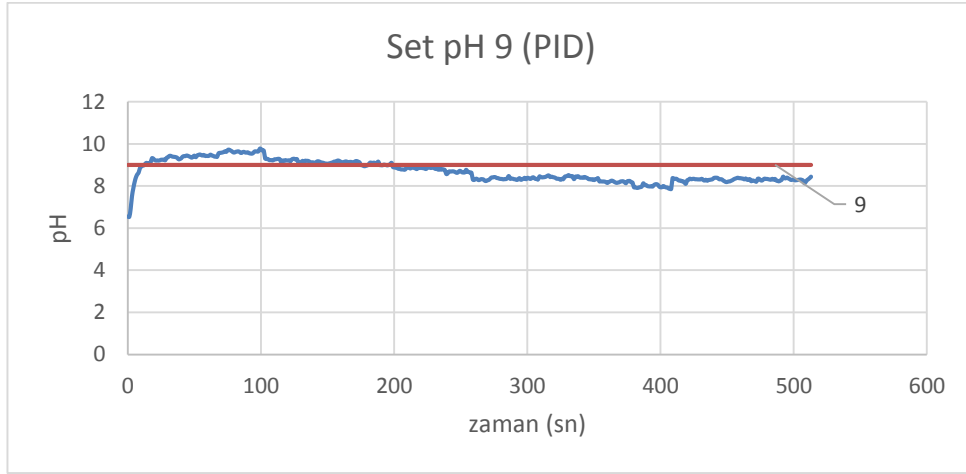
Jar testi sonucu, bulanıklık gideriminin yüksek olduğu FeCl₃ koagülantı için, 100 mg/L doz miktarında ve pH=9 set noktasında, PID kontrol denemesi gerçekleştirilmiştir. Böylece Fuzzy-DMC kontrol ile PID kontrol karşılaştırması, dinamik performans kriterleri ile yapılabilecektir.

5.3.2 PID Kontrol Denemesi

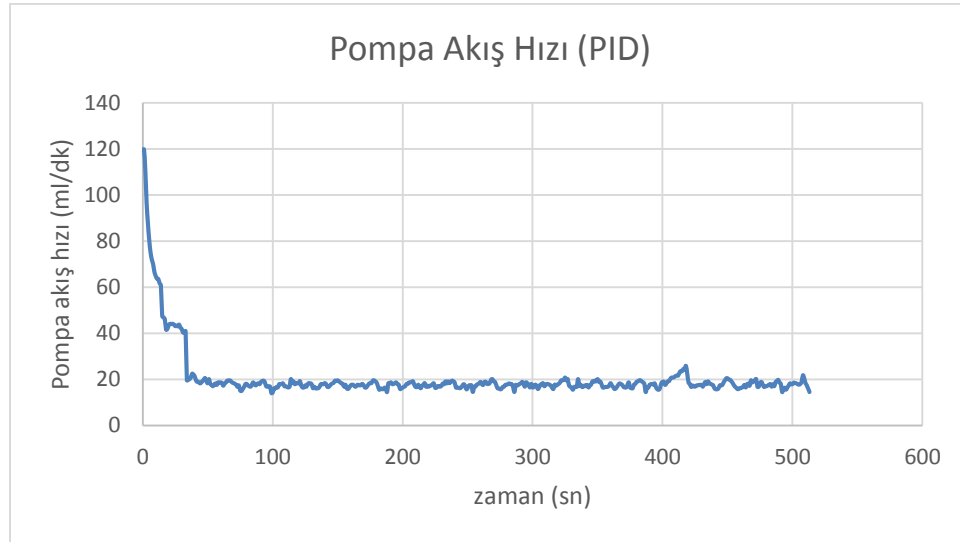
FeCl₃ koagülantı ile kontrol deneyleri

Doz miktarı : 100 mg/L Sabit akış : 9,2 ml/dk HCl(%10)

Set noktası pH 9



(a)



(b)

Şekil 5.22 pH=9 set noktasında, 100 mg/L FeCl₃ koagülantı ile PID kontrol

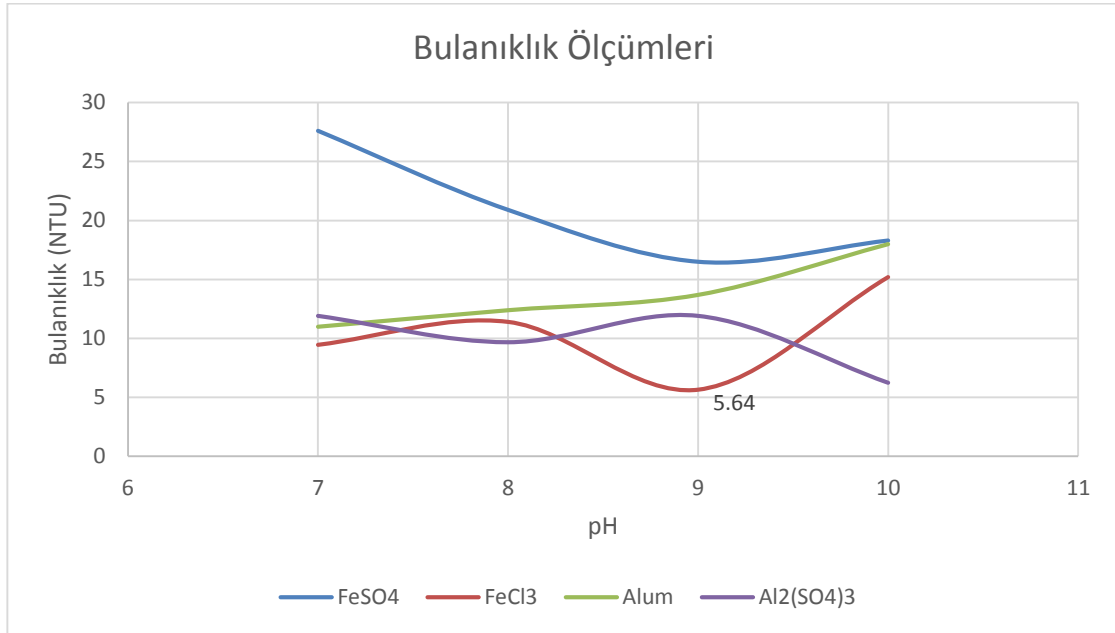
a. pH kontrol, b. Pompa akış hızı değişimi (%10'luk NaOH)

Aynı şartlarda PID kontrol algoritması, pH=9 set değerinde, FeCl₃ koagülantının 100 mg/L doz miktarı için denenmiştir. Şekil 5.22’de, PID kontrol edicisinin sonuçları

gösterilmektedir. pH kontrolü için, PID algoritmasının kullanılmasıyla kontrol sağlamanın zor olduğu ve deney sonlarına doğru 0.9'luk ofset verebileceği görülmüştür. Kontrol grafikleri, dinamik performans kriterleri üzerinden de incelenmiş, PID kontrol edicisinin FDMC kontrol edicisine göre çok daha düşük performansa sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda, PID kontrol edicisinin pH prosesi için uygun olmadığı belirlenmiştir.

5.3.3 Kontrol sonrası bulanıklık ölçümleri

pH 7, 8, 9, 10 set noktalarında yapılan kontrol denemelerinde alınan numunelerden bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. 24 saat bekletilen numunelerden 3 ölçüm yapılmıştır. Ortalama değerler çizelge 5.5'de verilmiş ve bu değerlerden şekil 5.23 hazırlanmıştır. Kontrol deneylerinde kullanılan koagülant doz miktarı, FeSO_4 için 50 mg/L, FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Alum için 100 mg/L'dir. Sonuçlara göre FeCl_3 koagülantı kullanımında %89'luk bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Kontrol deneylerinde 0.01 mg/L doz miktarında polielektrolit kullanılmıştır (Atıksuda ölçülen bulanıklık değeri 53.20 NTU).



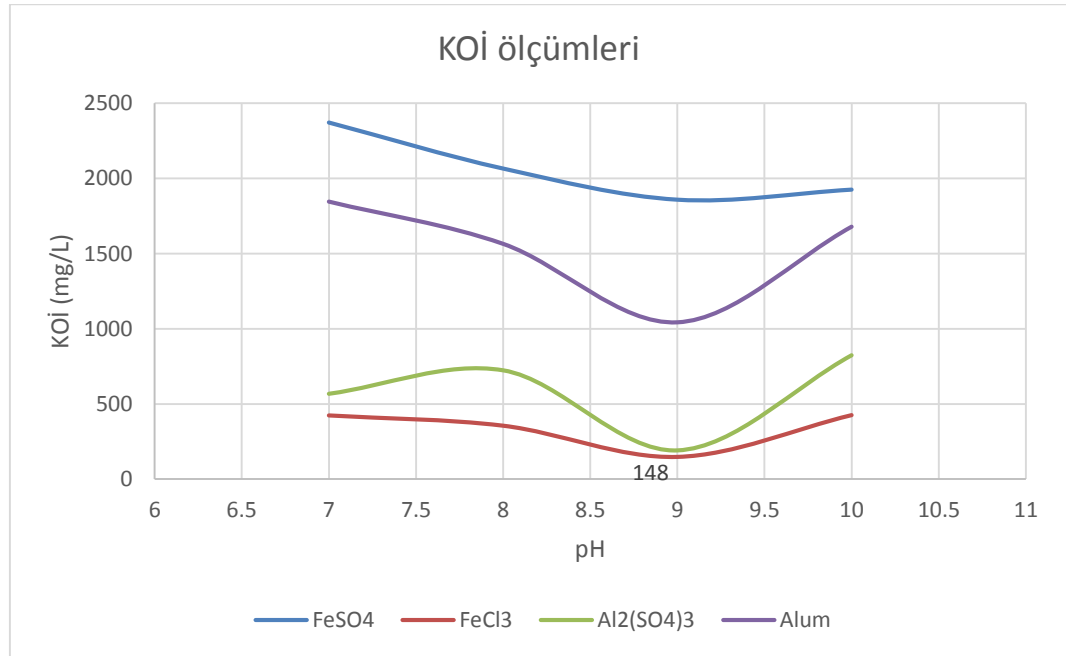
Şekil 5.23 Kontrol denemeleri sonrasında ölçülen bulanıklık değerleri

Çizelge 5.5 Kontrol sonrası bulanıklık ölçüm sonuçları

pH	Bulanıklık Ölçümleri (NTU)			
	FeSO4	FeCl3	Al2(SO4)3	Alum
7	27.60	9.45	11	11.9
8	20.9	11.4	12.4	9.67
9	16.5	5.64	13.7	11.9
10	18.3	15.2	18	6.24

5.3.4 Kontrol sonrası KOİ ölçümleri

Kontrol sonrasında arıtımı gerçekleştirilmiş atıksuda, süzöntü bölgesinden alınan numunelerden KOİ ölçümleri yapılmış, değerler grafikte ve tabloda gösterilmiştir. Ölçülen sonuçlar çizelge 5.6'da verilmiş ve bu ölçümlerden şekil 5.24 hazırlanmıştır. İncelenen sonuçlara göre, FeCl₃ koagülantı kullanılarak yapılan kontrol deneylerinde %95'lik KOİ giderimi sağlanmıştır (Atıksuda ölçülen KOİ değeri 3193 mg/L). Al₂(SO₄)₃ koagülantı ile, yine pH 9 set noktasında ve 100 mg/L doz miktarı ile yapılan kontrolde de yüksek oranda KOİ giderimi sağlanmıştır.



Şekil 5.24 Kontrol denemeleri sonrasında ölçülen KOİ değerleri

Çizelge 5.6 Kontrol sonrası KOİ ölçüm sonuçları

pH	KOİ Ölçümleri (mg/L)			
	FeSO ₄	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	Alum
7	2371	423	568	1845
8	2065	355	724	1564
9	1858	148	192	1042
10	1925	425	824	1678

5.3.5 Kontrol sonrası dinamik performans kriterleri

4 koagülant türü için yapılan kontrol deneylerinde elde edilen sonuçlara göre IAE (tümlelik mutlak hata ölçütü), ISE (tümlelik karesel hata ölçütü) ve ITAE (tümlelik zaman hata ölçütü) performans kriterleri belirlenmiştir. Çizelge 5.7’de FeSO₄ için, çizelge 5.8’de FeCl₃ için, çizelge 5.9’da Al₂(SO₄)₃ için ve çizelge 5.10’da Alum için sonuçlar gösterilmiştir. FeCl₃ koagülantı ile yapılan kontrol deneylerinde en iyi kontrol performansı sağlanmıştır. pH=9 set noktasında FeCl₃ koagülantı ile yapılan PID kontrol deneyinden, PID kontrol performans kriterleri belirlenmiştir. PID kontrolü sonucu hesaplanan performans kriterleri çizelge 5.11’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, Fuzzy-DMC kontrol performansının PID kontrol performansına göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7 FeSO₄ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC)

pH	FeSO ₄		
	IAE	ISE	ITAE
7	185	75	95275
8	203	101	104748
9	153	64	74489
10	147	91	77763

Çizelge 5.8 FeCl₃ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC)

pH	FeCl ₃		
	IAE	ISE	ITAE
7	82	25	42476
8	123	43	62115
9	91	28	47138
10	152	113	78128

Çizelge 5.9 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC)

pH	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		
	IAE	ISE	ITAE
7	164	67	84788
8	155	60	79515
9	126	66	65268
10	158	87	83424

Çizelge 5.10 Alum koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (FDMC)

pH	Alum		
	IAE	ISE	ITAE
7	149	63	77629
8	93	32	48639
9	85	47	43960
10	117	70	60372

Çizelge 5.11 FeCl_3 koagülantı ile belirlenen kontrol performans değerleri (PID)

pH	FeCl_3		
	IAE	ISE	ITAE
9	264	185	135432

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada petrokimya endüstrisine ait atıksuyun arıtılmasında yaygın olarak kullanılan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 ve Alum inorganik koagülantları denenmiştir. Farklı pH değerlerinde her bir koagülantın doz miktarı 5, 20, 50, 100 mg/L olacak şekilde ayarlanmış, hem kontrol deneyleri gerçekleştirilmiş hem de kontrol sonrası arıtım verimliliğini gösteren parametreler belirlenmiştir.

İlk olarak, kontrol düzeneği kurulmadan, atıksuyun jar testleriyle çöktürme denemeleri yapılmıştır. Deneylerde 50 ml'lik numuneler ile pH 7, 8, 9, 10 ve 11 değerlerinde çalışılmıştır. pH ayarlamalarında seyreltilmiş NaOH bazı kullanılmıştır. 5, 20, 50 ve 100 mg/L doz miktarlarında kullanılan koagülantlar için “180 rpm karıştırma hızı, 3 dakika karıştırma süresi, oda sıcaklığı” işletim koşulları sonrasında, 24 saatlik çöktürme süreci başlatılmıştır. Çöktürme sonrası incelenen numunelerde genel olarak yüksek bulanıklık giderimi sağlanmıştır. En yüksek verimin 100 mg/L FeCl_3 kullanımında pH 9 değerinde %84 ve 100 mg/L $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanımında pH 9 değerinde %83 olarak sağlandığı görülmüştür. Bu değerler göz önüne alınarak kontrol deneylerine geçilmiştir.

VISIDAQ programında geliştirilen “bulanık mantık tabanlı dinamik matris kontrol” algoritmasının kullanıldığı deneyler 1 L hacmindeki reaktörde yapılmıştır. Ön denemelerde yapılan işletim şartlarına benzer şartlar “200 rpm mekanik karıştırıcı hızı, 500 saniyelik kontrol süreleri, sabit sıcaklık” olarak tekrar sağlanmış ve kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. pH prosesinin FDMC algoritması ile kontrolü esnasında ortam sıcaklığı 25-26°C’de sabit olarak kalmıştır.

FDMC algoritması ile yapılan pH kontrolleri, elde edilen kontrol grafiklerinden izlenmiştir. Aynı zamanda, %10'luk NaOH baz akış hızındaki değişimler de, sinyallerin akış hızına dönüştürülmesiyle oluşturulan grafiklerden izlenmiştir. Tek deneme olarak yapılan kontrol sonuçları genel anlamda iyi olarak değerlendirilmiştir. Set edilen pH değerlerinde ortalama 0.1 pH ofset değerleri ve çok az gürültü oluşumu gözlenmiştir. Olası kontaminasyon, sinyal gecikmesi, besleme hattında asit veya baz birikimleri karşısında kontrolün sağlandığı ve baz akış hızı değişimlerinin uygun olduğu

görülmüştür. Aynı şekilde uygulanan PID algoritması, petrokimya atıksuyu arıtımı için yapılan pH kontrolünde yetersiz kalmıştır.

Uygulanan FMDC algoritması ile gerçekleşen kontrol deneyleri yaklaşık 500 saniye sonunda tamamlandığında, 200 ml'lik numuneler alınmıştır. 100 mg/L FeCl_3 koagülantı kullanımında pH 9 değerinde, %89'luk bulanıklık giderimi ve %95'lik KOİ giderimi sağlandığı görülmüştür. Alum koagülantının pH 11 set noktası için 100 mg/L doz miktarında kullanıldığı durumda %88'lik bulanıklık giderimi sağlanırken KOİ giderimi %47 olmuştur. 100 mg/L'lik $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantında ise %74'lik bulanıklık, %94'lik KOİ giderimi görülmüştür. Ön denemelerde de kıyaslandığında FeCl_3 koagülantı için daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Kontrol deneyleri gerçekleştirildikten sonra oluşturulan kontrol eğrilerinden, dinamik performans kriterleri belirlenmiştir. Fuzzy-DMC algoritması ile yapılan deneylerin IAE, ISE ve ITAE hesaplamaları yapıldığında, FeSO_4 koagülantı ile pH 9'da, FeCl_3 koagülantı ile pH 9'da, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile pH 9'da, Alum koagülantı ile pH 10'da daha küçük değerler ölçülmektedir. Bu değerler arasında yapılan kıyaslamada pH 9 set noktası için FeCl_3 koagülantı kullanımında, IAE kriterinde 91, ISE kriterinde 28, ITAE kriterinde 47138 değerleriyle en iyi kontrol sonucu ortaya çıkmıştır. FeCl_3 koagülantı ile pH 9'da denenen PID kontrolünde ise Fuzzy-DMC kontrol deneylerine göre daha yüksek değerler hesaplanmış ve kontrolün daha kötü olduğu görülmüştür. PID kontrolü sonuçları IAE kriterinde 264, ISE kriterinde 185, ITAE kriterinde 135432 olarak hesaplanmıştır.

Çeşitliliği fazla olan petrokimyasal atıksuların kimyasal koagülasyon ile arıtımında, inorganik koagülantların yanı sıra organik koagülantların da denenmesi uygun olacaktır. Atıksuyun arıtımında, önemi yüksek olan pH'ın kontrolünde, gelişmiş kontrol edicilerin denenmeye devam edilmesi gerekliliği doğmaktadır. Ayrıca farklı sıcaklıklar etkisinde de hem kontrol edicinin, hem de arıtımın verimliliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Alpbaz, M. 2004. Doğrusal Olmayan Kontrol Sistemlerinin Kimyasal Proseslere Uygulanması. Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara.
- Anonim. 2015. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı. Web Sitesi: <http://www.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/YON-25687SKKY.docx> Erişim Tarihi: 08.08.2015
- Ballice, L., Yüksel, M. ve Sağlam, M. 1997. Kolloidal Sistemli Su Kirliliklerinin Giderilmesinde Kimyasal Çöktürme (Yumaklaştırma) İşleminin Uygulanması. 7(25), 3-6.
- Chen, J., Peng, Y., Han, W. and Guo, M. 2011. Adaptive fuzzy fliding mode control in pH neutralization process. Procedia Engineering, 15, 954-958.
- Cutler, C.R. 1983. Dynamic Matrix Control: An Optimal Multivariable Control Algorithm with Constrains. University Microfilms, 214, Houston.
- Çelebi, M.İ. 2010. Kimya ve Petrokimya Sektöründe Kazalar ve Petkim Örneği. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 146, Ankara.
- Çelebi, N. 2009. Modern Farmasötik Teknoloji. Kolloidler, Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi Yayını, 263-265.
- Çetinkaya, S., Zeybek, Z., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M. 2006. Optimal temperature control in a batch polymerization reactor using fuzzy-relational models-dynamics matrix control. Computers & Chemical Engineering, 30, 1315-1323.
- Demircan, M., Çamurdan, M.C. and Postlethwaite, B.E. 1999. On-line learning fuzzy relational model based dynamic matrix control of an openloop unstable process. Institution of Chemical Engineers, Vol 77, part A.
- Dombi, J. 1990. Membership function as an evaluation. Fuzzy Sets and Systems. Vol 35., 1-21.
- Edgar, C. and Postlethwaite, B.E. 2000. MIMO fuzzy internal model control. Automatica, 34, 867-877.

- Giwa, S.O. 2013. Petrokimyasal Atıksuların Elektrokimyasal Yöntemle Arıtılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 194, Ankara.
- Mahmoodi, S., Poshtan, J., Motlagh, M.R.J. and Montazeri, A. 2009. Nonlinear model predictive control of a pH neutralization process based on Wiener-Laguerre model. Chemical Engineering Journal, 146, 328-337.
- McNeill, F.M. and Thro E., 1994. Fuzzy Logic: A Practical Approach. Academic Press, 350, London.
- Molinero, M.C.H., Prieto, J.S., Briongos, J.V. and Palancar, M.C. 2014. Feedback PID like fuzzy controller for pH regulatory control near the equivalence point. Journal of Process Control, 24, 1023-1037.
- Özkan, G. 2006 Bir pH Prosesine Doğrusal Olmayan Modele Dayalı Kontrol Algoritmasının Uygulanması ve Doğrusal Kontrol Algoritma ile Karşılaştırılması. Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara.
- Paksoy, T., Pehlivan N. ve Özceylan E. 2013. Bulanık Küme Teorisi. Nobel Akademik Yayıncılık, 214, Ankara.
- Pekel, L.C. 2009 Çöktürme Yönteminin Kullanıldığı Boya Atıksu Arıtma Sisteminin Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol (GPC) ile pH Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 97, Ankara.
- Seborg, D.E., Edgar T. F., Mellichamp D.A. ve Doyle F.J. III 2012. Proses Kontrolü ve Dinamiği (S. Erdoğan ve N. A Tapan, Çev.) Nobel Akademik Yayıncılık, 514, Ankara.
- Stephanopoulos, G. 1984. Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice. Prentice/Hall, 696, New Jersey.
- Sung, S.W., Lee, I.B., Choi, J.Y. and Lee, J. 1998. Adaptive control for pH systems. Chemical Engineering Science, Vol. 53, no. 10, pp. 1941-1953.
- Pishvaie, M.R. and Shahrokh, M. 2006. Control of pH processes using fuzzy sliding modeling of titration curve. Fuzzy Sets and Systems, 157, 2983-3006.

- Postlethwaite, B.E. and Edgar, C. 2000. A MIMO fuzzy model-based controller. Institution of Chemical Engineers, Vol 78, part A.
- Verma, S., Prasad, B. and Mishra, I.M. 2010. Pretreatment of petrochemical wastewater by coagulation and flocculation and the sludge characteristics. Journal of Hazardous Materials, 178, 1055-1064.
- Wright, R.A. and Kravaris, C. 2001. On-line identification and nonlinear control of an industrial pH process. Journal of Process Control, 11, 361-374.

EKLER

EK 1 Visual Basic Programlama Diliyle Yazılmış Fuzzy-DMC Algoritması

EK 2 Performans Kriteri Belirleme Yöntemleri

EK 3 pH ve Ayarlanan Değişken Üyelik Fonksiyonu

EK 4 İlişki Matrisi

EK 1 Visual Basic Programlama Diliyle Yazılmış Fuzzy-DMC Algoritması

```
public INCR as integer
```

```
public
```

```
X(1500),M(1500),T3(3600),T83(1500),TI(1500),Y1(1500),TN(1500),FXY1(10),FXY2  
(10) as SINGLE
```

```
public GXY1(20),GXY2(10),CXY1(10),CXY2(10) as SINGLE
```

```
public PPPP(20,20),CCCC(20),FIT(20),XXXX(20),YYYY(7),UUUU(7),WWWW(7)  
as SINGLE
```

```
public FFS(20),GGS(20),CCS(20) as SINGLE
```

```
public TT as integer
```

```
public STPM1 as SINGLE
```

```
PUBLIC
```

```
USUM,YSUM,WSUM,ALMBDA,WCAK,WCEK,ARTIS,ALPHA,QQS,RRS,EBIRD  
AS SINGLE
```

```
PUBLIC NSAY,NGGS,NFFS,NCCS,KDELAY,IPRBS,JK AS INTEGER
```

```
PUBLIC QREB,DELEZ,STP1,HATA,KI,KC,KD AS SINGLE
```

```
public ER,ERRM1,ERRM2,ATT,STP,ATTM1,ATTM2 AS SINGLE
```

```
PUBLIC III AS INTEGER
```

```
*****
```

```
PUBLIC RMKEZY(10),RMKEZU(10),SOLY(10),SAGY(10),SAGU(10), SOLU(10)  
AS SINGLE
```

```
PUBLIC SOYK(10),SOYK1(10),SONUCU(10),RSON(5,5,5),ULAR(50),ANAKO AS  
SINGLE
```

```
PUBLIC YLIN(100),WRWX(3000),u(1,1),DMCK(3),TOP,TM1 AS SINGLE
```

```
PUBLIC YKESKI,YSETT,USETT,YSOY,WRW1,UZAK,UK1,YFUZZY,UNO,IKRR  
AS SINGLE
```

```
PUBLIC SS,SS1,DFUZZY,XE,AMER,ASOL,ASAG,RSSS(5,5,5),ASS1(10),ASS2(10)  
AS SINGLE
```

```
PUBLIC SSDD,SSYEN,TTIF,AYYU(10),XCARP1 AS SINGLE
```

```
'PUBLIC ITQ,JTQ,KTQ,M,ITT1,ITT2,ITT1C,ITT2C,ITTC,JGL,IGL,I,J AS INTEGER
```

```
PUBLIC RMKEZ(10),SOL(10),SAG(10),SONUC(10),YSCAL,USCAL,E(3),B(13000)  
AS SINGLE
```

dim pHT as Tag

dim sıcaklıkT as Tag

dim ısıtıcıT as Tag

dim pompaT as Tag

dim STTT as Tag

dim pH as single

dim sıcaklık as single

dim ısıtıcı as single

dim pompa as single

dim STT as single

'dim TH(15000) as single

dim pH3(15000) as single

dim delu(13000) as single

Sub SCR1()

set sıcaklıkT = GetTag("TASK1", "SOC5")

set pHT = GetTag("TASK1", "AI3")

set STTT = GetTag("DISP1", "NCTL1")

set ısıtıcıT = GetTag("TASK1", "SOC1")

set pompaT = GetTag("TASK1", "SOC4")

ER=0.0

ERRM1=ER

ERRM2=ERRM1

STPM1=5

TT=1

N=5

KC=0.168

KI=46.277

KD=0.631
 DMCK(1)=0.0452
 DMCK(2)=0.0451
 DMCK(3)=0.0448
 INCR=INCR+1
 pH = pHT.Array(2)
 sıcaklık = sıcaklıkT.Array(0)
 ER =11-(pH)
 '*****
 YSETT=9.0
 USETT=4
 YSON=9.0
 DELU(1)=0.0
 YK=6.0
 YSCAL=8.2
 USCAL=4
 YFUZZY=0
 RMKEZY(1)=-1
 RMKEZY(2)=-0.450
 RMKEZY(3)=0.030
 RMKEZY(4)=0.550
 RMKEZY(5)=1
 SOLY(1)=4.5
 SOLY(2)=0.650
 SOLY(3)=0.617
 SOLY(4)=0.650
 SOLY(5)=0.250
 SAGY(1)=0.75

```

SAGY(2)=0.650
SAGY(3)=0.617
SAGY(4)=0.650
SAGY(5)=4.5
J=0
N=5
STT=7.0
'OPEN "C:\Visidaq\relaton6.txt"for input as #1
OPEN "C:\VISIDAQ\Dinfdmc.txt"for input as #2

'***

FOR ITQ=1 TO N
FOR JTQ=1 TO N
FOR KTQ=1 TO N
RSON(ITQ,JTQ,KTQ)=0.8
'INPUT #1,RSON(ITQ,JTQ,KTQ)
NEXT KTQ
NEXT JTQ
NEXT ITQ
'CLOSE #1

'***

FOR MS=1 TO 1200
INPUT #2,B(MS)
NEXT MS
CLOSE #2
FOR MS1=1 TO 1200
B(MS1)=B(MS1)/10
NEXT MS1

```

```

IF (INCR>1200) THEN B(INCR)=B(1200)/10
'END IF

FOR ITT=1 TO N
SOLU(ITT)=SOLY(ITT)
SAGU(ITT)=SAGY(ITT)
RMKEZU(ITT)=RMKEZY(ITT)
NEXT ITT

FOR ITT=1 TO N
SOLY(ITT)=SOLY(ITT)*YSCAL
SAGY(ITT)=SAGY(ITT)*YSCAL
SOLU(ITT)=SOLU(ITT)*USCAL
SAGU(ITT)=SAGU(ITT)*USCAL
RMKEZY(ITT)=RMKEZY(ITT)*YSCAL
RMKEZU(ITT)=RMKEZU(ITT)*USCAL
NEXT ITT

YKESKI=STT-pH

FOR JGL=1 TO N
'SOYK1(JGL)=FFF!(YKESKI, RMKEZY(JGL), SOLY(JGL), SAGY(JGL))
'MSGBOX"FFF="&SOYK1(JGL)

IF(YKESKI<=(RMKEZY(JGL)-SOLY(JGL)) OR
(YKESKI>(RMKEZY(JGL)+SAGY(JGL)))) THEN

SOYK1(JGL)=0.

ELSEIF (YKESKI<=RMKEZY(JGL)) THEN
SOYK1(JGL)=1.-(RMKEZ(JGL)-YKESKI)/SOLY(JGL)
ELSE
SOYK1(JGL)=1-(YKESKI-RMKEZY(JGL))/SAGY(JGL)
END IF

NEXT JGL

'MSGBOX"YKESKI" &YKESKI

```

```

'YEULER=T3(INCR)

'YK=STGPC

'MSGBOX"YK" &YK

'YKESKI=RS-STT

'MSGBOX"YKESKI" &YKESKI

UK1=UK1

'MSGBOX"UK1" &UK1

YKESKI=STT-pH

FOR JGN =1 TO N

IF(YKESKI<=(RMKEZY(JGN)-SOLY(JGN)) OR
(YKESKI>(RMKEZY(JGN)+SAGY(JGN)))) THEN

SOYK1(JGN)=0.

ELSEIF (YKESKI<=RMKEZY(JGN)) THEN

SOYK1(JGN)=1.-(RMKEZ(JGN)-YKESKI)/SOLY(JGN)

ELSE

SOYK1(JGN)=1-(YKESKI-RMKEZY(JGN))/SAGY(JGN)

END IF

NEXT JGN

'CALL FUZZY (YKESKI,RMKEZY,SOLY,SAGY,N%,SOYK1)

UK1=UK1

'MSGBOX"UK1" &UK1

FOR JGL =1 TO N

IF(UK1<=(RMKEZU(JGL)-SOLU(JGL)) OR (UK1>(RMKEZU(JGL)+SAGU(JGL))))
THEN

SONUCU(JGL)=0.0

ELSEIF (UK1<=RMKEZU(JGL)) THEN

SONUCU(JGL)=1.-(RMKEZU(JGL)-UK1)/SOLU(JGL)

ELSE

SONUCU(JGL)=1-(UK1-RMKEZU(JGL))/SAGU(JGL)

```

```

END IF

NEXT JGL

'CALL AFUZZY(UK1,RMKEZU,SOLU,SAGU,N%,SONUCU)

'WRWR=XCARP1(RSON,SOYK1,SONUCU,RMKEZY,N%)

'*****

FOR ITTC=1 TO N

SSDD=0

FOR ITT1C=1 TO N

SSYEN=0

FOR ITT2C=1 TO N

IF(SONUCU(ITT2C)<=RSON(ITT2C,ITT1C,ITTC))THEN

TTIFC=SONUCU(ITT2C)

ELSE

TTIFC=RSON(ITT2C,ITT1C,ITTC)

END IF

IF (TTIFC>SSYEN) THEN SSYEN=TTIFC

NEXT ITT2C

IF(SOYK1(ITT1C<=SSYEN)) THEN

TTIFC=SOYK1(ITT1C)

ELSE

TTIFC=SSYEN

END IF

IF TTIFC>SSDD THEN SSDD=TTIFC

NEXT ITT1C

AYYU(ITTC)=SSDD

NEXT ITTC

SS=0.

SS1=0.

```

```

FOR IGLC =1 TO N
SS1=SS1+AYYU(IGLC)
SS=SS+AYYU(IGLC)*RMKEZY(IGLC)
NEXT IGLC
DFUZZY=0.
IF(SS1<>0) THEN DFUZZY=SS/SS1
XCARP1=DFUZZY
'*****

WRWR=XCARP1
'*****

WRW1=WRWR+STT
FOR IM=1 TO 3
YLIX=0.0
FOR IK=-1 TO -INCR
YLIX=YLIX+(B(IM-1K)-B(IM-1-1K))*DELU(INCR+1+1K)
NEXT 1K
'YLIN(1M)=pH+YLIX
YLIN(1M)=STT+YLIX
'*****

FOR JGK =1 TO N
IF(YLIN(1M)<=(RMKEZY(JGK)-SOLY(JGK)) OR
(YLIN(1M)>(RMKEZY(JGK)+SAGY(JGK)))) THEN
SOYK1(JGK)=0.
ELSEIF (YLIN(1M)<=RMKEZY(JGK)) THEN
SOYK1(JGK)=1.-(RMKEZ(JGK)-YLIN(1M))/SOLY(JGK)
ELSE
SOYK1(JGK)=1-(YLIN(1M)-RMKEZY(JGK))/SAGY(JGK)
END IF
NEXT JGK

```

```
'CALL FUZZY(YLIN(IM),RMKEZY,SOLY,SAGY,N%,SOYK1)
```

```
UK1=UK1
```

```
FOR JGM =1 TO N
```

```
IF(UK1<=(RMKEZU(JGM)-SOLU(JGM)) OR  
(UK1>(RMKEZU(JGM)+SAGU(JGM)))) THEN
```

```
SONUCU(JGM)=0.0
```

```
ELSEIF (UK1<=RMKEZU(JGM)) THEN
```

```
SONUCU(JGM)=1.-(RMKEZU(JGM)-UK1)/SOLU(JGM)
```

```
ELSE
```

```
SONUCU(JGM)=1-(UK1-RMKEZU(JGM))/SAGU(JGM)
```

```
END IF
```

```
NEXT JGM
```

```
*****
```

```
'CALL AFUZZY(UK1,RMKEZU,SOLU,SAGU,N%,SONUCU)
```

```
*****
```

```
FOR ITT=1 TO N
```

```
SSDD=0
```

```
FOR ITT1=1 TO N
```

```
SSYEN=0
```

```
FOR ITT2=1 TO N
```

```
IF(SONUCU(ITT2)<=RSON(ITT2,ITT1,ITT))THEN
```

```
TTIF=SONUCU(ITT2)
```

```
ELSE
```

```
TTIF=RSON(ITT2,ITT1,ITT)
```

```
END IF
```

```
IF (TTIF>SSYEN) THEN SSYEN=TTIF
```

```
NEXT ITT2
```

```
IF(SOYK1(ITT1)<=SSYEN)) THEN
```

```
TTIF=SOYK1(ITT1)
```

```

ELSE
TTIF=SSYEN
END IF
IF TTIF>SSDD THEN SSDD=TTIF
NEXT ITT1
AYYU(ITT)=SSDD
NEXT ITT
SS=0.
SS1=0.
FOR IGL =1 TO N
SS1=SS1+AYYU(IGL)
SS=SS+AYYU(IGL)*RMKEZY(IGL)
NEXT IGL
DFUZZY=0.
IF(SS1<>0) THEN DFUZZY=SS/SS1
XCARP1=DFUZZY
'*****

WRWR=XCARP1
'WRWR=XCARP1(RSON,SOYK1,SONUCU,RMKEZY,N%)
WRWX(IM)=WRWR+STT
NEXT IM
TOP=0
FOR KJ=1 TO 3
'E(KJ)=YLIN(KJ)
E(KJ)=(WRWX(KJ)-YLIN(KJ))+(STT-pH)
'MSGBOX"E="&E(KJ,1)
TOP=E(KJ)*DMCK(KJ)+TOP
NEXT KJ

```

```

DELU(INCR+1)=TOP
TM1=DELU(INCR+1)
STGPC=(TM1)+STPM1
UK1=STGPC
DELU(INCR+1)=STGPC
isitici=STGPC
STPM1=STGPC
FOR MJ=2 TO INCR
DELU(MJ-1)=DELU(MJ)
NEXT MJ
YKEEE=YKESKI+STT
'***

ATT=(KC+KC*(TT/KI)+KC*(KD/TT))*ER-
(KC+(2*KD*KC/TT))*ERRM1+(KC*KD/TT)*ERRM2
'STP=STPM1+ATT
'IF ATP < 0 THEN ATT=-1*ATT
STP=ATT+4
STP=TM1*0.1+6
STPM1=STP
ERRM2=ERRM1
ERRM1=ER
'ATT=KC*ER
'ATT=(KC+(KI+TT/2)+KD/TT)*ER
'ATTM1=((KI*TT/2)-(2*KD/TT)-KC)*ERRM1
'ATTM2=KD*ERRM2/TT
'STP=STPM1+ATT
'MSGBOX"ssgset="& STP
'IF STP > 10 THEN STP=40
'IF STP<=3 THEN STP=40

```

```
'STPM1=ısıtıcı  
POMPA=STP  
'MSGBOX"EBIRD="& EBIRD  
outputf 0, ısıtıcı  
outputf 1, pompa  
outputf 2, pH  
End Sub
```

EK 2 Performans Kriteri Belirleme Yöntemleri

Kontrol deneylerinde kullanılan dinamik performans belirleme yöntemleri:

-IAE (Integral Absolute Error) Tümlenik Mutlak Hata Ölçütü

$$IAE = \sum_{\tau=0}^{\tau_1} |pH(t) - pH_{set}(t)|$$

-ISE (Integral Square Error) Tümlenik Karesel Hata Ölçütü

$$ISE = \sum_{\tau=0}^{\tau_1} (pH(t) - pH_{set}(t))^2$$

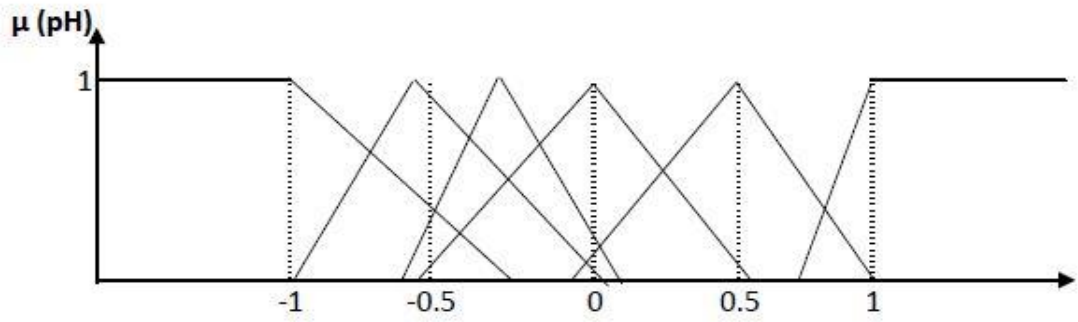
-ITAE (Integral Time Absolute Error) Tümlenik Zaman Hata Ölçütü

$$ITAE = \sum_{\tau=0}^{\tau_1} t |pH(t) - pH_{set}(t)|$$

EK 3 pH ve Ayarlanan Değişken Üyelik Fonksiyonu

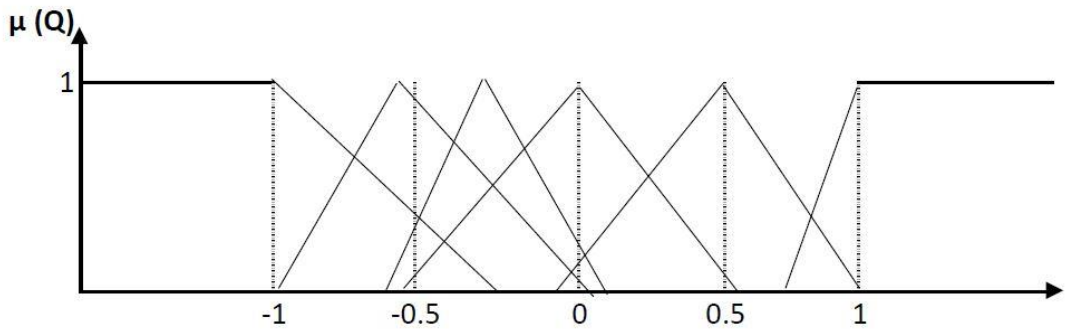
pH üyelik fonksiyonu

	Merkez	Sol Genişlik	Sağ Genişlik
-1	4.5	0.75	
-0.45	0.65	0.65	
0.03	0.617	0.617	
0.55	0.65		0.65
1	0.25		0.5



Ayarlanan değişken üyelik fonksiyonu

	Merkez	Sol Genişlik	Sağ Genişlik
-1	4.5	0.75	
-0.45	0.65	0.65	
0.03	0.617	0.617	
0.55	0.65		0.65
1	0.25		0.5



EK 4 İlişki Matrisi

Üç Boyutlu İlişki Matrisi (FRM)

0.74859	0.49399	0.92537	0.92537	0.92537
0.36490	0.50106	0.46669	0.50106	0.00467
0.00008	0.04831	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.50601	0.57073	0.57073	0.57073	0.69170
0.92013	0.96013	0.96013	0.96013	0.45702
0.46387	0.49533	0.48431	0.49073	0.43179
0.14406	0.11174	0.07595	0.11174	0.01391
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.01759	0.01759	0.01759	0.18709
0.46050	0.52045	0.48886	0.52769	0.64567
0.58798	0.96200	0.94700	0.95320	0.73803
0.62642	0.53550	0.50262	0.53550	0.46941
0.15572	0.07801	0.02478	0.07801	0.00289
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.02934	0.12125	0.12125	0.12125	0.11226
0.24417	0.47760	0.46049	0.47760	0.48231
0.53954	0.95457	0.94879	0.95457	0.82084
0.70407	0.58950	0.58950	0.58950	0.49847
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.03265	0.00000	0.03265	0.00000
0.00255	0.41150	0.41150	0.41150	0.64896
0.67940	0.93734	0.93734	0.93734	0.86666

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet ASPİR

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 02/11/1986

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : İncirli Lisesi YDA (2000-2004)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği
Bölümü (2005-2011)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği
Anabilim Dalı (Şubat 2012-Aralık 2015)

Çalıştığı Kurumlar

Budinoks Paslanmaz Çelik A.Ş. (2013-2014)

İba.Valresa Boya ve Kimya A.Ş. (2014--)