

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇME SUYU HIZLI KUM FİLTRESİNİN
ZEKİ KONTROLÜ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Mustafa ONAT
(Müh., M.Sc.)**

105234

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR-KONTROL PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr Murat DOĞRUEL**

105234

İSTANBUL 2001

ÖZET

İÇME SUYU HIZLI KUM FİLTRESİNİN ZEKİ KONTROLÜ

Bu çalışmada, direkt filtrasyon yöntemi ve basınçla çalıştırılan derin yataklı hızlı kum filtresinin çıkış suyu bulanıklığı, oldukça nonlineer filtre dinamiğine rağmen, istenilen referans seviyesinde zeki kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi incelenmiştir. Buna bağlı olarak filtre çalışma süresinin maksimuma çıkarılması ve optimum alum kullanımı sağlanmaktadır. Çıkış suyu bulanıklığını doğrudan etkileyen filtre debisi ve ham su bulanıklığı gibi bozucu etkiler, başarılı bir şekilde giderilmesi sağlanmıştır.

Deney seti genel olarak, derin yataklı filtre sütunu, ham su seti, ölçüm ve kontrol elemanları, pentium-I bilgisayar, DAS kartları ve arabirimler, pompa ve sürücüler ve set için geliştirilen otomasyon programından meydana gelmiştir.

Bütün deneylerde, başlangıç filtre yatak derinliği, 84 cm' dir. Üniformluk katsayısı 1.4 olan silisli kum, yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Ham su seti ile, filtreye ham suyun sürekliliği sağlanılmıştır. Bütün deneylerde (aksi belirtilmedikçe) ham su sıcaklığı 16-19 °C arasında değişmiştir ve ham su bulanıklığı, 7.5-8.5 NTU arasında tutulmuştur. Deney seti, filtre sütununda oluşabilecek aşırı basınçlar gibi, tehlikelere karşı donanım ve yazılım ile korunmuştur.

Filtrenin çalışma süresi, geri yıkama kriterleri ile sınırlandırılmıştır. Bu kriterlerde müsaade edilen maksimum yük kaybı 1.4 m ve çıkış kalitesi bozulma değeri 0.5 NTU'dur. Geliştirilen otomasyon programı ile, filtrasyon ve geri yıkama işlemleri bu kriterlere göre otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

Ham su ve filtre çıkış suyu bulanıklıkları, yatak basınçları, filtre debisi ve ham su sıcaklığı on line ölçülerek filtrenin davranışı belirlenmiştir. Bilgisayarla kontrol edilen dozaj pompası ile, gerekli alum dozu direkt olarak filtreye verilmiştir. Fazla alum dozunda, filtre yatağının giriş yüzeyinde flok tabakası oluşmuş ve filtrenin daha kısa zamanda tıkanmasına neden olunmuştur. Buna bağlı olarak yük kaybı ve filtre yüzeyine yakın basınçlar hızla artmıştır. Yetersiz alum dozunda ise, istenilen çıkış suyu kalitesi sağlanılamamıştır.

Kum ve polimer esaslı filtre setinin gerçeğe uygun matematik modelinin oluşturulması çok güç ya da çoğu kez mümkün olmadığından, filtre çıkış suyu bulanıklığının kontrolünde **zeki kontrol yöntemi** tercih edilmiştir.

Filtrenin alum dozu oranı değiştirildiğinde, cevap süresinin 8.5 dakika ve en uygun örnekleme zamanının 1 dakika olduğu deneylerden tespit edilmiştir. Daha büyük örnekleme aralıklarında, çıkış bulanıklığı karasız (salımlı) olmuştur. Bulanıklık ölçümlerinde kullanılan türbidimetrenin (Hach 1720D), seri portundan en az dakikada bir örnek alınabildiğinden, daha küçük örnekleme aralıkları seçilememiştir.

Deney seti, aşağı yönde basınçlı filtre olarak çalıştırıldığı için, filtrasyon süresince filtre hızı sabit kalmıştır ve filtrasyon süresince değişen filtre yatak basınçlarından etkilenmemiştir. Bu nedenle, filtre hızı kontrol edilmemiştir.

Gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- ❑ Sabit ve zeki kontrollü alum dozu ile yapılan sabit filtre hızlı filtrasyon deney sonuçları, karşılaştırılarak her iki yaklaşım irdelenmiştir.
- ❑ Orta ve yüksek alum dozlarında, sırasıyla müsaade edilen maksimum yük kaybı ve çıkış suyu kalitesi bozulma sınırları filtrasyon süresini kısaltmada etkili olmuştur.
- ❑ Daha yüksek sabit alum dozlarında, yük kaybı daha yüksek olurken, çıkış bulanıklığı daha düşük ve daha kararlı olmuştur.
- ❑ Sabit alum filtrasyon sonucuna göre, zeki kontrol yöntemi ile daha iyi bir filtre performansı sağlanmıştır.
- ❑ Yük kaybı, filtre hızı ve alum dozu ile doğru orantılı olarak artmıştır.
- ❑ Filtre süresince çıkış kalitesinin sabit tutulması, alum optimizasyonu sonucunu doğurmuştur.
- ❑ Değişken filtre dinamiğinden dolayı alum tüketimi filtrasyon süresince nonlineer olarak değişmiştir. Bu nedenle, sabit dozda optimum alum kullanımı gerçekleştirilemez.
- ❑ Çıkış bulanıklığının kontrol edilmesiyle alum optimizasyonu sağlandığından, jar testi işlemine gerek duyulmamıştır.

SUMMARY

INTELLIGENT CONTROL OF A RAPID SAND FILTER FOR POTABLE WATERS

In this study, the effluent turbidity of a deep-bed rapid sand filter run by direct filtration is controlled at a desired level in spite of the highly nonlinear filter dynamics. The maximum filter run time and optimum alum usage is achieved. Effects of disturbances such as the filter flow rate and the influent (raw water) turbidity that directly affect the effluent turbidity are compensated successfully.

The experiment setup mainly consists of a deep bed filter column, a raw water setup, measurement and control elements, a Pentium-I computer, DAS cards and interfaces, pumps and drivers, and a developed automation program.

The initial bed depth in all experiments is 84 cm. The silica sand is used as the granular material and its uniformity coefficient is 1.4. Continuous raw water is supplied to the filter by the raw water setup. In all experiments (unless stated otherwise), the raw water temperature changes between 16 and 19 °C, and the raw water turbidity is held between 7.5 and 8.5 NTU. For safety reasons, the experiment setup is protected by both hardware and software against the excessive pressures that could occur in the filter column.

The filter run time is limited by the backwashing criteria where the maximum allowable headloss is 1.4 m and, the break-through is 0.5 NTU. The automation program developed automatically realizes the filtration and the backwashing operations with regard to these criteria.

The behavior of the filter is determined by on-line measuring of the influent and effluent turbidity, the bed pressure drops, the flow rate and, the temperature of the influent. The required alum dose is directly dosed into the filter by a dosage pump controlled by the main computer. In case of the excessive alum doses, a flock layer occurs at the surface of the bed and, it causes to clog the filter in a shorter time. Additionally, the headloss and pressure drops near the surface increase rapidly. In case of the insufficient alum doses, the desired effluent quality can not be achieved.

Since the extraction of a mathematical model of a sand and polymer based filter setup is very difficult and many times impossible, one of the intelligent control techniques is preferred to control the filter.

The response time of the filter to a change of alum rate is found to be 8.5 minutes and, the best sampling time is determined as 1 minute. The effluent turbidity becomes oscillatory at the higher sampling intervals. Since the turbidimeter (Hach 1720) used in the turbidity measurements is capable of sending samples one-minute intervals to its serial port, the sampling time cannot be chosen less than one minute.

Since experiment setup is operated in downward direction as a pressure filter, the filter flow rate remains constant during the filter run, and is not affected by the bed pressures. Hence, the flow rate is not controlled.

The results of this study may be summarized as follows:

- The results of filter run experiments performed by the constant and intelligently controlled alum doses at a constant filter rate are compared and both of the approaches are examined.
- While the maximum allowable headloss is the limiting factor at low or medium alum doses, at higher doses the break-through becomes the limiting factor.
- The higher constant alum dose, the lower and more stable effluent turbidity and the higher headloss.
- The headloss is found to be proportional to the flow rate and the alum dose.
- The intelligent control performance is better than the constant alum dosing in the filter run time and the effluent quality.
- The effluent turbidity is controlled at a desired reference level during the filter run time. Hence, the optimum alum usage is achieved.
- To keep the effluent quality constant, the alum consumption during the filter run time nonlinearly changes due to the complex filter dynamics. Therefore, dosing alum to the filter at a constant rate does not meet the optimum alum condition.
- Since the alum optimization is achieved, the implementation of the jar test is not required.

20.6.2001

Mustafa ONAT

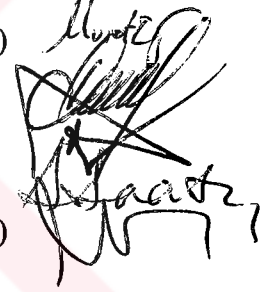
T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

İÇME SUYU HIZLI KUM FİLTRESİNİN ZEKİ KONTROLÜ

Mustafa ONAT'ın İçme Suyu Hızlı Kum Filtresinin Zeki Kontrolü isimli Doktora tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.07.2001 tarih ve 2001/12-35 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Bilgisayar-Kontrol. Programında DOKTORA Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman	: Doç. Dr. Murat DOĞRUEL (M.Ü.)
Üye	: Prof. Dr. Burhanettin. CAN (M.Ü.)
Üye	: Doç. Dr. Bülent İNANÇ (M.Ü.)
Üye	: Prof. Dr. A. Mete SAATÇI (M.Ü.)
Üye	: Doç. Dr. (Mustafa TURAN) (İTÜ)



Tezin Savunulduğu Tarih : .25.07.20001

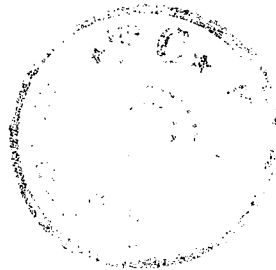
ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.08.2001/ tarih ve sayılı kararı ile Mustafa ONAT 'ın Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Bilgisayar-Kontrol Programında Doktora (Dr, PhD.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Adnan AYDIN
MÜDÜR

MÜHÜR



TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her safhasında bana yol gösteren, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım, Doç. Dr. Murat Doğruel'e, Tez İzleme Komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Burhanettin CAN'a ve Doç. Dr. Bülent İNANÇ'a, filtre problemlerinin tartışılması ve hedefe varılmasında verdiği katkılardan dolayı değerli hocamız Prof. Dr. Ahmet M. Saatçi'ya, deney düzeneğinin kurulmasında yardımcı olan değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT'a ve Yrd. Doç. Dr. İrfan ÇALIŞ'a, Yrd. Doç. Dr. H. Hüseyin Çelik'e, tez çalışmalarımızda benzeri zorlukları ve sıkıntıları yardımlaşarak paylaştığımız Öğr. Görv. A.Talat İnan'a, program konusunda verdiği önemli destekten dolayı Erhan BAĞRIAÇIK kardeşime, akademik hayatımın her aşamasında bana destek olan değerli eşime ve sevgili çocuklarım Zeynep, Emin Burak ve Yavuz Selim'e, çalışma arkadaşlarıma ve dostlarıma hepsine teşekkür ederim.

Bu çalışma, M.Ü. Araştırma Fonu Başkanlığı tarafından 1998 ve 1999 yıllarında Fen Dalı'nda 16 ve 28 nolu projeler ile desteklenmiştir. Bu vesile ile Araştırma Fonu Başkanlığına ve tez çalışmama yönetim adına yardımlarından dolayı öğrencisi olduğum Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne ben ve danışmanım adına teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
SUMMARY.....	III
YENİLİK BEYANI.....	V
SEMBOL LİSTESİ.....	VI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	X

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ	1

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER.....	3
II.1. GİRİŞ	3
II.2. FİLTASYON	3
II.2.1 Derin Yataklı Filtrasyon.....	5
II.2.2 Filtre Tasarım Parametreleri.....	6
II.2.3 Filtrasyon Mekanizması	6
II.2.4 Filtrasyon Hidroliği ve Dinamiği	7
II.2.5 Filtrelerin Sınıflandırılması	8
II.2.6 Direkt Filtrasyon.....	9
II.2.7 Direkt Filtrasyonda Koagülasyon.....	10
II.2.8 Direkt Filtrasyon ve Kontrol	11
II.3 ZEKİ KONTROL	14
II.3.1 Bulanık Mantık ve Bulanık Kontrolör	15

II.4 FİTRASYON EĞİTİM SETİ.....	17
II.5 KAYNAK BİLGİLERİN İRDELENMESİ.....	17
II.5.1 Su Arıtımında Zeki Kontrol	17

BÖLÜM III

TEZ ÇALIŞMALARI.....	21
III.1 GİRİŞ.....	21
III.2 ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE ARAÇLAR.....	21
III.3. DERİN YATAKLI FİLTRE SETİ.....	22
III.3.1. Deney Setinin Önceki Durumu	22
III.3.2 Deney Seti Tasarım Değişiklikleri	23
III.3.3. Deney Seti Otomasyonu	24
III.3.4. Deney Seti Donanımı.....	24
III.3.4.1 Derin Yataklı Filtre Sütunu.....	25
III.3.4.2 Ham Su Karıştırma Seti	26
III.3.4.3. Bulanıklık Konsantrasyon Seti	27
III.3.4.4. Alum Dozlama Seti.....	28
III.3.4.5 Santrifüj Pompası	28
III.3.4.6. Hava Kaynağı	29
III.3.4.7. Valflar	29
III.3.4.8 Ölçüm Elemanları (Algılayıcılar).....	29
III.3.4.9. Sürücüler ve Dönüştürücüler.....	33
III.3.5. Basınç Algılayıcılarının Kalibrasyonu	34
III.4. DENEY SETİ VERİ DÜZENİ	35
III.5. DENEY SETİ ÇALIŞMA MODLARI	36
III.6. KUM ANALİZİ.....	40
III.7. DERİN YATAKLI FİLTRENİN DAVRANIŞI.....	40
III.7.1 Filtre Davranışını Belirlemek İçin Yapılan Deneyler	40
III.7.2 Sabit Alum Dozunda Filtrasyon Sonuçları	42
III.8. SABİT ALUMDA OPTİMUM DOZLAMA PROBLEMİ	44
III.9 KONTROLOR TASARIMI	45
III.9.1 Bulanık Kontrolör.....	46
III.9.1.1. Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kümeler	47
III.9.1.2. Kural Tabanı.....	48

III.9.2. İntegral Kontrolör Tasarımı	49
III.10 FİLTRE OTOMASYON YAZILIMI.....	49

BÖLÜM IV

SONUÇLAR.....	54
IV.1. GİRİŞ	54
IV.2 FİLTRE ÇIKIŞ BULANIKLIĞI KONTROLÜ	54
IV.2.1 Bulanık Kontrolör	54
IV.2.2 İntegral Kontrolör.....	55
IV.3 SABİT VE ZEKİ KONTROLLÜ ALUM DOZUNDA FİLTRENİN BOZUCU ETKİLERE CEVABI.....	56
IV.4 ZEKİ KONTROLLÜ FİLTRASYON SONUÇLARI	58
IV.5 SABİT VE ZEKİ KONTROLLÜ ALUMDA FİLTRASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	60
IV.6. SONUÇLAR.....	61

BÖLÜM V

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	63
V.1. GİRİŞ.....	63
V.2. TARTIŞMA	63
V.3.DEĞERLENDİRME	64
V.4. ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	69
Ek-B: Yük kaybı	71
Ek-C: Kum Analizi	73
Ek-D : K _I Parametresinin Hesaplanması	75
Ek-E :Zeki Kontrolör Yazılımı	78

ÖZET

İÇME SUYU HIZLI KUM FİLTRESİNİN ZEKİ KONTROLÜ

Bu çalışmada, direkt filtrasyon yöntemi ve basınçla çalıştırılan derin yataklı hızlı kum filtresinin çıkış suyu bulanıklığı, oldukça nonlineer filtre dinamiğine rağmen, istenilen referans seviyesinde zeki kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi incelenmiştir. Buna bağlı olarak filtre çalışma süresinin maksimuma çıkarılması ve optimum alum kullanımı sağlanmaktadır. Çıkış suyu bulanıklığını doğrudan etkileyen filtre debisi ve ham su bulanıklığı gibi bozucu etkiler, başarılı bir şekilde giderilmesi sağlanmıştır.

Deney seti genel olarak, derin yataklı filtre sütunu, ham su seti, ölçüm ve kontrol elemanları, pentium-I bilgisayar, DAS kartları ve arabirimler, pompa ve sürücüler ve set için geliştirilen otomasyon programından meydana gelmiştir.

Bütün deneylerde, başlangıç filtre yatak derinliği, 84 cm' dir. Üniformluk katsayısı 1.4 olan silisli kum, yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Ham su seti ile, filtreye ham suyun sürekliliği sağlanmıştır. Bütün deneylerde (aksi belirtilmedikçe) ham su sıcaklığı 16-19 °C arasında değişmiştir ve ham su bulanıklığı, 7.5-8.5 NTU arasında tutulmuştur. Deney seti, filtre sütununda oluşabilecek aşırı basınçlar gibi, tehlikelere karşı donanım ve yazılım ile korunmuştur.

Filtrenin çalışma süresi, geri yıkama kriterleri ile sınırlandırılmıştır. Bu kriterlerde müsaade edilen maksimum yük kaybı 1.4 m ve çıkış kalitesi bozulma değeri 0.5 NTU'dur. Geliştirilen otomasyon programı ile, filtrasyon ve geri yıkama işlemleri bu kriterlere göre otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

Ham su ve filtre çıkış suyu bulanıklıkları, yatak basınçları, filtre debisi ve ham su sıcaklığı on line ölçülerek filtrenin davranışı belirlenmiştir. Bilgisayarla kontrol edilen dozaj pompası ile, gerekli alum dozu direkt olarak filtreye verilmiştir. Fazla alum dozunda, filtre yatağının giriş yüzeyinde flok tabakası oluşmuş ve filtrenin daha kısa zamanda tıkanmasına neden olunmuştur. Buna bağlı olarak yük kaybı ve filtre yüzeyine yakın basınçlar hızla artmıştır. Yetersiz alum dozunda ise, istenilen çıkış suyu kalitesi sağlanamamıştır.

Kum ve polimer esaslı filtre setinin gerçeğe uygun matematik modelinin oluşturulması çok güç ya da çoğu kez mümkün olmadığından, filtre çıkış suyu bulanıklığının kontrolünde **zeki kontrol yöntemi** tercih edilmiştir.

Filtrenin alum dozu oranı değiştirildiğinde, cevap süresinin 8.5 dakika ve en uygun örnekleme zamanının 1 dakika olduğu deneylerden tespit edilmiştir. Daha büyük örnekleme aralıklarında, çıkış bulanıklığı karasız (salınlı) olmuştur. Bulanıklık ölçümlerinde kullanılan türbidimetrenin (Hach 1720D), seri portundan en az dakikada bir örnek alınabildiğinden, daha küçük örnekleme aralıkları seçilememiştir.

Deney seti, aşağı yönde basınçlı filtre olarak çalıştırıldığı için, filtrasyon süresince filtre hızı sabit kalmıştır ve filtrasyon süresince değişen filtre yatak basınçlarından etkilenmemiştir. Bu nedenle, filtre hızı kontrol edilmemiştir.

Gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- ❑ Sabit ve zeki kontrollü alum dozu ile yapılan sabit filtre hızlı filtrasyon deney sonuçları, karşılaştırılarak her iki yaklaşım irdelenmiştir.
- ❑ Orta ve yüksek alum dozlarında, sırasıyla müsaade edilen maksimum yük kaybı ve çıkış suyu kalitesi bozulma sınırları filtrasyon süresini kısaltmada etkili olmuştur.
- ❑ Daha yüksek sabit alum dozlarında, yük kaybı daha yüksek olurken, çıkış bulanıklığı daha düşük ve daha kararlı olmuştur.
- ❑ Sabit alum filtrasyon sonucuna göre, zeki kontrol yöntemi ile daha iyi bir filtre performansı sağlanmıştır.
- ❑ Yük kaybı, filtre hızı ve alum dozu ile doğru orantılı olarak artmıştır.
- ❑ Filtre süresince çıkış kalitesinin sabit tutulması, alum optimizasyonu sonucunu doğurmuştur.
- ❑ Değişken filtre dinamiğinden dolayı alum tüketimi filtrasyon süresince nonlineer olarak değişmiştir. Bu nedenle, sabit dozda optimum alum kullanımı gerçekleştirilemez.
- ❑ Çıkış bulanıklığının kontrol edilmesiyle alum optimizasyonu sağlandığından, jar testi işlemine gerek duyulmamıştır.

20.6.2001

Mustafa ONAT

SUMMARY

INTELLIGENT CONTROL OF A RAPID SAND FILTER FOR POTABLE WATERS

In this study, the effluent turbidity of a deep-bed rapid sand filter run by direct filtration is controlled at a desired level in spite of the highly nonlinear filter dynamics. The maximum filter run time and optimum alum usage is achieved. Effects of disturbances such as the filter flow rate and the influent (raw water) turbidity that directly affect the effluent turbidity are compensated successfully.

The experiment setup mainly consists of a deep bed filter column, a raw water setup, measurement and control elements, a Pentium-I computer, DAS cards and interfaces, pumps and drivers, and a developed automation program.

The initial bed depth in all experiments is 84 cm. The silica sand is used as the granular material and its uniformity coefficient is 1.4. Continuous raw water is supplied to the filter by the raw water setup. In all experiments (unless stated otherwise), the raw water temperature changes between 16 and 19 °C, and the raw water turbidity is held between 7.5 and 8.5 NTU. For safety reasons, the experiment setup is protected by both hardware and software against the excessive pressures that could occur in the filter column.

The filter run time is limited by the backwashing criteria where the maximum allowable headloss is 1.4 m and, the break-through is 0.5 NTU. The automation program developed automatically realizes the filtration and the backwashing operations with regard to these criteria.

The behavior of the filter is determined by on-line measuring of the influent and effluent turbidity, the bed pressure drops, the flow rate and, the temperature of the influent. The required alum dose is directly dosed into the filter by a dosage pump controlled by the main computer. In case of the excessive alum doses, a flock layer occurs at the surface of the bed and, it causes to clog the filter in a shorter time. Additionally, the headloss and pressure drops near the surface increase rapidly. In case of the insufficient alum doses, the desired effluent quality can not be achieved.

Since the extraction of a mathematical model of a sand and polymer based filter setup is very difficult and many times impossible, one of the intelligent control techniques is preferred to control the filter.

The response time of the filter to a change of alum rate is found to be 8.5 minutes and, the best sampling time is determined as 1 minute. The effluent turbidity becomes oscillatory at the higher sampling intervals. Since the turbidimeter (Hach 1720) used in the turbidity measurements is capable of sending samples one-minute intervals to its serial port, the sampling time cannot be chosen less than one minute.

Since experiment setup is operated in downward direction as a pressure filter, the filter flow rate remains constant during the filter run, and is not affected by the bed pressures. Hence, the flow rate is not controlled.

The results of this study may be summarized as follows:

- ❑ The results of filter run experiments performed by the constant and intelligently controlled alum doses at a constant filter rate are compared and both of the approaches are examined.
- ❑ While the maximum allowable headloss is the limiting factor at low or medium alum doses, at higher doses the break-through becomes the limiting factor.
- ❑ The higher constant alum dose, the lower and more stable effluent turbidity and the higher headloss.
- ❑ The headloss is found to be proportional to the flow rate and the alum dose.
- ❑ The intelligent control performance is better than the constant alum dosing in the filter run time and the effluent quality.
- ❑ The effluent turbidity is controlled at a desired reference level during the filter run time. Hence, the optimum alum usage is achieved.
- ❑ To keep the effluent quality constant, the alum consumption during the filter run time nonlinearly changes due to the complex filter dynamics. Therefore, dosing alum to the filter at a constant rate does not meet the optimum alum condition.
- ❑ Since the alum optimization is achieved, the implementation of the jar test is not required.

20.6.2001

Mustafa ONAT

YENİLİK BEYANI

İÇME SUYU HIZLI KUM FİLTRESİNİN ZEKİ KONTROLÜ

Bu çalışmada, M.Ü. Mühendislik Fakültesi C Binası'nda tasarımı ve imalatı yeniden gerçekleştirilen ve basınçla ve direkt filtrasyon yöntemi ile çalıştırılan bir Filtre setinde, çıkış suyu bulanıklığının istenilen kalitede tutulması ve buna bağlı olarak filtre süresinin maksimuma çıkarılması için, zeki kontrol yöntemi geliştirilip uygulanmıştır.

Önceki deney seti, tamamen manuel tarzda çalışacak şekilde imal edilmişti. Yeni tasarım ve donanımla, ham suyun sürekliliği sağlanarak filtrenin çalışma süresi, sadece filtre parametre ve değişkenlerine bağlı hale getirilmiştir.

Sabit alumla dozlamada, gereğinden fazla ya da yetersiz flokleşme oluşabileceğinden yük kaybı ve çıkış bulanıklığının daha hızlı artması ya da çıkış suyu kalitesinin sağlanamaması yönünde sakıncaları vardır. Ayrıca, debi ve ham su gibi bozucu etkilere karşı, esnek ve güvenilir arıtma tesisi için otomatik kontrol tekniğine ihtiyaç duyulur.

Derin yataklı filtrenin gerçeğe uygun matematik modelinin oluşturulması çok güç ya da çoğu kez mümkün olamadığından, zeki kontrol yöntemi tercih edilmiştir. Çıkış bulanıklığı, sadece bulanık kontrolör ile kontrol edildiğinde kalıcı hal hatası oluşmuştur. Bu sorun, integral kontrolör kullanılarak çözülmüştür.

Geliştirilen kontrol yöntemi, direkt filtrasyonda ilk defa kullanılmıştır. Çıkış suyu bulanıklığının kontrol edilmesi ile, optimum alum dozu kullanımı gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak filtre süresi maksimuma çıkarılmıştır. Böylece, jar testi ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. Sabit alum dozuna göre, daha iyi bir filtre performansı sağlanmıştır.

Bu çalışmada, öğrencilerin otomatik kontrole ve filtrasyona yönelik uygulama yapabilmeleri hedeflendiğinden, kontrol ve çevre öğrencilerinin eğitimine katkıda bulunulmuştur.

20.6.2001

Doç Dr. Murat DOĞRUEL

Mustafa ONAT

SEMBOL LİSTESİ

$\mu_A(x)$	x'in A bulanık kümesindeki değeri
A	Filtre kesit alanı (m ²)
alum	Alüminyum sülfat (Al ₂ (SO ₄) ₃ 18H ₂ O)
C_e	Çıkış bulanıklığı hatası
C_f	Alum dozu (mg l ⁻¹)
C_{out}	Filtre çıkış bulanıklığı (NTU)
C_{ref}	Referans bulanıklık (NTU)
C_{rw}	Ham su bulanıklığı (NTU)
dC_e	Çıkış bulanıklığı hata farkı
H	Yük kaybı (m SS)
K _D	Türev kontrolör katsayısı
K _I	İntegral kontrolör katsayısı
K _P	Oransal kontrolör katsayısı
L	Filtre yatak derinliği (cm)
m	metre
N	Aktif kural sayısı
Q	Filtre debisi (ldak ⁻¹)
Q _d	Alum dozu (mldak ⁻¹)
s0..s39	Basınç algılayıcıları
T	Sıcaklık(° C)
t	Zaman (s)
T _b	Geri yıkama süresi (dak)
T _f	Filtrasyon süresi (dak)
U _k	Kontrol işareti
V _a	Filtre hızı (m/s)
V _b	Geri yıkamada harcanılan arıtılmış su (m ⁻³)
V _f	Arıtılan su (m ⁻³)

KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	: Analog Digital Converter
AKM	Askıda madde
DAC	: Digital Analog Converter
DK	: Düşük
DOF	: Gerçeklenme Oranı
FOP	: Filtre Otomasyon Programı
NB	: Negatif Büyük
NK	: Negatif Küçük
NO	: Negatif Orta
ORT	: Orta
PB	: Pozitif Büyük
PID	: Proportional Integral Derivative
PK	: Pozitif Küçük
PO	: Pozitif Orta
SFR	: Sıfır
SS	: Su Sütunu
YK	: Yüksek

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil II. 1 Filtrasyon Aşamaları	5
Şekil II.3 Direkt Filtrasyon Şematik Diyagramı [13, 14].....	10
Şekil II.4 Filtrasyon Değişkenleri	12
Şekil II.5 Geri yıkama değişkenleri	13
Şekil II.2. Bulanık Kontrolörün Temel Yapısı	15
Şekil II.3 Kontrolör tasarımında kullanılan üçgen üyelik fonksiyonu	16
Şekil III.1 Deney Setinin önceki durumunu gösteren şematik diyagramı	23
Şekil III.2 İçme Suyu Hızlı Kum Filtresi Deney Setinin Şematik Diyagramı	25
Şekil III.3 Filtre Sütunu	26
Şekil III.4 Bulanıklık Konsantrasyonu Seti Blok Diyagramı.....	27
Şekil III.5 Ham su bulanıklığının zamana göre değişimi	27
Şekil III.7 Deney Setinde Kullanılan Hach 1720D Türbidimetresinin Görüntüsü ..	30
Şekil III. 8 Debimetre Kalibrasyon Eğrisi	31
Şekil III.9 Algılayıcılar Panosunun Önden Görünüşü	31
Şekil. III.10 s0-s39 Algılayıcıları Kalibrasyon Eğrileri.....	32
Şekil III.11 Gerilim/ Akım Dönüştürücü ve Koruma Devresi	33
Şekil III.12 Frekans Gerilim Dönüştürücü.....	33
Şekil III.13 Kalibreli ve kalibresiz filtre sütunu statik basınç eğrileri.....	35
Şekil III.14 Deney Seti Veri Düzeni Blok Diyagramı	35
Şekil III.15 Donanım elemanlarının sürülmesi için tasarlanan sayısal veri düzeni ..	36
Şekil III.16 Deney Seti Çalışma Düzeni Blok Diyagramı	38
Şekil III.18. Filtre Davranışının Belirlenmesi: (a) Farklı debilerde çıkış bulanıklığının alum dozuna göre değişimi, (b) Çıkış valfi konumuna ve filtre debisine göre yük kaybı değişimi, (c),(d) Filtre debisine ve ham su bulanıklığına göre çıkış bulanıklığı değişimi, (e) Toplam yük kayıplarının filtrasyon süresine göre değişimi ve (f) Filtre yatağı basınçlarının zamana ve yatak derinliğine göre değişimleri	41
Şekil III.19. Sabit Filtre Hızı ve Sabit Alum Dozlarında, Çıkış Bulanıklığı ve Yük kaybının Filtrasyon Süresine Göre Değişimi : (a) $C_f = 0$ mg/l, (b) $C_f = 4$ mg/l, (c) $C_f = 6$ mg/l, (d) $C_f = 10$ mg/l, (e) $C_f = 20$ mg/l, (f) $C_f = 30$ mg/l.....	43
Şekil III.19 Deney Seti Kontrol Sistemi Blok Diyagramı	46
Şekil III.20 Analog Girişler ve Manuel Çalıştırma Ekranı	49
Şekil III.22 Zeki Kontrolör Ekranı	51
Şekil III.23 Deney Seti Otomasyonu Yazılımı Akış Şeması	52
Şekil IV.1 Sabit filtre hızı ve 0.3' NTU'luk referansa göre çıkış bulanıklığı kontrolü	55
Şekil IV.3 Debi ve Ham Su Bulanıklığı Bozucu Etkilerine Karşı, Sabit (a ve c) ve Zeki Kontrollü (b ve d) Alumda Filtre Davranışları: (a) ve (c) $Q_d = 3$ ml/dak ,(b) Debi ani değişimi ve (d) Ham su bulanıklığı ani değişimi	57

Şekil IV.4 Sabit filtre hızı ve farklı çıkış bulanıklığı referans değerlerinde çıkış bulanıklığının kontrol edilmesi (a) $C_{ref}=0.1$, (b) $C_{ref}=0.2$ (c) ve $C_{ref}=0.3$ NTU	59
Şekil Ek B.1 Filtre yatağı yük kabının bulunması	71
Şekil Ek C.1 İSKİ Kumu Analizi	73
Şekil Ek D.1 Zeigler ve Nichols yöntemine göre K_1 parametresinin bulunuşu.....	75



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo II.1 Filtrasyon Süresinin Tasarım Parametrelerine Bağlılığı.....	6
Tablo II.2 Filtrelerin sınıflandırılması	8
Tablo III.1 Araştırma Araçları.....	21
Tablo. III.3. Geri yıkama modu (işlemi).....	36
Tablo III.4 Deney Seti Çalışma Modları İçin Sayısal Çıkış Düzeni.....	37
Tablo III.5 Sabit alum Dozunda Yapılan Filtrasyon Sonuçları.....	45
Tablo III.6 Çıkış bulanıklığı hatası(C_e) bulanık küme sınırları.....	47
Tablo III.7 Çıkış Bulanıklığı Hata Farkı (dC_e) Bulanık Küme Sınırları.....	48
Tablo III.8 Çıkış Bulanıklığı Referans (C_{ref}) Bulanık Küme Sınırları.....	48
Tablo III.9 Bulanık Kontrolör Kuralları Tablosu	48
Tablo IV.1 Farklı Sabit Alum Dozlarında Filtrasyon Deney Sonuçları	60
Tablo IV.2 Zeki Kontrollü Alum Dozunda Filtrasyon Sonuçları.....	60
Tablo Ek A.1 Hach 1720D Türbidimetresinin teknik özellikleri	70
Tablo Ek A.2 Pvb-Sense Basınç Algılayıcısı teknik özellikleri.....	70
Tablo Ek A.3 Kobold Debimetre.....	70
Tablo Ek C.1 Kum Analizi Üniformluk Katsayısının (UC) Bulunması	73
Tablo Ek D.1 L Tp ve A değerleri	77

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

Günümüzde içilebilir su kaynaklarının gittikçe azalmasıyla, önem kazanan su arıtma sistemleri prensip olarak; su içinde bulunan insan sağlığına zararlı olabilecek parçacıkların yumaklaştırılıp çökeltilmesi ve süzülmesi ile, su bulanıklığının giderilmesi ve klor benzeri katkılarla, mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi esaslarına dayanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, derin yataklı hızlı kum filtreleri gittikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Arıtma sistemlerinin işlevi konusunda daha temel nitelikte bilgiler içme suyu ve atık su arıtma ile ilgili temel kitaplarda bulunabilir [1, 2, 3, 4].

Bir filtrenin çalışması, ham suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri ve debisi gibi pek çok etkene bağlı olarak değişmekle birlikte, aynı şartlar altında bile, her zaman aynı çalışma karakteristiğini göstermemektedir [1]. Bu gibi bir filtreden beklenen verimin alınması; çıkış bulanıklığına göre kimyasal madde ilavesinin isabetli olmasına ve sürekliliğine bağlıdır. Filtrenin her zaman aynı performansı göstermediği deneyimlerle tespit edildiğinden, manuel yöntemle istenilen düzeyde verimin alınması mümkün olamamaktadır.

Son yıllarda, endüstriyel alanda ‘zeki kontrol yöntemleri’ kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle, doğrusal olmayan, zamanla değişen, karmaşık veya tam modellenemeyen sistemlerin kontrolünde, zeki kontrol yöntemleri tercih edilmektedir. Zeki kontrol yönteminin önemli bir dalı olan bulanık mantığa (fuzzy logic) dayalı bir kontrol yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçların, geleneksel kontrol yöntemlerine göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir [5].

I.2. AMAÇ

Bu çalışmada, derin yataklı hızlı kum filtreli deney setinde, direkt filtrasyon ve zeki kontrol yöntemleri uygulanmıştır. Filtre dinamiğine uygun kimyasalın verilmesi ile filtre debisi ve ham su bulanıklığı gibi çıkış suyu kalitesini doğrudan etkileyen parametrelere (bozucu etki) karşı çıkış suyu bulanıklığının istenilen kalitede sabit tutulması ve buna bağlı olarak filtre süresinin maksimuma çıkarılması amaçlanmıştır.

Derin yataklı hızlı kum filtresi setinde zeki kontrol yönteminin uygulanması ile aşağıda belirtilen hedefler öngörülmüştür:

- filtre çıkış suyunun istenilen kalitede tutulması,
- optimum kimyasal kullanımı,
- yeterli filtrasyon süresinin sağlanması,
- filtre performansının artırılması,
- kontrol ve çevre alanında eğitime, akademik ve endüstriyel çalışmalara katkının sağlanması.

Bu amaçları gerçekleştirmek üzere, M.Ü. Mühendislik Fakültesi C Binasında bir direkt filtrasyon seti kurulmuştur. Deney seti derin yataklı filtre sütunu, ham su seti, ölçüm ve kontrol elemanları, pentium-I bilgisayar, 3 adet DAS kartı ve arabirimler ve pompa ve sürücüler olmak üzere altı ana kısımdan meydana gelmiştir.

Filtre seti, gerçekleştirilen donanım ve yazılım ile iki ayrı işlem modunda otomatik olarak çalıştırılabilmektedir. Filtrasyon işlemi ile istenilen kalitede su arıtımı sağlanmaktadır. Geri yıkama işlemi ile de, filtrasyon süresince askıdaki maddeleri tutan filtre yatağının temizlenmesi sağlanmaktadır.

Bu tezde yapılan çalışmalar, bölümler bazında aşağıda özetlenmiştir:

Bölüm I'de, gerçekleştirilen çalışmanın amacı hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm II'de, filtrasyon ve kontrolü hakkında teorik ve uygulamaya dönük temel bilgiler verilmiştir.

Bölüm III'de, tez çalışması boyunca gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmıştır. Hızlı kum filtresi seti ve bu sette yer alan donanımlar bu bölümde etraflıca tanıtılmıştır. Filtre yatak ortamının seçimi ve analizi verilmiştir. Hızlı kum filtresi otomasyon programı ve kontrolörün tasarımı anlatılmıştır.

Bölüm IV'de filtre davranışını belirlemek ve kontrolünü gerçekleştirmek üzere yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir.

Bölüm V'de ise, sonuçlar tartışılmıştır. Değerlendirme yapılarak önerilerde bulunulmuştur.

Ekler kısmında, , ölçüm elemanlarının teknik özellikleri, yük kaybı hesabı, kum analizi, K_1 integral katsayısının belirlenmesi ve zeki kontrolör yazılımı verilmiştir.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1.GİRİŞ

Bu bölümde, filtrasyonun amacına ve gelişim sürecine değinildikten sonra filtre teorisi ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Filtrenin çalışma prensibi, tasarım parametreleri, filtrelerin sınıflandırılması özet halinde verilirken, filtrasyonda koagülasyonun yeri ve etkisi bir çok araştırmacının görüşleri ile irdelenmiştir. Filtrelerde kontrolün öneminden, nasıl yapıldığından ve kontrol edilebilecek değişkenlerden bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının kontrol kısmına yönelik olarak aynı şekilde, zeki kontrolle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Özellikle, zeki kontrolün önemli bir dalı olan bulanık kontrol üzerinde durulmuştur. Geliştirilen deney setinin uygulamalı eğitime katkıları irdelenmiştir. Son olarak, filtrelerde kontrol uygulamalarına göz atılarak zeki kontrole ilişkin önceki çalışmalar irdelenmiştir.

II.2. FİLTRASYON

Filtrasyon, suda bulunan askıdaki maddelerin uzaklaştırılması için suda ve atık suda yaygınca kullanılan bir ünite işlemidir [1]. Su arıtımının temel amacı uygun bir maliyette içilebilir, sağlıklı ve lezzetli su üretmektir [6]. Su arıtımında öncelikle aşağıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesi esas alınır.

- Suda bulunan askıdaki maddelerin ve az da olsa mikroorganizmaların uzaklaştırılması,
- Organik maddelerin okside olmasını sağlamak ve mikrokirleticilerin uzaklaştırılmasını sağlamak,
- Demir, mangan ve amonyumun okside edilmesi [7].

Filtrasyon işleminde, ham su filtre ortamından geçirilir ve askıdaki maddeler filtre yüzeyinde ya da filtre derinliği boyunca birikirler. Filtreler uygun tasarım parametreleri kullanılmak kaydıyla, tüm büyüklükteki deniz yosunları, kolloid

yapıda olan kil ve humik bileşenler, virüsler ve asbest liflerin uzaklaştırılmasında etkili bulunmuştur [1].

Su kaynaklarının arıtılmasında, filtreler konusunda modern mühendislik uygulamaları 18. yüzyılda başlar. Filtrasyonda ilk patent 1746 tarihinde Paris’de kabul edilmiştir. İçme suyu kaynaklarında filtrelerin ilk kullanımı, 1804 ‘de İskoçya’da gerçekleşmiştir. Ardından, 1829’da İngiltere’de kum filtreleri kurulmaya başlandı [1].

Direk filtrasyon çalışmaları, 20. yüzyılın hemen başlarında görülmeye başlanmıştır. Culp’a göre direkt filtrasyon, 1900’lerin başları boyunca araştırıldı. Fakat filtre yataklarının hızla tıkanmasından dolayı yapılan teşebbüsler başarılı değildi. Kömür kum karışımı kullanılarak yapılan değişikliklerle, 1964’ün başlarında Toronto şehrinde işletilen su arıtma sistemi için, direk filtrasyon yönteminin başarılı olduğu kanıtlandı [8].

İçme suyu arıtmasının en önemli işlemi filtrasyondur. Temel arıtma prosesi, filtrasyondan önce, koagülasyon, yumaklaştırma ve çöktürme aşamalarını içerir.

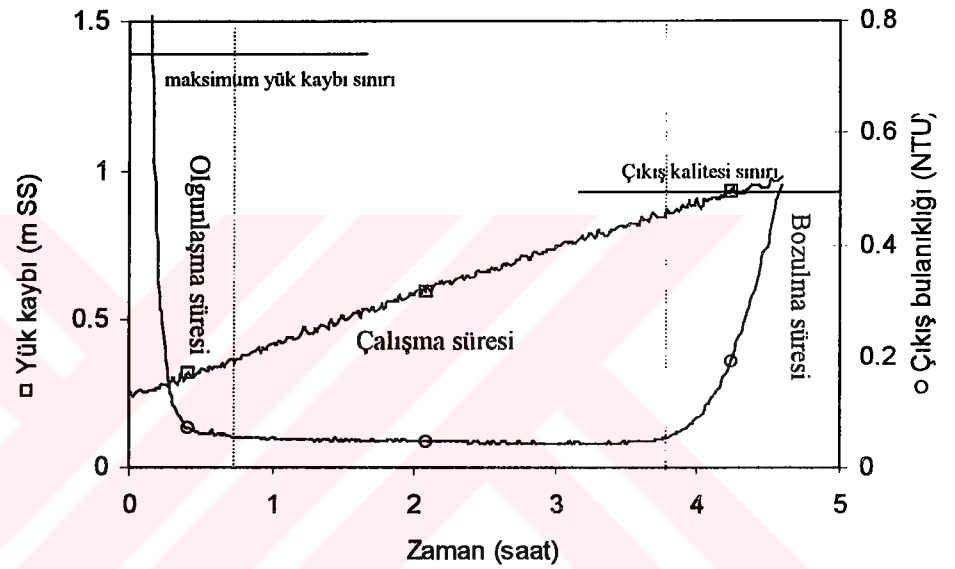
Filtrasyon yöntemine göre, filtrasyon sistemlerinde geniş dane çapı aralıklarında filtre malzemesi kullanılmaktadır. Genellikle kum, antrasit, kömür veya mangan gibi daneli (granular) malzemeler kullanılmakta olup dane çapları 0.1 den 10 mm’ye kadar değişmektedir[1].

Su berraklığını azaltan askıdaki maddeler genellikle ışık saçınım teknikleriyle ölçülür. Koagülasyon ve çöktürme ile nadiren giderilebilen askıdaki maddeler ve mikrobik unsurlar, filtrasyon işlemi ile büyük ölçüde giderilerek toplam su kalitesi iyileştirilebilmektedir [1].

Filtrasyon esnasında kirleticilerin filtre giriş yüzeyinde ve yatak derinliğince birikmesi, basınç artışına sebep olur. Filtre, müsaade edilen hidrolik basınca ulaşıncaya ya da çıkış bulanıklığı kalitesi bozuluncaya kadar çalıştırılır. Filtre yatağı, kısa süren geri yıkama işlemi ile temizlenir ve tekrar filtrasyona geçilir. Kirli filtrelerin temizlenmesi için en genel yöntem, arıtılan su ile geri yıkama yapmaktır. Geri yıkama işleminde, filtre ortamı alttan yukarı doğru belirli bir hızda akışkan hale getirilerek filtre yatağında biriken kirleticilerin sökülüp atılması sağlanır. Geri yıkamada hava kullanımı Avrupa’da başlamış olup ABD’de son yıllarda tatbik edilmektedir. Geri yıkamada malzeme kaybı olmaması esastır. Geri yıkama işlemi genellikle 3-5 dakika sürer. Konvansiyonel arıtma tesislerinde geri yıkamada kullanılan su, toplam filtre edilmiş suyun %1-%2’si arasında olmalıdır [7].

II.2.1 Derin Yataklı Filtrasyon

Şekil II.1’de, 30 mg/l’lık sabit alum dozunda ve 11.5 m/saat’lık sabit filtre hızında yapılan filtrasyon deney sonucu verilmiştir. Derin yataklı filtrasyon Şekil II.1’de gösterildiği gibi, üç farklı aşamadan meydana gelir [9, 10]. Olgunlaşma süresi olarak adlandırılan birinci aşama, Şekil II.1’de görüldüğü gibi yaklaşık 45 dakika sürmüştür. Olgunlaşma süresi filtrasyon süresinin kısa bir dilimini oluşturur ve genellikle bir saat ya da daha az bir süredir. Bu aşamada, filtre verimi zamanla artar [10].



Şekil II. 1 Filtrasyon Aşamaları

İkinci aşama, olgunlaşma süresinden itibaren başlayan çalışma süresidir ve bu deneyde 3 saat sürmüştür. Üçüncü aşama, çıkış bulanıklığının yükselmesi ile başlayan bozulma süresidir. Bozulma süresi önerilen çıkış kalitesi sınırına kadar yaklaşık 45 dakika sürmüştür. Bu aşamada filtre verimi zamanla azalır.

Şekil II.1’de görüldüğü gibi, çıkış bulanıklığı eğrisi nonlineer iken yük kaybı yaklaşık lineer olarak değişmiştir. Bu nonlineer eğrinin her aşamasının süresini ve bulanıklık değerini matematiksel olarak tanımlama, filtrasyon teorisinin önemli bir problemidir [9, 10, 11]. Bu konuda yoğun çalışmalar hala devam etmektedir.

II.2.2 Filtre Tasarım Parametreleri

Filtrasyon olayını daha iyi anlayabilmek için, temel filtre tasarım parametrelerinin gözden geçirilmesi faydalı olabilir. Bu nedenle, filtrasyon süresinin tasarım parametrelerine bağlılığı, özet halinde Tablo II.1’de gösterilmiştir [1].

Tablo II.1 Filtrasyon Süresinin Tasarım Parametrelerine Bağlılığı

Parametre	çıkış kalitesi	maksimum yük
Artışı	sınırına varış süresi (t_1)	kaybına varış süresi (t_2)
d_m	Azalı	Artar
L	Artar	Azalı
Q/A	Azalı	Azalı
C_o	Azalı	Azalı
Flok kuvveti	Artar	Azalı
Birikme	Azalı	Azalı
yoğunluğu	Azalı	Artar
Gözeneklilik		

Tablo II.1’de verilen parametrelerden

d_m , ortam malzemesi dane çapını,

L, filtre yatak derinliğini,

Q, filtre debisini,

A, filtre yatağı kesitini,

C_o , çıkış suyu bulanıklığı,

t_1 ve t_2 sırasıyla, çıkış suyu bulanıklığı kalitesi sınırını ve müsaade edilen maksimum yük kaybına varış sürelerini

ifade etmektedir. Tablo II.1’in birinci sütunda yer alan tasarım parametrelerin artışı durumunda, varış süreleri (t_1 ve t_2) **Azalı/Artar** olarak ifade edilmiştir.

II.2.3 Filtrasyon Mekanizması

Filtrasyon işleminde, askıdaki maddelerin uzaklaştırılması esnasında henüz tam olarak açıklanamayan ve üzerinde araştırmacılar tarafından fikir birliği sağlanamayan olaylar cereyan etmektedir. Filtrasyon mekanizması ile ilgili geliştirilen yaklaşımlar dört ana grupta incelenebilir: Bunlar filtre ortamının biriktirme verimi (collection efficiency), taşınma (transport), eklenme (attachment) ve ayrılma (detachment) mekanizmalarıdır [1].

Filtre ortamının biriktirme verimi, kirleticilerin filtre ortamı yüzeyine birikmesi ve açık gözeneklerin kapanma oranına bağlıdır.

Taşınma mekanizması, kirleticilerin filtre ortamı yüzeyine ulaşması için akış çizgilerinden sapması olayını açıklar.

Eklenme mekanizması, askıdaki maddenin yüzey yükü ile ortam malzemesi yükünün zıt olması durumunda gerçekleşir. Eğer kolloid parçacıklar yeterince yapışkanlı hale getirilmişse veya daha teknik deyimle yeterince nötr hale gelmişlerse, ortam yüzeyine yapışırlar [1].

Ayrılma mekanizması, parçacıkların yüzeye tutulmasını sağlayan yüzey kimyasal kuvvetlerine karşı, kesme kuvvetleri (shearing forces) daha baskın geldiğinde, biriken katıların tedrici olarak ayrıldığını ve tekrar arıtılan suya katıldığını ifade eder. Bu olgu Stein (1940), Mintz (1966) ve Kavanaugh (1974) gibi bir takım araştırmacılar tarafından incelenmiştir [1].

II.2.4 Filtrasyon Hidroliği ve Dinamiği

Filtrasyon boyunca, filtrede oluşan yük kaybı, filtre yatağı derinliğince biriken askıdaki maddelerin dağılımı ve bulanıklık değişimi üzerinde bir çok model geliştirilmiştir [1, 2, 3, 4,]. Genel bilgi kapsamında, bu modellerin birkaçına aşağıda değinilmiştir.

Darcy, filtre akışının filtrasyonun bütün aşamalarında düzgün (laminer) aralıkta kaldığını ve basınç farkının akış hızına bağlı olarak oluştuğunu gözlemlemiştir [7]. Darcy çalışmasında, filtre yatağındaki basınç farkını, filtre hızı, yatak derinliği ve suyun viskozitesi ile doğru orantılı olarak formülleştirmiştir.

Carman ve Kozeny, düzgün akışlarda filtredeki yük kaybını hesaplamışlardır. Geliştirdikleri yük kaybı denklemine göre, yük kaybı sıcaklıkla ters orantılı olup laminer aralıkta filtre hızı ile doğru orantılıdır. Filtre malzemesi küçük çaplı seçilirse filtrenin askıda madde (AKM) tutma verimi artarken yük kaybı hızla artar ve filtrasyon boyunca sürekli değişen yatak porozitesine karşı oldukça duyarlıdır. Filtredeki akışın geçiş ya da türbülanslı bölgede olması halinde Carman-Kozeny denklemi yerine Sabri Ergun denkleminin kullanılması daha uygundur [2, 7].

Granular filtrelerde filtre derinliğince birim hacimdeki birikme, kütle korunumu prensibi ile açıklanmıştır [1, 2]. Filtrasyon işlemi sırasında askıdaki maddelerin yatak gözeneklerini tıkaması ya da daralması ile su kalitesinde bir iyileşme sağlanmaktadır. Ancak, bu durum filtredeki geçirimsizliğin azalmasına ve akış direncinin (yük kaybının) artmasına sebep olmaktadır.

Filtredeki bulanıklık, yatak derinliği boyunca üstel olarak azalmaktadır [1]. Bu değişim, filtre katsayısı ile doğru orantılı olup birinci derece denklemi ile modellenmiştir [1, 3, 4].

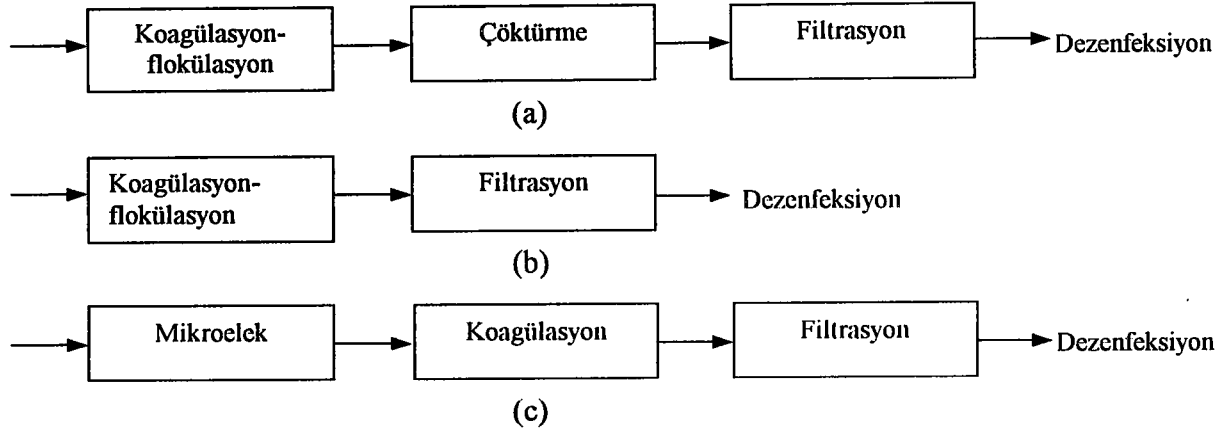
II.2.5 Filtrelerin Sınıflandırılması

Filtreler kullanım amaçlarına ve maliyetlerine göre çeşitli sınıflara [7] ayrılır. Tablo II.2’de, filtrasyon hızı, yapı ve hidrolik şartları, debi ve kullanılan yatak malzemesine göre filtrelerin sınıflandırılması yapılmıştır.

Tablo II.2 Filtrelerin sınıflandırılması

SINIFLANDIRMA KRİTERİ	İSİMLENDİRME	ÖZELLİĞİ
Filtrasyon hızı	• Yavaş filtreler • Hızlı filtreler	• Düşük hızlıdır (0.1-0.5 m/saat). • Yüksek hızlıdır (5-15 m/saat).
Yapı ve hidrolik	• Yerçekimli filtreler • Yukarı akışlı filtreler • Basınçlı filtreler	• Üstü atmosfere açık şekilde çalışır. • Su girişi alttandır. • Su basınçlı olarak girer ve çıkar. (25 – 50 m/saat)
Debi	• Sabit debili filtreler • Azalan debili filtreler	• Filtre hızı filtre süresince sabittir. • Filtre hızı yük kaybına bağlıdır.
Malzeme cinsi	• Kum filtreleri • Antrasit kömürlü filtreler • Çok malzemeli filtreler • Diatomit filtreler	• Filtre malzemesi kumdur. • Filtre malzemesi antrasittir. • Kum ve kömür gibi birden fazla malzemelidir. • Askıdaki madde filtre yüzeyinde tutulur.

Su arıtımında filtrelerin genel uygulamaları Şekil II.2’de blok diyagram halinde sınıflandırılmıştır.



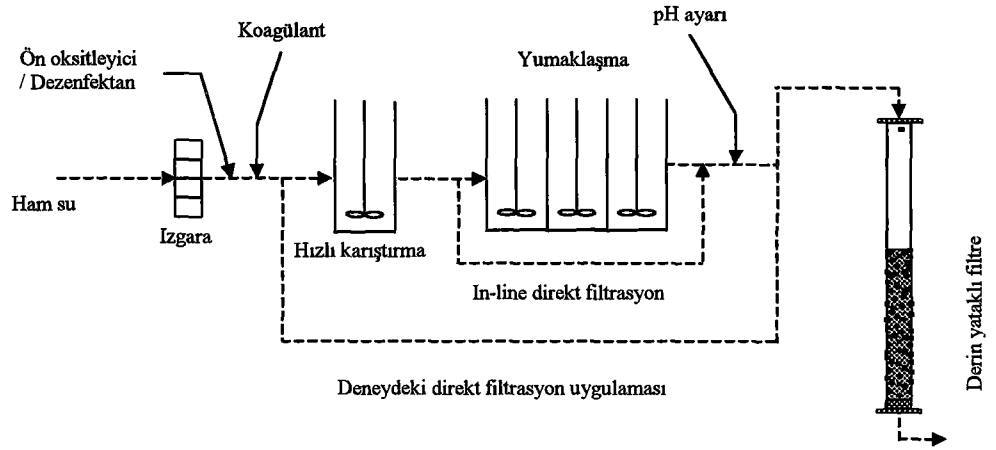
Şekil II.2 Su Arıtımında Filtrelerin Genel Uygulamaları, (a) Konvansiyonel, (b) Direkt filtrasyon, (c) Konvansiyonel olmayan [1].

II.2.6 Direkt Filtrasyon

Direkt filtrasyon, koagülant ekleme, çöktürmesiz yumaklaşma ve filtrasyon aşamalarından meydana gelir. Bütün katı maddelerin filtre içinde birikmesi yönü ile diğer konvansiyonel proseslerden farklıdır. Bu olumsuz şartlara rağmen, çıkış bulanıklığı düşük olmalı ve yük kaybını azaltmak için kum dane çapı büyük olması gerekir [8].

Yüzey suları için kullanılan direkt filtrasyon uygulamalarında, küçük çapta da olsa farklılıklar olabilmektedir. Şekil II.3'de gösterildiği gibi bu tez çalışmasında, alum direkt olarak filtreye dozlanarak, literatürdeki uygulamalardan daha farklı bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Direk filtrasyonla, çöktürme aşamasının kaldırılması vurgulanır [3]. Sürekli düşük partiküllü renk, tat ve kabul edilebilir sertlikli su, genellikle çöktürme prosesi olmadan arıtılabilir ve koagülasyon ve yumaklaşma proseslerini takiben filtrasyon yapılabilir. Bir kısım araştırmacı, direkt filtrasyondan önce ön yumaklaşmanın gereksiz olduğunu hatta performansa zarar verdiğini tespit etmiştir [12]. Daha küçük (filtre edilebilen flok) ve çabuk çökebilen flok oluşumunu arttırmak için, genellikle daha az koagülant kullanılır. Ayrı bir yumaklaşma birimi filtreden önce gelebilir ya da yumaklaşma filtre içinde olabilir [3]. Direkt filtrasyon uygulamalarında yukarıda belirtilen farklılıkların daha iyi görülmesi amacıyla Şekil II.3'de direkt filtrasyon şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil II.3 Direkt Filtrasyon Şematik Diyagramı [13, 14]

Kamu su kaynaklarının direkt filtrasyonu, gittikçe daha fazla kabul gören bir arıtma seçeneği olmuştur. Konvansiyonel arıtma işlemleri ile karşılaştırıldığında, direkt filtrasyon parasal maliyetleri düşürmüş, saha ihtiyacını küçültmüş, ve çamur miktarlarını azaltmıştır [15]. Direkt filtrasyonda çöktürme aşamasının yer almaması ile, konvansiyonel tesislere göre %30-35 maliyet tasarrufu sağlanabilir [8]

Çöktürmeye gerek duyulmadan 80 mg/l'dan daha az askıda katılar ihtiva eden ham sular için problemsiz direk filtrasyon mümkündür [16].

Netice olarak, çöktürme gerekmediğinden ve çabuk çökebilen küçük flokların oluşumu amaçlandığından, genellikle daha düşük koagülant dozları kullanılmaktadır. Bu yüzden direkt filtrasyondaki kimyasal madde ve atıklarının uzaklaştırılma maliyetleri düşüktür. Ayrıca, direkt filtrasyonda, çöktürme (veya bazen yumaklaşma) kullanılmadığı ve bakım gerektirmediği için, düşük işletme ve bakım maliyeti söz konusudur [17].

II.2.7 Direkt Filtrasyonda Koagülasyon

Bu kısımda koagülasyonun anlamı, filtrasyona etkisi ve önemi literatür ışığında açıklanmıştır. Çıkış bulanıklığı kontrolü koagülant dozu ayarı ile gerçekleştirildiğinden, yapılan çalışmaya koagülasyon ile kontrol denilebilir.

Koagülasyon, kolloid (mikroskopik) parçacıkların kararsız hale getirilmesi işlemidir [3]. Hızlı kum filtreleri için anahtar işlem basamağı koagülasyondur [18]. Yüzey suları normal olarak, bulanıklığı, rengi, tat ve kokuyu üreten bileşenleri yok etmek için kimyasal koagülasyon gerektirir [2].

Kimyasal dozlamanın kirleticilerin giderilmesinde ve yük kaybı üzerindeki etkisi ile ilgili bir çok deneysel çalışma raporu vardır. Rapor sonuçları, direk filtrasyonda yabancı parçacıkların yeterince giderilebilmesi için, uygun kimyasal dozun kritik olduğunu göstermektedir [8]. Koagülasyon için en etkili faktörün katkılı veya katkısız uygun bir koagülant dozu olduğu bir çok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir [6, 19].

Hatukai [20], direkt filtrasyon işlemi boyunca askıdaki maddeleri uzaklaştırma verimini, preoksidant türü alum dozu oranının ve katyonik polimerin diğer proses parametrelerinden daha fazla etkilediğini, pilot tesis deneyleri ile göstermiştir. Başka araştırmada alum etkisi yanında, filtre ortamı dane büyüklüğünün yatak gözenegine küçük bir etki yaptığı rapor edilmiştir [8]. Dolayısıyla dane büyüklüğünün koagülant etkisine göre, filtrasyonu fazla etkilemediği vurgulanmıştır. Alum dozunun ön ozonlama yapılmadan ve 20 dakika periyotlu yumaklaşma ile, etkili parçacık oluşumu sağladığı tespit edilmiştir [21].

Koagülasyona etki eden 5 değişkenden (başlangıç pH'ı, başlangıç bulanıklığı, alum dozu, ön ozonlama dozu, yumaklaşma) çözülmüş organik maddenin giderimine etki eden baskın faktörün alum dozu olduğu deneysel çalışmalarla belirlenmiştir [22].

II.2.8 Direkt Filtrasyon ve Kontrol

İçme suyu temin edilen kaynaklar yüzey suları ve yer altı suları olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Nehirler, göller akarsular, göletler ve baraj suları yüzeysel su kaynaklarını oluşturur. Nehir veya akarsular su kalitesinde ani değişikliklerin yaşandığı yüzeysel su kaynaklarıdır. Şiddetli yağmurlar veya bahar yağmurları bulanıklık ve diğer parametrelerde değişiklikler meydana getirirler. Bu durum, arıtma proseslerinin ana problemlerinden olup araştırmacıları çözüm bulmaya yöneltmiştir [23].

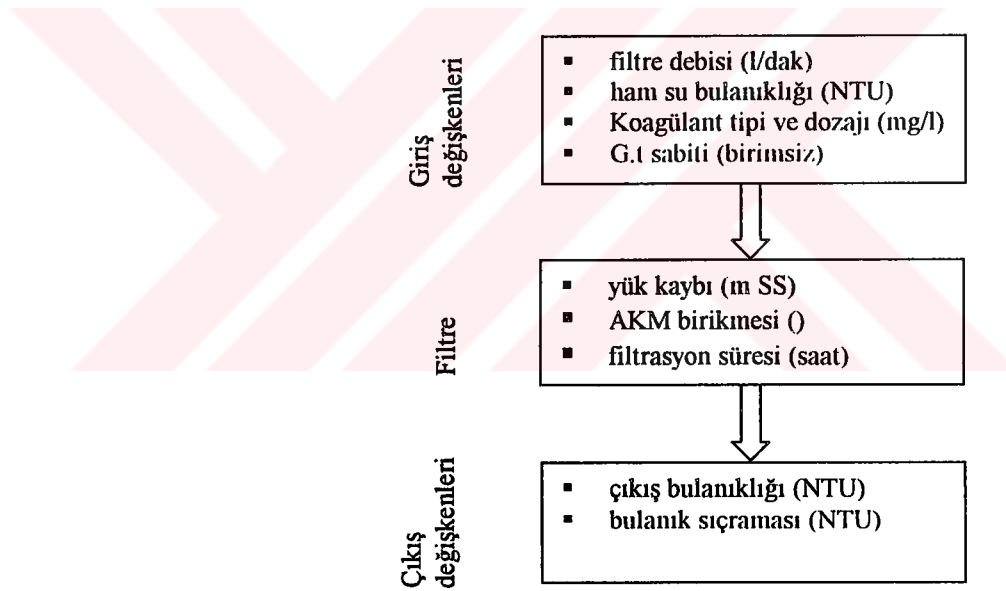
Yüzey sularının su kalitesi açısından başlıca sorunları özet olarak; partikül içeriği, rengi, tadı, kokusu ve mikrobiyolojik içeriği olarak özetlenebilir. Bu sorunlar mevsimlik olarak değişiklik gösterdiklerinden yüzey sularının arıtımında otomatik kontrol sistemlerin tesis edilmesi hiç şüphesiz harcanan enerji ve maliyet açısından önemli kazançlar sağlar [17].

Yüzey suları kaynaklarının hızlı filtrasyonu halk sağlığını korumada önemli bir aşama olarak kullanıldığına göre, bu işlemin olumlu ve olumsuz (kuvvetli ve zayıf) tarafları iyi tanıtılmalıdır. Örneğin, filtrasyonun başında ve filtrasyon sonuna doğru

ıkış kalitesi düşük olmaktadır. Buna ek olarak, kirleticilerin yoğun olduğu bir filtrede, filtre hızındaki ani artış çıkış bulanıklığının bozulmasına sebep olabilir. Bu durum, **Giardia** kisti olan bölgelerde tehlike oluşturabilir [18, 23].

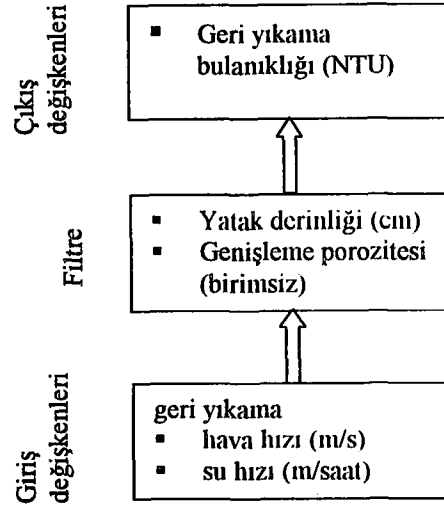
Kimyasalın su ile karıştığı ortamda, kimyasal ve su hızlarının farklılığından **G.t** sabitine bağlı oluşan floklaşma bulanıklığı etkileyen parametrelerdendir. [8]. **G.t** sabiti, filtre hızı, yük kaybı ve viskoziteye bağlıdır ve çıkış suyu bulanıklığı kontrolünde giriş değişkeni olarak kullanılabilir. Filtrasyon alanındaki sorunların mnde başlıca kontrol edilebilen parametre ve değişkenler arasında bulanıklık, debi, geri yıkama hızı ve iletkenlik sayılabilir.

Filtrasyonda etkili olan **giriş, durum ve çıkış değişkenleri** şekil II.2’de blok diyagramı halinde gösterilmiştir.



şekil II.4 Filtrasyon Değişkenleri

Aynı şekilde, geri yıkamada etkin olan giriş ve durum ve çıkış değişkenleri şekil II.5’de gösterilmiştir.



Şekil II.5 Geri yıkama değişkenleri

Ham suyun değişken olmasından dolayı, optimum koagülant dozunun seçimi zordur. Aşırı dozlama, maksimum yük kaybı ve çıkış bulanıklığının bozulma zamanına daha erken ulaşılmasına sebep olur. Az dozlama ise, filtrasyon boyunca filtrasyon kalitesinin düşük kalmasına sebep olur.[23]

Su arıtımında koagülant kontrolü yanında geçmişten günümüze gelen klasik debi kontrolü teknikleri önemli bir yer tutar. Filtre debisi kontrolü, sabit ve azalan debili olmak üzere iki şekilde uygulanmıştır.

1. Sabit debi kontrolü

Geçmişte genellikle sabit debi kontrolü kullanılmıştır. Bu tip kontrolde, her bir filtreye su girişi filtre su seviyesinin altındadır ve miktarı sınırlandırılmaz. Debi kontrol sistemi filtre çıkış hattında bulunur. Bu kontrol sistemi ile, filtre hızına bağlı olarak seçilmiş bulunan sabit debiyi sağlamak için kontrol vanası otomatik olarak ayarlanır.[7]

2. Azalan debili filtre kontrolü

Azalan debili filtrasyonda filtre yük kaybı artışına karşı, filtre debisi zamanla azaltılarak yük kaybının sabit kalması sağlanır. Bu tip kontrolde yük kaybı eğrisi testere dişli eğriye benzer [7].

Gerçekleştirilen pilot setinde, yük kaybının sabit tutulmasıyla azalan debili filtrasyon deneyleri gerçekleştirilebilir. Bunun için filtre girişindeki kontrol valfi kullanılır.

Sonuç olarak, yabancı parçacıkların etkili bir şekilde uzaklaştırılmasında uygun bir koagülant tipi yanında koagülant dozunun en uygun kullanımı gerekmektedir. Filtrasyon boyunca en uygun alum dozu ve debi kontrolü manuel yöntemlerle güvenilir ve pratik bir biçimde sağlanamadığından, bir kontrol algoritmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kontrol sistemi tasarımında çoğu kez sistemin matematik modeline ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada, hızlı kum filtresinin gerçeğe uygun matematik modelinin oluşturulması çok güç ya da çoğu kez mümkün olmadığı için, zeki tabanlı kontrolör kullanımı tercih edilmiştir. Bundan sonraki kısımda tercih edilen zeki kontrol yönteminin tanıtımı yapılmıştır.

II.3 ZEKİ KONTROL

Zeki kontrol insanın düşünme yeteneğini model alarak verilerden bilgi çıkarımını hedefler. Zeki kontrol insan ya da bilgisayar destekli olabilir. Zeki kontrolün arkasında diğer klasik kontrol yöntemlerinde olduğu gibi geri besleme kavramı vardır. Klasik ve zeki kontrol arasındaki en temel fark [24], klasik kontrolün matematik model yapılı, zeki kontrolün ise, veri tabanlı olmasıdır.

Zeki kontrolü gerektiren durumlar, ortamdaki parametrik belirsizlikler, ölçülemeyen bozucu etkiler ve değişen referans modelleri ve performans kriterleridir. Karmaşık ve nonlinear problemlerin çözümünde bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi kural tabanlı zeki kontrol yöntemleri geliştirmiştir. Bulanık modeller her sisteme uygulanabilir olmasına rağmen, problemin matematik modelinin elde edilmesi çok zor ya da imkansız olduğu durumlarda önerilir [25].

Zeki kontrol yöntem bakımından klasik kontrole göre çok daha cazip olabilir. Kullanıcı açısından önemli olan kontrol yönteminin güvenilir ve oturmuş olmasıdır. Buna ek olarak problem çözümünde hızlı olması ve herhangi bir olumsuzluğa meydan vermemesidir.

Bu çalışmada, geçmişte değişik sistemlere uygulanarak alınan başarılı sonuçların verdiği güvenle bulanık mantık yöntemi tercih edilmiştir. Bu nedenle, bundan sonraki kısımda bulanık mantık ve kontrolüne ilişkin temel bilgiler verilmiştir.

II.3.1 Bulanık Mantık ve Bulanık Kontrolör

Klasik mantık yönteminde kesin (crisp) ifade kullanılırken, bulanık mantıkta ifadeler kesin olmayan (bulanık) biçimdedir. Her iki mantık yöntemine aşağıda birer örnek verilmiştir.

Çayı 80 °C'nin üstünde severim.



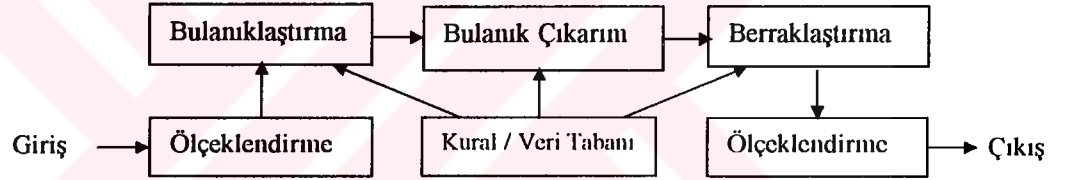
klasik mantık ifadesi

Çayı çok sıcak severim.



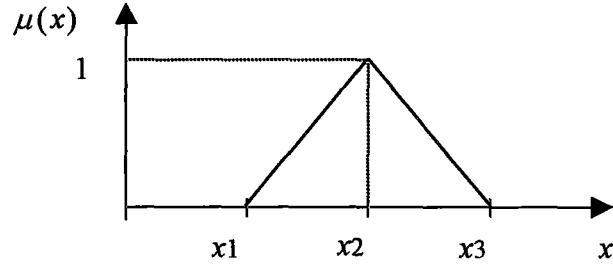
bulanık mantık ifadesi

Bulanık mantık tasarımcının matematiksel modeller yerine, operatörün tecrübesine, sezgisine ve deney sonuçlarına dayanan çok değişkenli kontrolör tasarlayabilmesine imkan verir. Komut olarak dilsel niteleyiciler kullanan bulanık mantık, bir uzmanın sistemi en iyi nasıl kullanması gerekiyorsa o şekilde yönlendirir. Burada sistemin çalışma biçimi, işi insan yapıyormuş gibi mantıksal bir çerçevede cereyan etmesidir. Bir bulanık kontrolörün temel yapısı Şekil II.2'deki gibi gösterilebilir.



Şekil II.2. Bulanık Kontrolörün Temel Yapısı

Gerçekleştirilen kontrolörün tasarımında üçgen üyelik fonksiyonları kullanıldığı için, bulanıklaştırma işlemi Şekil II.3'de gösterildiği gibi sadece üçgen fonksiyonu ile açıklanmıştır. Üyelik fonksiyonlarının şekli ve sayısı ile ilgili seçimde bir sınırlama söz konusu değildir. Bu durum tasarımcının görüş ve tecrübesine bağlıdır [27, 28, 29, 30]. Ancak uygulamalarda genellikle, üçgen, trapez (yamuk) şeklinde fonksiyonlar ya da ikinci veya üçüncü dereceden polinomlar üyelik fonksiyonu olarak kullanılmaktadır [28].



Şekil II.3 Kontrolör tasarımında kullanılan üçgen üyelik fonksiyonu

Şekil II.3’de görüldüğü gibi, x_1 , x_2 ve x_3 üyelik fonksiyonunun sınır değerleridir. Burada, x giriş değişkenine göre, üyelik fonksiyonun göstereceği değerler üyelik derecesi ($\mu(x)$) olarak ifade edilir ve üçgeni oluşturan aşağıdaki doğru denklemleri kullanılarak bulunur.

$$\mu(x) = 0, \dots \dots \dots x < x_1 \quad (\text{II.1})$$

$$\mu(x) = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \dots \dots \dots x_1 < x < x_2 \quad (\text{II.2})$$

$$\mu(x) = \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, \dots \dots \dots x_2 < x < x_3 \quad (\text{II.3})$$

$$\mu(x) = 0, \dots \dots \dots x > x_3 \quad (\text{II.4})$$

Bulanık kontrolör tasarımında ilk önce, giriş ve çıkış değişkenleri belirlenir. Kontrolör, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları, bulanık kurallar ve etki değer tabanından meydana gelir. Kontrolör tasarımı için giriş ve çıkış değişkenleri ve değişkenlere ait ölçeklendirme katsayıları belirlenir. Bulanıklaştırma işlemi için üyelik fonksiyonları kullanılır. Üyelik fonksiyonları bulanık kümeleri oluşturur. Bulanık küme sınırları, deneysel sonuçlara ve tecrübeye dayanarak belirlenir. Kurallar çıkarılır ve uygun bir bulanık çıkarım yöntemi uygulanarak elde edilen veriler, ağırlık merkezi yöntemi [26] ile aşağıdaki gibi berraklaştırılarak (defuzzification) kontrol işareti elde edilir.

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^n u[i] \cdot DOF[i]}{\sum_{i=1}^n DOF[i]} \quad (\text{II.5})$$

Burada,

U_k ,	sayısal kontrol işaretini
n ,	kural sayısını
$u[i]$,	etki değerini (action value)
$DOF[i]$,	gerçeklenme oranını (Degree of Fullfilment, DOF)

göstermektedir. Bulanık kontrolörden elde edilen kontrol işareti, kontrol elemanının işaret girişine uygulanır. Berraklaştırma işleminde, ağırlık merkezi yönteminden ayrı bir çok yöntem kullanılabilir.

II.4 FİTRASYON EĞİTİM SETİ

Filtre deney seti, nitelikli teknik elemanın yetiştirilmesine ve akademik/endüstriyel amaçlara hizmet edecek şekilde tasarlanıp yeniden otomasyona uygun yapılandırılmıştır.

Otomatik kontrole dönük uygulamalarda, öğrenci, kontrolör, örnekleme zamanı, algılayıcı, bozucu etki, referans değeri, gibi bir çok temel kavramın ne olduğunu, uygulama öncesinde alacağı teorik çalışmalarla daha iyi pekiştirecektir. Buna ek olarak türbidimetre, debimetre, solenoid ve elektropnömatik valfların sisteme nasıl bağlandığını ve DAC kartı üzerinden bilgisayarla iletişimin nasıl gerçekleştirildiğini öğrenecektir.

Çevre eğitimi alanlar öğrenciler ise, koagülasyon, bulanıklık, yük kaybı, filtre verimi ve filtre hızı gibi temel filtrasyon kavramlarını filtre eğitim setinde uygulamalı öğrenebilecektir. Filtrasyon için gerekli ön hazırlık ve işlemlerin nasıl yapıldığını öğrenmenin yanında, kimyasalın çıkış bulanıklığını nasıl etkilediğini, flokleşmanın nasıl gerçekleştiğini, filtre süresini etkileyen parametrelerin nasıl değiştiğini on line olarak izleyebileceklerdir.

II.5 KAYNAK BİLGİLERİN İRDELENMESİ

Bu kısımda su arıtımında zeki kontrolle ilgili önceki çalışmalar araştırılmıştır.

II.5.1 Su Arıtımında Zeki Kontrol

Su arıtımında, koagülasyon ve filtrasyon için operatörlerin etkili bir optimum kimyasal birleşimi bulabilmelerine yardım eden kontrol teknikleri araştırması

yıllardır devam etmektedir. Bir çok mühendis, bilim adamı ve diğerlerinin gayretlerine rağmen su hizmeti veren küçük işletmeler için, koagülasyonu ucuz ve kolay kontrol edebilen bir yöntem bulunamamıştır [18].

Cleasby [23], koagülant dozu ayarının zorluğuna dikkat çekmiştir. Doz ayarının deneysel tecrübeye dayandığını ve çıkış kalitesi uygun bir değere getirilene kadar, alum dozunda manuel olarak değişiklikler yaparak optimum dozu yakaladığını ifade etmiştir.

İçme suyu arıtımında zeki kontrolle ilgili bir çalışma 1983'de Fuji Electric firması tarafından yapılmıştır. Mini bilgisayarla gerçekleştirilen bulanık kontrolörle başarılı saha testi sonuçları alınmıştır. Bu çalışmada, insan-makine etkileşimli bir bulanık kontrol sistemi geliştirilmiştir. Çıkış bulanıklığını belirli bir seviyenin altında tutabilmek için, operatör tarafından eklenmesi gereken kimyasal miktarını belirleyerek operatörün yükünü hafifletmeye yönelik bir sistemdir. Tesisin fiziksel bir modeli olmaması ve nehir suyundaki büyük bulanıklık değişimleri ve bulanıklığın doğru ölçülememesi nedeniyle operatörün deneyimi esas alınmıştır. Giriş değişkenleri olarak flok büyüklüğü, filtrasyon süresi, bulanıklık artışı ve ham suyun sıcaklığı ve alkalinitesini kullanmıştır. Operatörün göz tecrübesine göre flokun büyüklüğüne karar verilerek giriş değişkeni değiştirilmiştir. Kimyasal miktarı ayarı, çıkış değişkeni olarak kullanılmıştır [29].

Son yıllarda, zeki yöntemler kullanılarak optimum koagülant dozlama üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Su arıtımında dozlama kontrolü üzerinde Juuso tarafından yapılan [30] bir simülasyon çalışmasında, yeni bir zeki yaklaşım olan dilsel denklemler yöntemi kullanılmıştır. Juuso çalışmasında bir su arıtma prosesinden aldığı verilerden hareketle sabit ve dinamik modeller geliştirilmiştir. Giriş suyunun kalitesi veya miktarı önemli oranda değiştiğinde, statik model tarafından yeni bir çalışma noktası tanımlanabilmektedir. Dinamik model, yeni çalışma noktasında uygun koagülant dozunun tahminini yapmaktadır. Fakat bu simülasyon çalışmasında bir takım sorunların henüz halledilme aşamasında olduğu ve giriş bulanıklığı ölçümünün modele eklenmesi gerektiği kaydedilmiştir.

Üçüncü bir uygulama örneği, bir başka su arıtma tesisinde yapılan kimyasal dozlama kontrolü ile ilgilidir [31]. Bu proses lineer olmayan bir karaktere sahip olup koagülasyon nümerik bir modelle ifade edilememiştir. Bu nedenle, bir çok ölçüme ve operatörün kararına dayanan kestirim (predictive) kontrolü uygulanmıştır. Bu arıtma işleminde bulanık kontrol, operatörün karar şartlarını ve kestirim kontrolü gerektiren

kısımlarına uygulanmıştır. Özellikle, su kalitesinde belirli bir değişim olduğunda ortalama kimyasal doz değerleri, bulanık çıkarım ile belirlenmiştir. Bulanık çıkarım sonuçları, operatör kararlarına ve ayarlamalarına dayanan manuel kontrol ile benzer performans göstermiştir. Çıkış bulanıklığı, bulanık çıkarım yöntemi ile daha düşük değere inmiştir.

Aynı proste başka bir bulanık çıkarım uygulaması daha yapılmıştır [31]. Ağır metalleri ve organik maddelerin ham sudan uzaklaştırılması ve ham suyun dezenfeksiyonu için klor dozlama kontrolü yapılmıştır. Ön klorlama için gerçekleştirilen dozlama prosesinde bazı zorluklar yaşanmıştır. Birincisi, dozlamadan sonraki klorün değişimi, hava, mevsim, güneş ışığı miktarı gibi çevresel etkilere bağlıdır ve nümerik model ile tanımlanamaz. İkincisi, suyun 6 ve 8 saat arası bekletilmesidir. Bu arada proses tarafından çekilen suyun miktarındaki değişiklikler harcanan klor miktarını etkiler. Üçüncüsü, ölçülemeyen bir çok dış bozucular ve giriş faktörleri vardır.

Son uygulama örneği, atık su işlemine ilişkin saha çalışmasıdır [32]. Bu çalışmada, dekanter kontrolü yapılmıştır. Bunun için iki değişken değeri ölçülmüştür: Çamurlu suyun bulanıklığı ve çamurun süzülme derecesini gösteren iletkenlik. Bu saha çalışmasının üç ana amacı vardır. Bu amaçlar: kullanılan polimer çok pahalı olduğundan koagülant miktarını en aza indirmek, buharlaştırma işlemine ihtiyaç duymamak için kalan su içeriğini en aza indirmek ve en fazla önceliğe sahip olan çalışma güvenliğini sağlamaktır. Biyolojik kütle içeriği, üst limitini aşarsa, kontrol hedefi ekonomik durumları dikkate almadan bu içeriği azaltmaya yönelir. Bu prosesin ana amacı minimum polimer kullanılarak, buharlaştırma işlemini en az düzeye indirip dekanter kontrolünü sağlamaktır.

Gerçekleştirilen bulanık kontrolör, üç kural bloğundan meydana gelmiştir. Birinci bloğun çıkışı ikincinin girişine, ikinci bloğun çıkışı ise üçüncünün girişine uygulanmıştır.

Birinci blokta, polimer iletkenlik ilişkisi bulanıklaştırılmıştır. Bunun için iki giriş değişkeni kullanılarak, bulanık çıkarım uygulaması yapılmıştır. Bulanık çıkarımdan elde edilen kontrol işareti ile polimer dozu ayarı yapılmıştır. Giriş değişkenlerinden birisi, bir önceki örneklemede verilen karar sonucu uygulanan polimer miktarı, ikincisi ise çamurun iletkenliğindeki değişim farkıdır. Her iki değişken aynı üçlü dilsel değişkenle bulanıklaştırılmıştır. Bu değişkenler, Negatif

(N), Pozitif (P) ve Sıfır (Z) 'dan meydana gelmiştir. Polimer arttırıldığında, çamur iletkenliği azalır. Birinci bloka ait bir kural örneği aşağıda verilmiştir.

“ Eğer önceki karar sonucundaki polimer miktarı negatif ve iletkenlik farkı pozitif ise, polimer miktarını arttır.”

İkinci kural bloğu son polimer ekleme artışını belirlemek için, çamurlu suyun bulanıklığını ve birinci kural bloğunun çıkışını değerlendirir. Bir başka emici kimyasal (betonite) maddenin ekleme miktarını belirlemek için, üçüncü kural bloğu kullanılır. Üçüncü kural bloğu, ikinci kural bloku gibi bir önceki bloğun çıkışını ve dördüncü bir giriş değişkenini(calledration) kullanır.



BÖLÜM III

TEZ ÇALIŞMALARI

III.1 GİRİŞ

Bu bölümde, karşılaşılan problemlerin çözümünde takip edilen yöntemler, kullanılan araçlar, gerçekleştirilen pilot çalışma ve eğitim setinin donanımında yer alan elemanlar ve derin yataklı filtrenin davranışı anlatılmıştır.

III.2 ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE ARAÇLAR

Tez çalışmasında kullanılan araçlar ve malzemeler, model ve özellikleri ile Tablo III.1’de verilmiştir.

Tablo III.1 Araştırma Araçları

CİHAZ / MALZEME	MİKTARI	ÖZELLİĞİ
PCL-818 HG DAS Kart	3	16 analog giriş, 1 analog çıkış, 16 sayısal giriş ve çıkış, 25 kHz’lik örnekleme hızı [33]
Türbidimetre Hach 1720	2	On-line, 0-1000 NTU (*)
Debimetre Kobold	1	On-line, 0.5-12 l/dak (**)
Rotametre	1	Mekanik, 1-5 l/dak
Basınç algılayıcı	41	Monolitik (***)
Filtre sütunu	1	Pleksi glass, silindir
Santrifüj pompası	1	1φ, 0.36kW, 0.5 HP
Hava kaynağı	1	10 bar
Dozaj pompası	1	3 bar, 3 l/h
Tank	3	1x2000 litre, 2x19 litre
Mikser	1	Mekanik kanat, 3φ, 49 rpm, redüktör
Şamandıra	1	Mekanik aç kapa kontrol düzeni
Pnömatik valf	3	24 V DC ya da 220 AC, 5-15 bar
Solenoid valf	3	24 V DC ya da 220 AC
Küresel vana	2	El kumandalı
Bilgisayar	1	Pentium I-233 Mhz,
Alüminyum sülfat	70 kg	Kimyasal toz

(*), (**) ve (***) için, Ek-A ’da ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Takip edilen araştırma yöntemi tasarım, imalat ve deneye dayalı olmuştur. Özet kısmında ve birinci bölümde belirtilen hedeflerin gerçekleştirilmesinde takip edilen araştırma ve çalışma yöntemi, aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

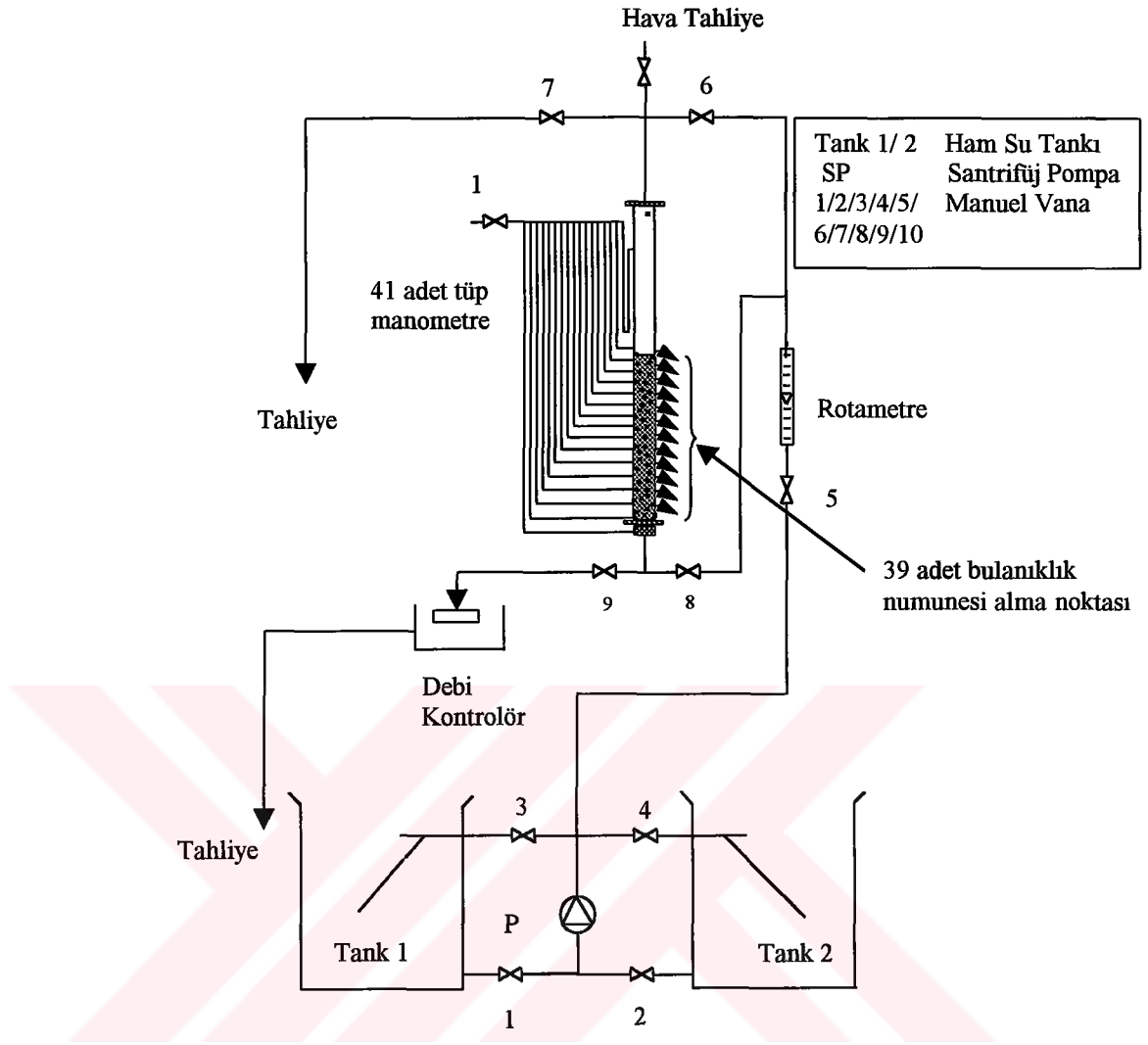
- Literatür taraması ve dokümantasyon,
- Deney setinin tasarımı,
- Deney seti ve ölçümler için gerekli ekipmanların temini,
- Ölçüm ve kontrol elemanlarının sete eklenmesi ve test edilmeleri,
- Ölçüm elemanlarına ait verilerin bilgisayara aktarılması ve veri tabanının oluşturulması,
- Setin otomasyonunu sağlayan yazılımın geliştirilmesi,
- Filtrenin davranışının öğrenilmesi ve değerlendirilmesi,
- Kontrolör algoritmasının geliştirilmesi ve denenmesi,
- Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi ve sonuçlar,
- Genel değerlendirme ve öneriler.

III.3. DERİN YATAKLI FİLTRE SETİ

Bu kısımda, kontrolü yapılacak derin yataklı filtre setinin genel yapısı ve sete eklenen donanımlar anlatılmıştır. Bundan sonraki bölüm ve kısımlarda derin yataklı filtre seti yerine gerektiğinde deney seti ifadesi kullanılmıştır.

III.3.1. Deney Setinin Önceki Durumu

Çalışma konusu olan içme suyu hızlı kum filtresi deney seti, YÖK-Dünya Bankası Endüstriyel Eğitim Projesi çerçevesinde Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında kurulmuştur. Deney seti tamamen manuel düzende çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Filtrenin katalog bilgileri dışında, çalışması hakkında deneye dayalı bir bilgisi mevcut değildi.



Şekil III.1 Deney Setinin önceki durumunu gösteren şematik diyagramı

Deney setinin önceki durumu Şekil III.1’de şematik diyagram şeklinde gösterilmiştir. Bu düzeneyle, 2 lt/dk ’lık sabit giriş debisi ve 2 adet 350 lt’lik ham su tankı ile yaklaşık 6 saat çalışma sağlanmaktaydı. Filtre sütun basınçları manometre sütunları ile ölçülmüştür. Çıkış debisi şamandıra sistemi ile kontrol edilmiştir. Filtrasyon ve geri yıkama işlemleri elle kumanda edilen vanalarla gerçekleştirilmiştir.

III.3.2 Deney Seti Tasarım Değişiklikleri

Geri yıkama tesisatı, mekanik debimetrenin çıkışından filtre sütununun çıkışına bağlı iken, pompa çıkışından direk olarak filtre çıkışına bağlanarak geri yıkama debisi giriş debisinden bağımsız hale getirilmiştir. Yapılan tesisat değişikliğinden

sonra santrifuj pompa daha az yükseğe basacağından, geri yıkama işleminde enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Giriş debisinin kontrol edilmesi için mekanik debimetrenin girişine kontrol valfi bağlanmıştır. Geri yıkama debisi ayarı için, yeni bir küresel vana eklenmiştir. Filtre yatağı basınçlarının başlangıçta negatif değerlere düşmesini önlemek için, filtre çıkışının sonuna küresel vana eklenmiştir. Filtre çıkış valfi sayesinde, filtre statik basınca getirilerek filtrasyon işlemi başlatılabilmektedir.

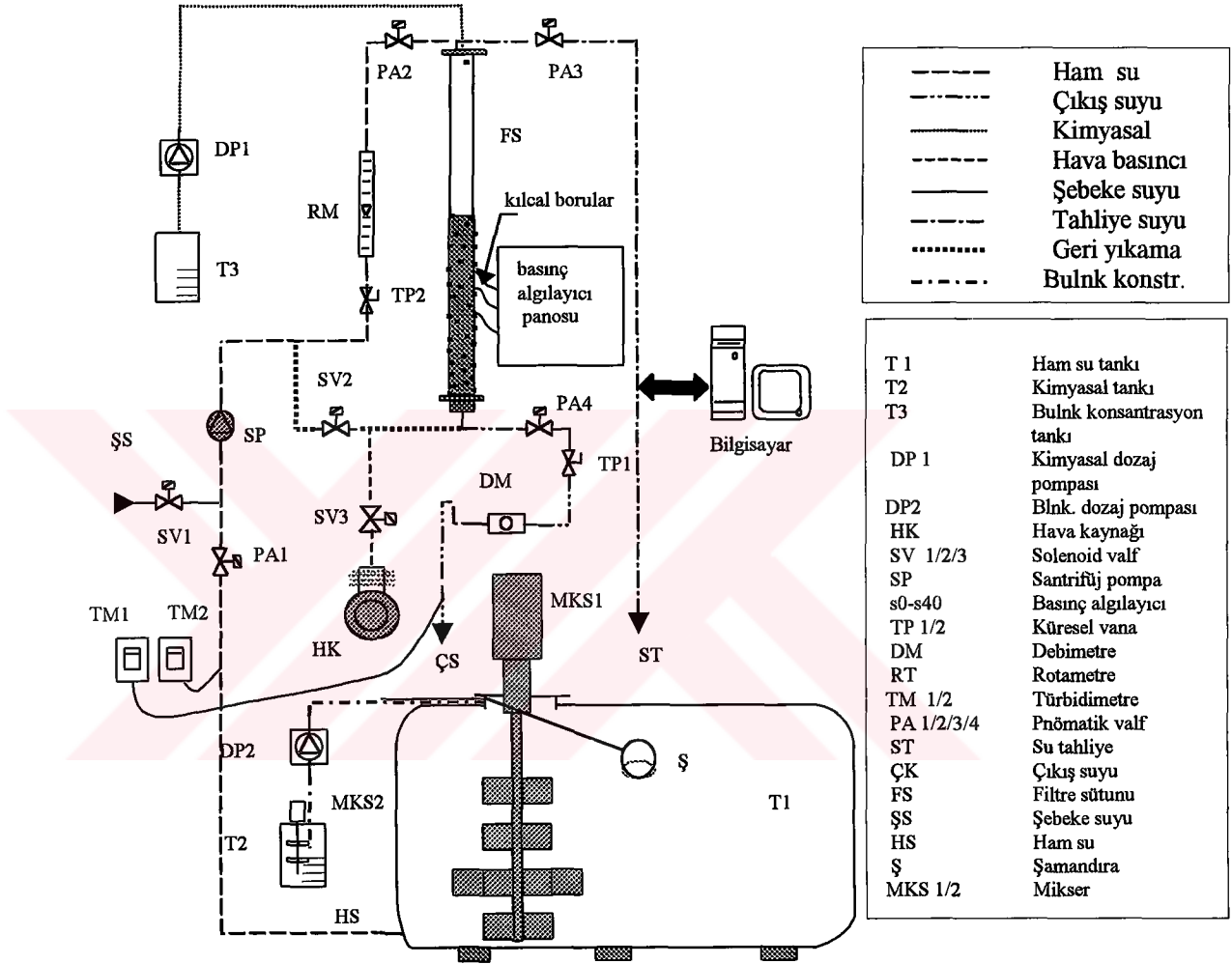
III.3.3. Deney Seti Otomasyonu

Mevcut manuel donanım ile, çalışmamızın konusu olan zeki kontrolün gerçekleştirilmesi mümkün değildi. Bu nedenle, setin tüm tesisatı dahil filtre sütunu ve mekanik debimetre dışındaki tüm elemanları değiştirilmiştir.

Deney setinin tesisatı sökülerek otomasyona uygun yeniden yapılandırılmıştır. Deney setine ham su tankı ve karıştırma seti, bulanıklık konsantrasyonu ve karıştırma birimi, analog basınç algılayıcılar panosu, kimyasal dozlama seti, hava kaynağı ve hava hız ayar valfi, darbe(pulse) çıkışlı debimetre, türbidimetre ve bulanıklık seçici(mux), veri alma/dönüştürme arabirimi, analog sıcaklık algılayıcı, kontrol valfi, elektropnömatik, solenoid ve çek valflar, el kumandalı vanalar, dönüştürücü ve sürücüler, manometre ve su sayacı eklenmiştir.

III.3.4. Deney Seti Donanımı

Bu kısımda, deney setinde yer alan ve eklenen yeni donanımların temel özellikleri ve aralarındaki ilişkiler açıklanmıştır. Gerçekleştirilen deney setinin şematik diyagramı, Şekil III.2'de gösterilmiştir.

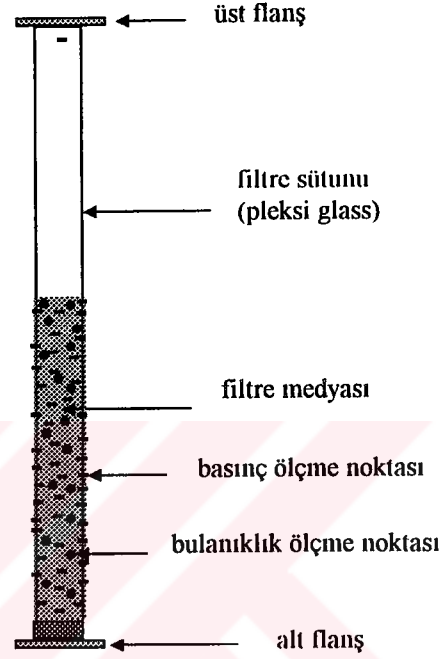


Şekil III.2 İçme Suyu Hızlı Kum Filtresi Deney Setinin Şematik Diyagramı

III.3.4.1 Derin Yataklı Filtre Sütunu

Derin yataklı filtre, suyun aşağı (filtrasyon) ve yukarı (geri yıkama) doğru akması için giriş ve çıkış bağlantıları ile birlikte 1350 mm uzunlukta ve 100 mm çaplı saydam pleksi glass sütundan meydana gelmiştir. Sütun tabanı, daneli (granular) filtre ortamını (10 mm'lik cam boncuklar) tutacak adi paslanmaz çelikten

yapılmış 0.35 mm'lik şeffaf bir ızgaradır. Alt uç parça, sütuna bir flanş ile güvenli bir şekilde bağlanmıştır. Şeffaf ızgaranın altı, adi bir ızgara ile örtülmüş merkezi bir boruya bağlı bir konidir. Üzerinde bir adet basınç noktası vardır. Üst uç parça, yine bir flanşla sağlamlaştırılmış benzeri şekilde merkezi bir boruya koni şeklinde bağlanmıştır.



Şekil III.3 Filtre Sütunu

Her flanş çelikle kaplanmış bir desteğe cıvatalanmıştır. Alt sütun flanşı ile destek arasına sızdırmayı önlemek için, kauçuk bir halka conta yerleştirilmiştir. Filtre sütununda yer alan elemanlar Şekil III.3'de gösterilmiştir.

Derin yataklı filtre sütunu üzerinde, alttan itibaren 800 mm boyunca 20 mm'lik dikey ve 60'ar derecelik aralıklarla 39 basınç çıkışı yerleştirilmiş ve her basınç çıkışına bir musluk konmuştur. Bir başka basınç çıkışı, flanşın 60 mm aşağısında alt uç parça kısmında yer almaktadır. Her basınç çıkışı, 2mm çaplı 25 mm filtre sütunu içerisine girmiş, filtre ortamının girişine engel olmak için bir ucu ezilmiş bakır bir tüpten meydana gelmiştir. Her basınç çıkışının krom musluğu olup üç yollu saydam musluğa bağlanmıştır.

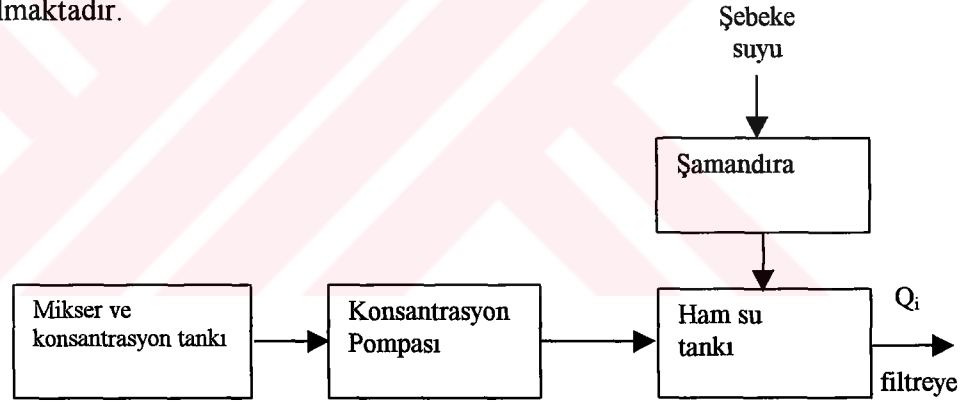
III.3.4.2 Ham Su Karıştırma Seti

Şekil III.4'de gösterildiği gibi, ham su karıştırma seti için redüktörlü mikser tasarlanıp imal edilmiştir. 2000lt 'lik kapasiteli polyester tank, ham su tankı olarak kullanılmakta olup, başlangıçta içindeki ham su, istenilen bulanıklığa getirilerek, 50

devirli 3 fazlı redüktörlü mikser ile sürekli karıştırılmaktadır. Sabit bulanıklık elde edildikten sonra, filtrasyon işlemi başlatılmaktadır. Ham su tankı üzerinde kurulan mekanik su seviye kontrolü sayesinde (şamandıra sistemi), filtrasyon işlemi ile filtre yatağına basılan su kadar şebekeden su çekilmektedir.

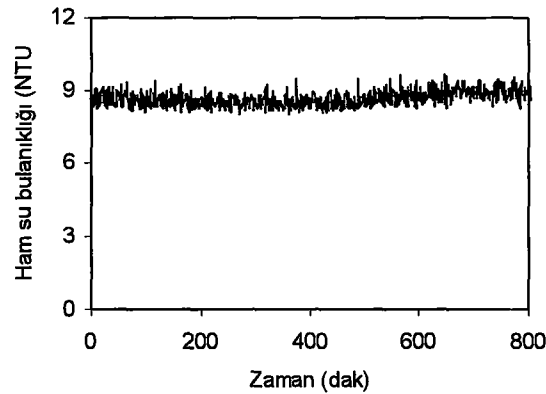
III.3.4.3. Bulanıklık Konsantrasyon Seti

Bulanıklık konsantrasyonu için, 19 lt'lik polyester tankı karıştıran bir redüktörlü mikser tasarlanıp imal edilmiştir. Bulanıklık konsantrasyonu, her defasında 3000 mg/l 'lik kil (kaolin) ile hazırlanır. Şekil III.4'te blok diyagramda gösterildiği gibi, ham su tankındaki bulanıklık konsantrasyonunun sabit kalması için, dozaj pompası ile deneysel olarak belirlenen oranda, bilgisayar kontrollü yoğun konsantrasyonda killi(kaolin) su basılmaktadır. Böylece, ham su temininde sınırlama ortadan kaldırılarak, filtrenin sürekli çalışması sağlanmıştır. Dozaj pompası santrifüj pompa ile paralel çalıştırılarak, ham su tankının bulanıklığı istenilen seviyede tutulmaktadır.



Şekil III.4 Bulanıklık Konsantrasyonu Seti Blok Diyagramı

Şekil III.5 'de ham su tankı bulanıklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir.

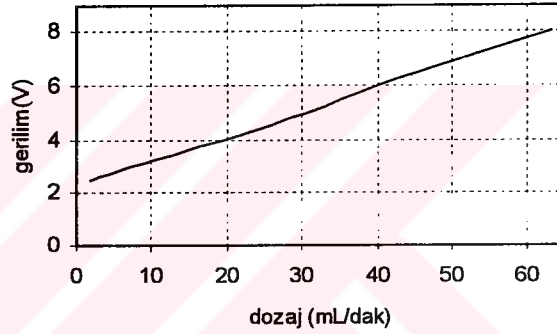


Şekil III.5 Ham su bulanıklığının zamana göre değişimi

Şekil III.5 'de görüldüğü gibi tanktaki ham su bulanıklığı filtrasyon süresince yaklaşık sabit değerde kalmıştır.

III.3.4.4. Alum Dozlama Seti

3 bar, 3 l/h özelliğindeki V-03.03 V model pompa ile sabit ya da değişken debide filtre sütununa alum dozu pompalanabilmektedir. Pompanın çalışma prensibi vuruşlu olup, analog işaretin şiddetine göre vuruş sayısı değişmektedir. Uygulanan değişik analog girişlerine göre, pompa çıkış debisinin değişimi Şekil III.6'de gösterilmiştir. Alum dozu, 1.5 m'lik yükseklikteki filtre sütunu üst flanşından direk olarak filtre yatağına pompalanmaktadır.



Şekil III.6 Alum Dozu Kalibrasyonu Eğrisi

Dozaj pompasının kalibrasyonu için, filtre sütunu tamamen su ile doldurulur. Filtre çıkış valfi kapatılır ve tahliye valfi açılır. Filtre ortamı basınçlı olduğundan giriş ve çıkış debisi birbirine eşittir. Filtre girişinden pompalanan alum dozu debisinde, tahliye borusundan 100 mL'lik beher kabına su akar. Kalibrasyon işleminin ilk aşamasında, bir dakikada beher kabına akıtılan suyun 5 ml olması için yazılımla denemeler yapılarak karşılık gelen analog işaret değeri bulunur. İkinci basamakta aynı işlem 60 ml için yapılır. Kalibrasyon işlemi ara değerlerde de test edilerek tamamlanır.

III.3.4.5 Santrifüj Pompası

Tek fazlı 0.36kW'lık, 0.5 HP gücündeki santrifüj pompa, filtrasyon ve geri yıkama işleminde kullanılmıştır. Her iki işlem ayrı zamanlarda yapıldığı için, tek bir pompa yeterli olmuştur. Filtrasyon işleminde, ham suyu tanktan filtre sütununa pompalar. Geri yıkama işleminde ise, şebeke suyu filtre sütunu tabanından yukarı

basılarak, filtre yatağının (ortamının) genişerek içerisinde tutulan yabancı parçacıkların ortam üstüne çıkıp tahliye edilmesini sağlar.

III.3.4.6. Hava Kaynağı

Hava kaynağı, kompresör (buzdolabı ekovatı), emniyet ventili, çek valf, basınç şalteri ve hava basınç haznesi ile laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. 10 bar'a kadar basabilen hava kaynağının kompresör içindeki yağ sızdırmazlık supapları değiştirilerek, basınç haznesine yağ kaçması önlenmiştir. Hava girişine hava filtre yerleştirilerek daha güvenli çalışır hale getirilmiştir.

Son yıllarda çoğu içme suyu arıtma sistemlerinde geri yıkama işlemi, hava ve su ile birlikte yapılmaktadır. Filtre tabanından yukarıya doğru gönderilen basınçlı hava, kum danelerinin birbirlerine sürtünmelerini (çitileme) sağlar. Bu işlem, filtrasyon esnasında kum danelerinin, yüzeylerine yapışmış bulunan yabancı parçacıkların ayrışmasına katkıda bulunur. Böylece, daha az geri yıkama suyu ile yabancı maddelerin tahliyesi sağlanmış olur.

III.3.4.7. Valflar

Valflar başta filtrasyon ve geri yıkama olmak üzere, Setin belirlenen çalışma fazlarında güvenli çalışmasını sağlayan elemanlardır.

1) Solenid Valflar

Aç kapa prensibine göre 24V DC ya da 220V AC gerilimle çalışan ve değişik basınçlara göre normalde açık ve normalde kapalı tipte valflar kullanılmıştır. Bu tip valfların çalışma prensiplerinden dolayı, yabancı maddeler tarafından tıkanma riski yüksektir. Bu nedenle solenoid valflar, filtre edilmiş akışkanlarda kullanılır.

2) Pnömatik Küresel Vanalar

24 V DC ya da 220 AC gerilimle kontrol edilen iki/üç yollu vanalardır. Küresel vananın aç-kapa veya oransal açılıp kapanması, pnömatik aktüatörle sağlanır. Pnömatik aktüatör 90 derece dönüş hareketi yapan sistemlerde, hızlı veya yavaş açma ve kapama ya da lineer çalışma için güvenilir, az bakım gerektiren bir elemandır. Küresel vanada basınç kaybı çok az olup, aç-kapa süresi kısadır. Uzun ömürlü olup tüm akışkanlarda kullanılır [34].

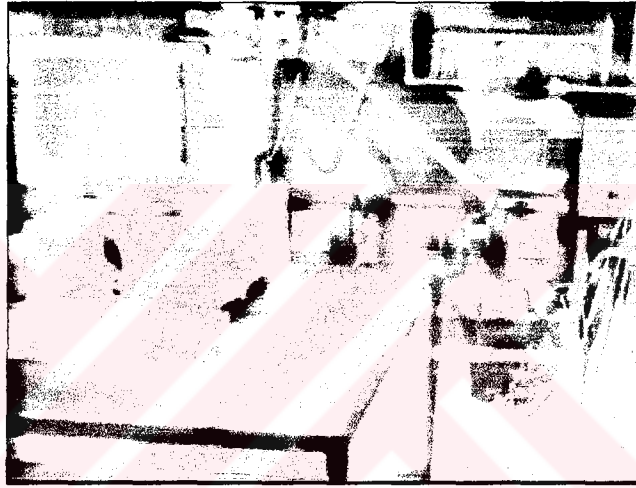
III.3.4.8 Ölçüm Elemanları (Algılayıcılar)

Algılayıcılar, filtre yatağı basınçları, debi, bulanıklık ve sıcaklık ölçümünde kullanılmıştır.

1) Türbidimetre

Bulanıklık  l  mlerinde Şekil III.7’de gösterilen Hach 1720D model türbidimetre kullanılmıştır. Sürekli okuma yapabilen ve hassas ölçümler için tasarlanmış reflometrik yapıda bir ölçüm cihazıdır. Buna ek olarak, sayısal ekranlı olup, sayısal ve analog  ıkışları vardır. 0.03-100.0 NTU arası ölçüm yapabilmektedir. Kalibrasyonu formazin ile yapılır.

Bulanıklık  l  m , türbidimetrenin gövde kısmında tutulan numuneye kuvvetli ışık demeti gönderilerek yapılır. 90 ’lik açı ile yansıtılan ışık demetinin şiddeti



Şekil III.7 Deney Setinde Kullanılan Hach 1720D Türbidimetresinin Görüntüsü

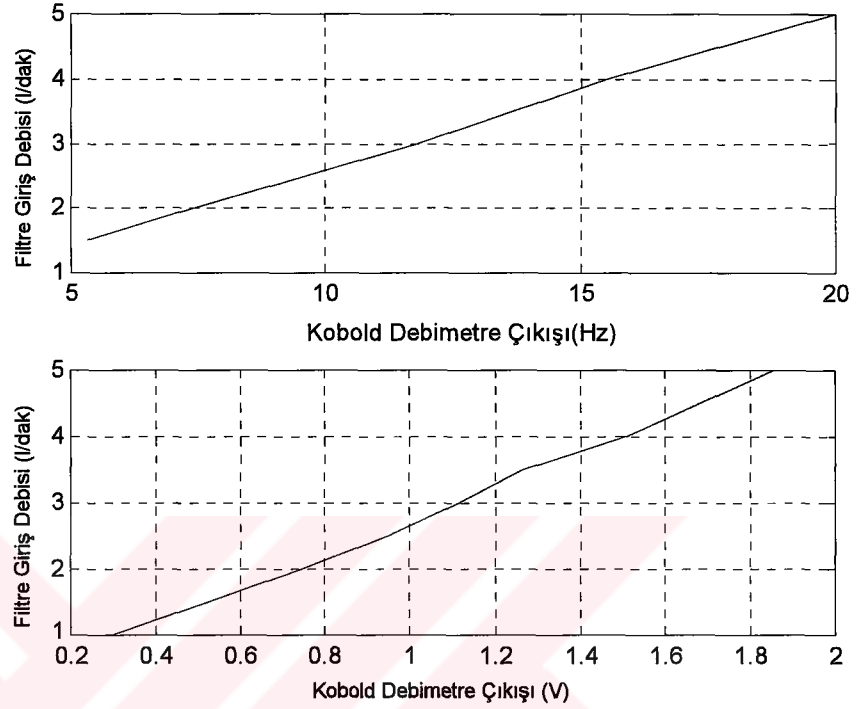
 l  lerek, okuma değeri belirlenir. Yansıyan ışık şiddeti yüksek ise, okunan bulanıklık değeri de büyük demektir.

Numune ilk önce hava kabarcıklarını tutan perdeli odacığa akıtılır. Bu akışla kabarcıkların perdeli yüzeye yapışması veya yüzeye çıkması sağlanır. Numune, perdeli odacıktan geçirildikten sonra gövdenin merkezinde yer alan sütün şeklinde ölçüm odasına girer.  l  m odasında yükselerek bulanıklık ölçümü yapılır.  l  m n ardından numune tahliye edilir. Sayısal ekranda her üç saniyede bir okuma yenilenirken türbidimetrenin seri  ıkışana dakikada bir ölçüm gönderilir.

2) Debimetre

Yapılan debi deneyleri neticesinde, 0.5-12 lt/dak aralığında çalışan bir debimetreye ihtiyaç duyulduğu tesbit edilmiştir. Belirtilen özelliklerde, darbe (pulse)

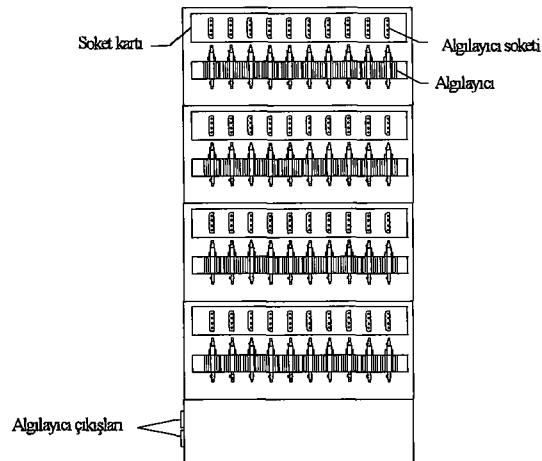
çıkışlı ve % 2.5 hata ile çalışan bir debimetre temin edilmiştir. Sete bağlanarak, elde edilen kalibrasyon testlerinden debi-frekans ve debi-gerilim ilişkisi Şekil III.8'de gösterilmiştir.



Şekil III. 8 Debimetre Kalibrasyon Eğrisi

3) Basınç Algılayıcıları

Hızlı kum filtresi sütunu üzerinde değişik derinliklerinde, 41 adet basınç algılama noktası vardır. Basınç algılayıcıları, filtre ortamındaki basınç değişimlerini izlemek

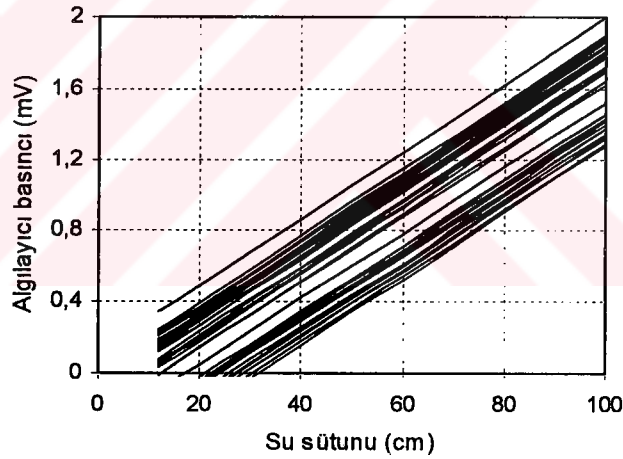


Şekil III.9 Algılayıcılar Panosunun Önden Görünüşü

amacıyla, bu noktalara ince plastik borular üzerinden bağlanmıştır. Algılayıcıların sabit tutulması ve muhafazası için **Şekil III.9** gösterilen **algılayıcılar panosu** gerçekleştirilmiştir.

Algılayıcıların beslenmesi ve çıkış sinyallerinin bilgisayara aktarımında, bağlantıları gerçekleştiren 4 adet **soket kartı** yapılmıştır. Bu kartlar algılayıcı panosu içerisine yerleştirilmiştir. Her soket kartında 10 adet algılayıcı yer almaktadır. Algılayıcı çıkış işaretlerinin panodan veri-alma gönderme kartının terminal kartlarına aktarımı için, 2 adet 25'lik D tipi konektör ve gerçekleştirilen bir **işaret dağıtım kartı** kullanılmıştır.

Tüm basınç algılayıcılarının kalibrasyon eğrilerinin çıkarılması, MÜTEF Bilgisayar Kontrol Laboratuvarı'nda bulunan bir basınç kalibrasyon setinde gerçekleştirilmiştir. Set üzerinde yer alan 100 cm'lik su sütununda her algılayıcı için, çıkışta ve inişte 10 cm aralıklarla alınan verilerden elde edilen kalibrasyon eğrileri



Şekil III.10'da gösterilmiştir.

Şekil. III.10 s0-s39 Algılayıcıları Kalibrasyon Eğrileri

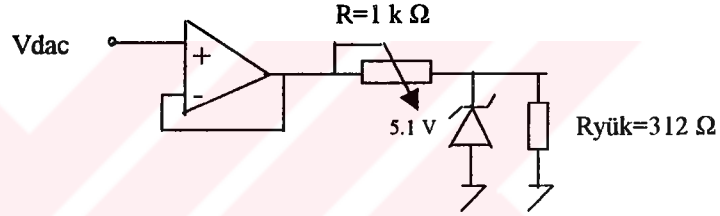
Şekil III.10'da görüldüğü gibi, basınç algılayıcının eğimleri yaklaşık aynı olmasına rağmen ofset değerlerinde önemli farklılıklar mevcuttur. Bu nedenle bir kalibrasyon programı yazılarak ofset farklılıkları giderilmiştir.

III.3.4.9. Sürücüler ve Dönüştürücüler

Deney setinde yer alan çeşitli valfların, pompaların ve alum dozlama pompasının sürülmesi, DAC çıkışının korunması ve debimetreyi analog çıkışlı hale getirmek için sürücü ve dönüştürücüler tasarlanıp gerçekleştirilmiştir.

1) Gerilim/ Akım Dönüştürücü

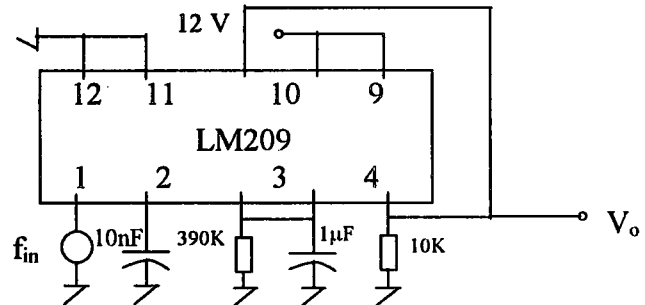
Dozaj pompası analog akım girişli olduğu için, Şekil III.11’de verilen uygun bir V/I dönüştürücü gerçekleştirilerek dozaj pompası 4-20 mA arasında lineer olarak sürülmüştür. Opamp (LM74) kullanılarak DAC’tan akım çekilmesi (maksimum 4 mA) önlenmiştir. Yük (dozaj pompası) zener kullanılarak, aşırı akımlardan korunmuştur.



Şekil III.11 Gerilim/ Akım Dönüştürücü ve Koruma Devresi

2) Frekans-Gerilim Dönüştürücü

Kobold Debimetre TTL darbe (pulse) çıkışlı olduğu için, Şekil III.12’de gösterilen uygun bir frekans gerilim dönüştürücü gerçekleştirilerek çıkış frekansı analog gerilime dönüştürülmüştür. Analog çevirme işlemi için kullanılan kondansatörlerin etkisi ile debimetrede yaklaşık 15 sn’lik bir gecikme oluşmuştur.



Şekil III.12 Frekans Gerilim Dönüştürücü

3) Röle Sürücü

Röle sürücü devresi ile santrifüj pompası, bulanıklık konsantrasyon pompası, solenoid ve pnömatik valflar ve kontrol valfi sürülmüştür. Röleler, veri alma-gönderme kartının sayısal çıkışından seçilmektedir. Röle kontaklarının akımdan zarar görmemesi için, kontaktör kullanılmıştır.

III.3.5. Basınç Algilayıcılarının Kalibrasyonu

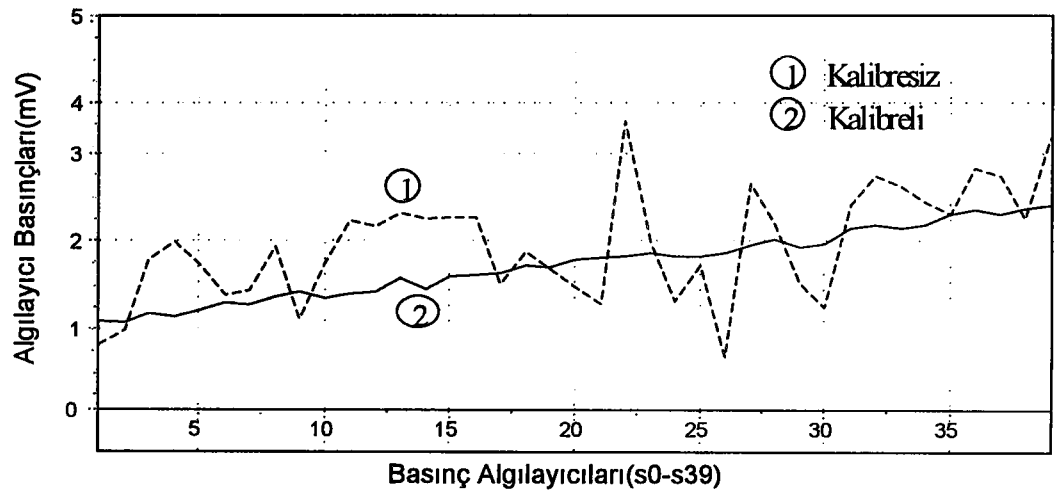
Hızlı kum filtresi sütunu üzerinde 2 cm aralıklı derinliklerde, 40 adet basınç algılama noktası vardır. Basınç algılayıcıları, filtre ortamındaki basınç değişimlerini izlemek amacıyla, bu noktalara kılcal borular üzerinden bağlanmışlardır. 40 adet basınç algılayıcı, 4 adet 10'luk algılayıcı soketine monte edilmiş olup algılayıcı panosuna yerleştirilmişlerdir.

Her algılayıcı, bağlı olduğu basınç  l me noktası seviyesinden daha aşağıya gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bunun nedeni, kılcal boruların daima su ile dolu olmasını sağlamaktır. Basınç  l m noktası ile basınç algılayıcı arasındaki seviye farkından dolayı oluşan ek basınç, doğrudan algılayıcının ofset değerine eklenmiş olur. Her algılayıcı için, basınç ölüm noktası ile basınç algılayıcı arasındaki seviye farkı değişik olduğundan, farklı bir ofset etkisi yapacaktır. Bu nedenle yine ofset ayarına ihtiyaç duyulmaktadır.

1. Ofset Ayarı

Basınç algılayıcılarına gelen ince plastik hortumlardaki hava tamamen alındıktan ve filtre sütunundaki su tamamen boşaltıldıktan sonra kalibre programının ofset ayarı seçeneği aktif hale getirilir ve ofset işlemi tamamlanır.

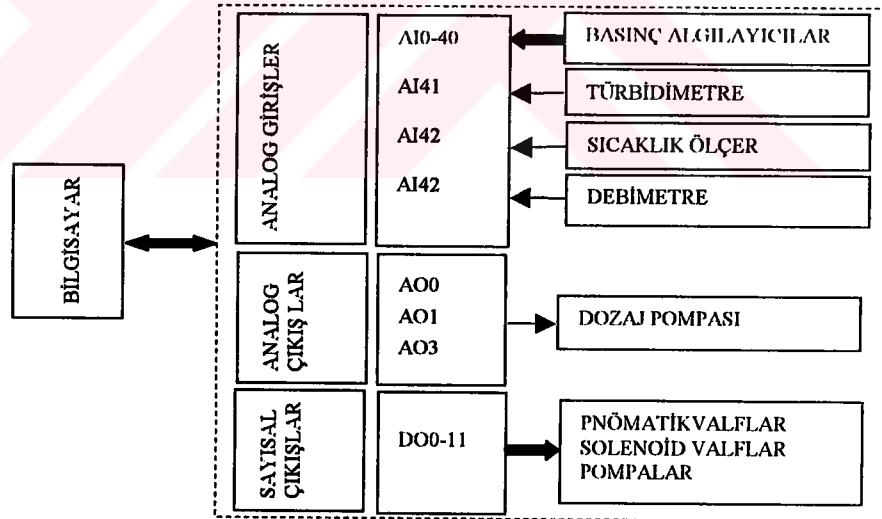
Filtre sütununda, kalibrasyon işleminin önemini açıklayabilmek için, şekil III.13'de kalibreli ve kalibresiz algılayıcı davranışları karşılaştırılmıştır.



Şekil III.13 Kalibreli ve kalibresiz filtre sütunu statik basınç eğrileri

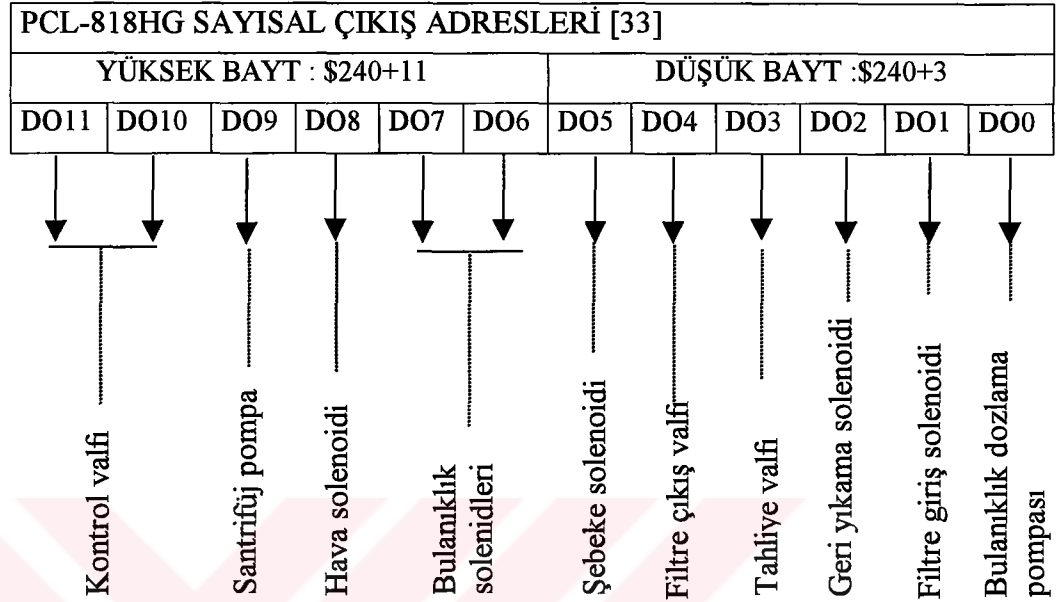
III.4. DENEY SETİ VERİ DÜZENİ

Veri düzeni, algılayıcılar, 3 adet veri toplama kartı (PCL-818HG) ve bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil III.14’de veri düzeninin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil III.14 Deney Seti Veri Düzeni Blok Diyagramı

Şekil III.15 'de sayısal çıkıştan sürülen donanım elemanları ve adresleri gösterilmiştir.



Şekil III.15 Donanım elemanlarının sürülmesi için tasarlanan sayısal veri düzeni

III.5. DENEY SETİ ÇALIŞMA MODLARI

Deney setinde, filtrasyon ve geri yıkama olmak üzere iki çeşit çalışma modu vardır. Çalışma modlarına geçişi sağlayan valflar, filtrasyon işleminde aktif olmayacak şekilde konumlandırılmışlardır. Filtrasyon esnasında, iki adet mikser redüktörü, santrifuj pompası, bulanıklık ve alum dozaj pompaları aktif edilmektedir. Böylece minimum enerji tüketimi sağlanmıştır. Müsaade edilen maksimum yük kaybına (1.4 m SS) ya da çıkış suyu kalitesi bozulma sınırına (0.5 NTU) kadar filtrasyon işlemi devam ettirilmektedir.

Geri yıkama işleminde, filtre giriş ve çıkış valfları kapatılıp tahliye valfi açılmaktadır. Tablo 2'de gösterildiği gibi, önce hava, sonra su ile belirlenen sürelerde geri yıkama işlemi gerçekleştirilir.

Tablo III.3 Geri yıkama modu (işlemi)

Geri yıkama	Geri yıkama süresi (dak)
Su	0.25
Hava	2.5

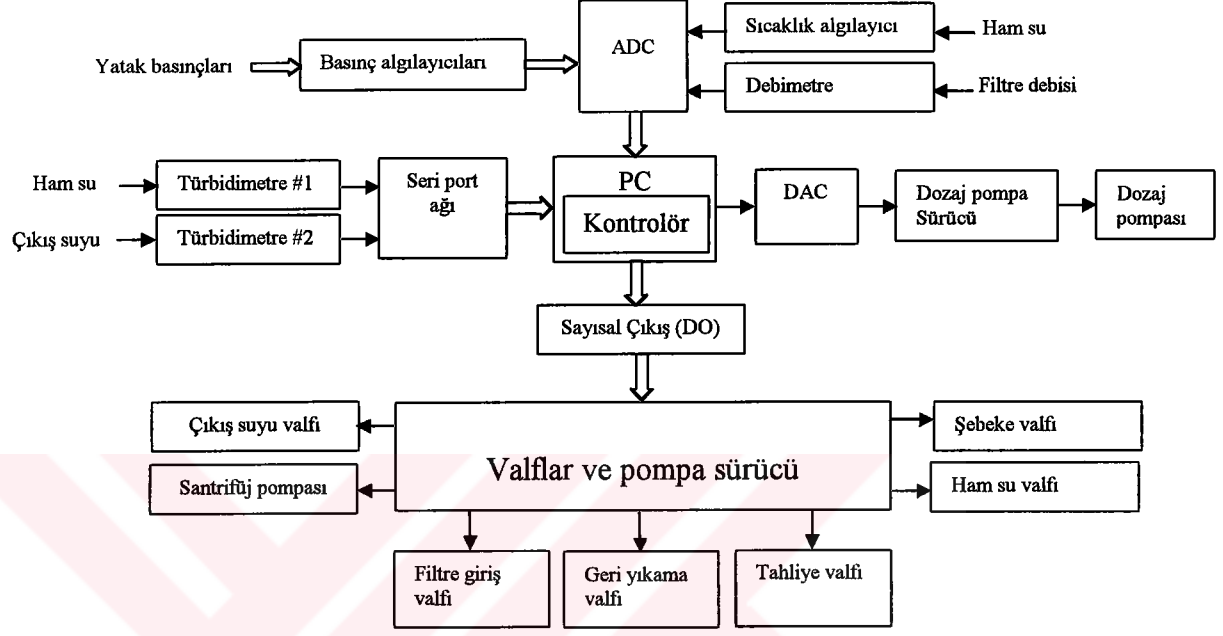
Filtre sütununun üst flanşı altına yerleştirilen s40 basınç algılayıcısından aşırı basınç (300 mbar'dan yüksek) geldiğinde, program tarafından santrifüj ve bulanıklık konsantrasyon pompaları ani olarak durdurulmakta, filtrede oluşan aşırı basınç, tahliye valfinin aynı anda açılması ile normale döndürülmektedir. Bunun yanında, filtre sütunu üzerine yerleştirilen 160 mm çapında bir analog manometre ile de, filtredeki basınç gözlenebilmektedir. Bilgisayar sisteminin kilitlenmesi durumunda, ya da filtre setinde oluşabilecek herhangi bir tehlikeye karşı, sistem paneli üzerinde yer alan **tahliye valfi** ve **santrifüj pompa** adlı iki anahtarı kapatmakla dışarıdan müdahale yapılabilmektedir. Tehlike anında iki anahtarın kapatılmasıyla, santrifüj pompa durdurulur ve tahliye valfi açılır. Böylece, filtrasyon işlemi aniden durdurularak filtredeki basınçlar tahliye edilmiş olur.

Çalışma modlarına geçiş geliştirilen otomasyon programı ile sağlanmaktadır. Tablo III.4'da çalışma modlarını gerçekleştiren otomasyon programının sayısal çıkış düzeni gösterilmiştir.

Tablo III.4 Deney Seti Çalışma Modları İçin Sayısal Çıkış Düzeni

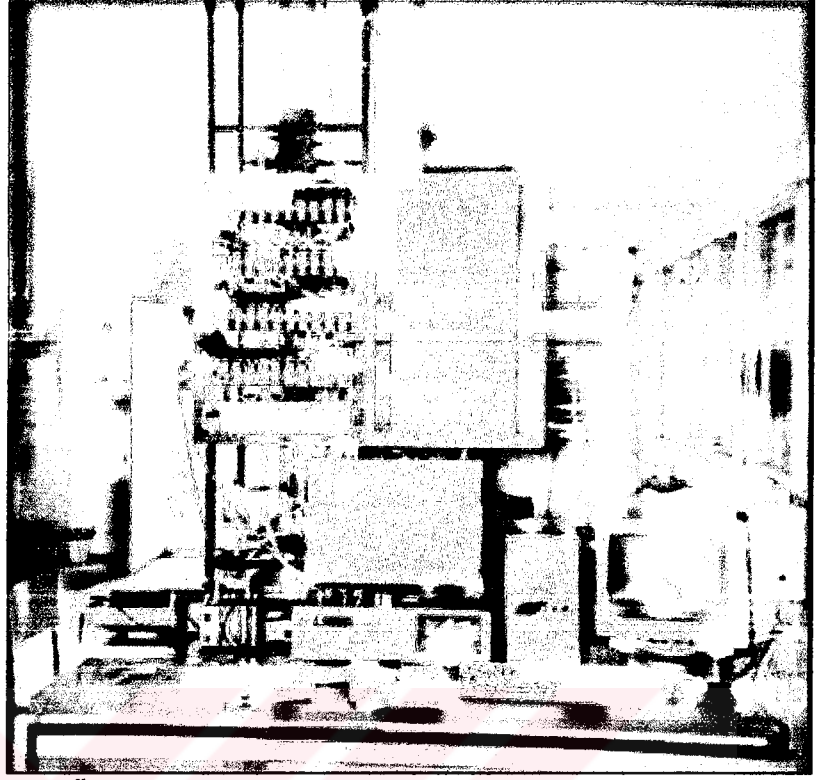
İŞLEM	YÜKSEK BAYT(\$240+11)						DÜŞÜK BAYT(\$240+11)					
	DO11	DO10	DO9	DO8	DO7	DO6	DO5	DO4	DO3	DO2	DO1	DO0
Filtrasyon	X	X	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
G. Yıkama	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Hava	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
Su	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0

Deney seti çalışmasının daha iyi anlaşılabilmesi için, Şekil III.16'da genel blok diyagramı verilmiştir.



Şekil III.16 Deney Seti Çalışma Düzeni Blok Diyagramı

Derin Yataklı Hızlı Kum Filtresinin değişik cephelerden görüntüleri Şekil III.17'de verilmiştir.



(a) Deney Setinin Önden Görünüşü



(b) Deney Setinin Genel Görünüşü

Şekil III.17 Derin Yataklı Hızlı Kum Filtresinin değişik cephelerden görüntüleri

III.6. KUM ANALİZİ

Filtrelerin verimli çalışabilmesi için ortam malzemesinin ve dane çapının belirli standartlarda olması gerekmektedir. Bu amaçla, kum analizi yapılmaktadır. Oldukça ağır ve hassas olan bu çalışma, İTÜ Metalürji Fakültesinde bulunan titreşimli elek ile gerçekleştirilmiştir. Kum analizi ile ilgili yapılan çalışma, Ekler bölümünde Ek-C’de verilmiştir.

III.7. DERİN YATAKLI FİLTRENİN DAVRANIŞI

Filtrenin davranışını belirlemek amacıyla, ilk aşamada alum kullanılmadan direkt filtrasyon deneyi yapılmıştır. Filtrenin giriş ve çıkış suyu bulanıklıkları, yük kaybı ve filtre yatağı basınç değişimleri filtrasyon boyunca on-line (anlık) izlenmiştir. İkinci aşamada, farklı sabit alum dozlarında bir dizi deneyler yapılarak, alumun filtre davranışına etkisi incelenmiştir.

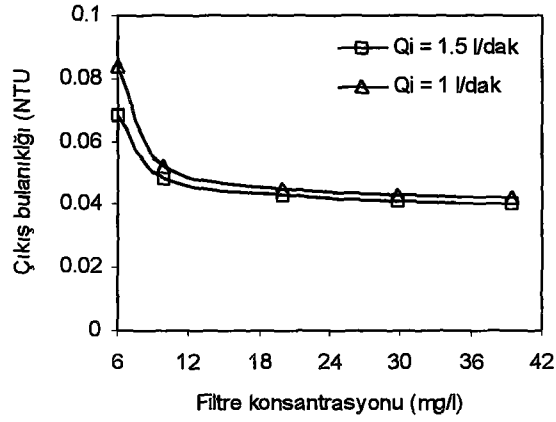
III.7.1 Filtre Davranışını Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

Filtre davranışını belirleyen parametrelere ilişkin veriler on-line elde edilerek Şekil 3.18’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

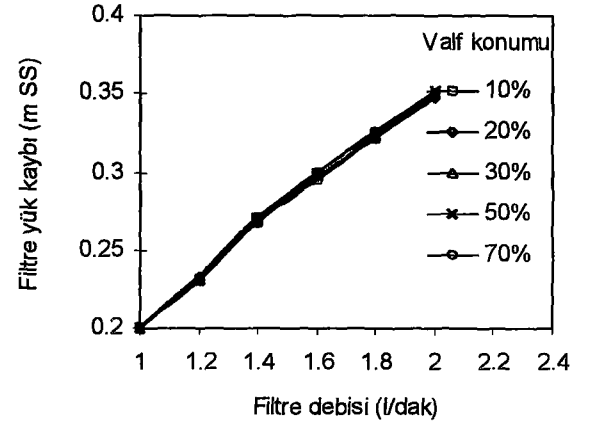
Şekil III.18 (a)’da 1 ve 1.5 l/dak’lık filtre debilerinde, filtre çıkış bulanıklığının alum dozuna göre değişimi gösterilmiştir. Daha düşük filtre debisinde, çıkış bulanıklığı daha düşük değerlere inmiştir

Şekil III.18 (b) ’de çıkış valfinin % cinsinden ifade edilmek üzere 10, 20, 30, 50 ve 70 açıklık konumlarında, filtre debisine göre yük kaybı değişimi aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Basınçlı filtre ortamında yük kaybı, debi artışı ile yaklaşık doğru orantılı olarak artmıştır. Şekil III.18 (b) ‘de, çıkış valfi konumunun yük kaybı debi ilişkisini etkilemediği görülmektedir.

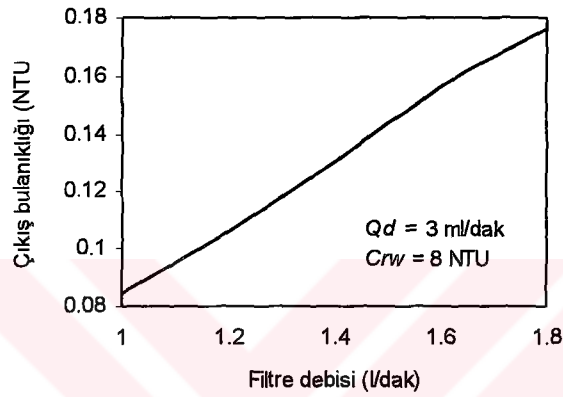
Şekil III.18 (c) ve (d)’de sırasıyla çıkış bulanıklığının filtre debisine ve ham su bulanıklığına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil III.18 (c) ve (d) ’den görüldüğü gibi çıkış bulanıklığı, filtre debisine ve ham su bulanıklığına göre yaklaşık lineer olarak artmıştır.



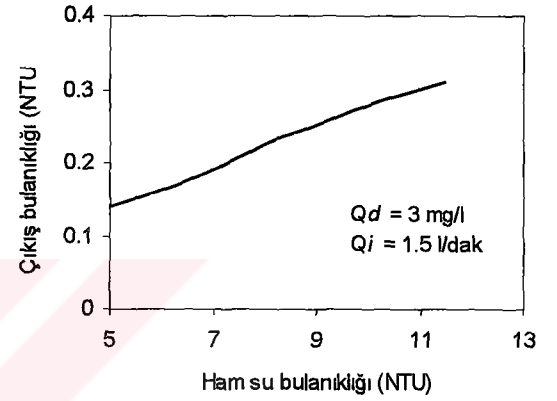
(a)



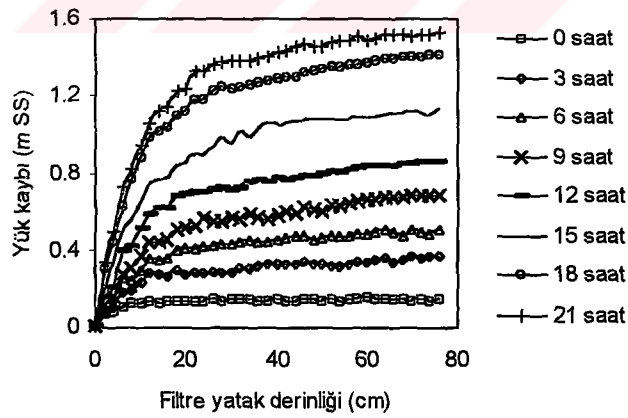
(b)



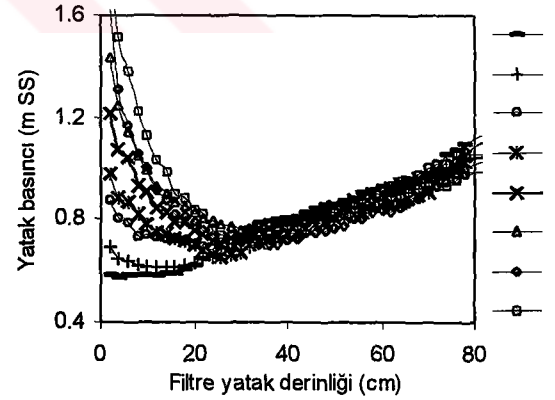
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil III.18. Filtre Davranışının Belirlenmesi: (a) Farklı debilerde çıkış bulanıklığının alum dozuna göre değişimi, (b) Çıkış valfi konumuna ve filtre debisine göre yük kaybı değişimi, (c),(d) Filtre debisine ve ham su bulanıklığına göre çıkış bulanıklığı değişimi, (e) Yük kayıplarının yatak derinliğine ve zamana göre değişimleri ve (f) Filtre yatağı basınçlarının yatak derinliğine ve zamana göre değişimleri

Şekil III.18 (e)'de yük kayıplarının, filtre yatağı derinliğine göre değişimi 3 saatte bir gösterilmiştir. Şekil III.18 (e)'de görüldüğü gibi toplam yük kayıpları, filtre yüzeyine yakın noktalarda hızla arttıktan sonra yaklaşık sabit kalmıştır.

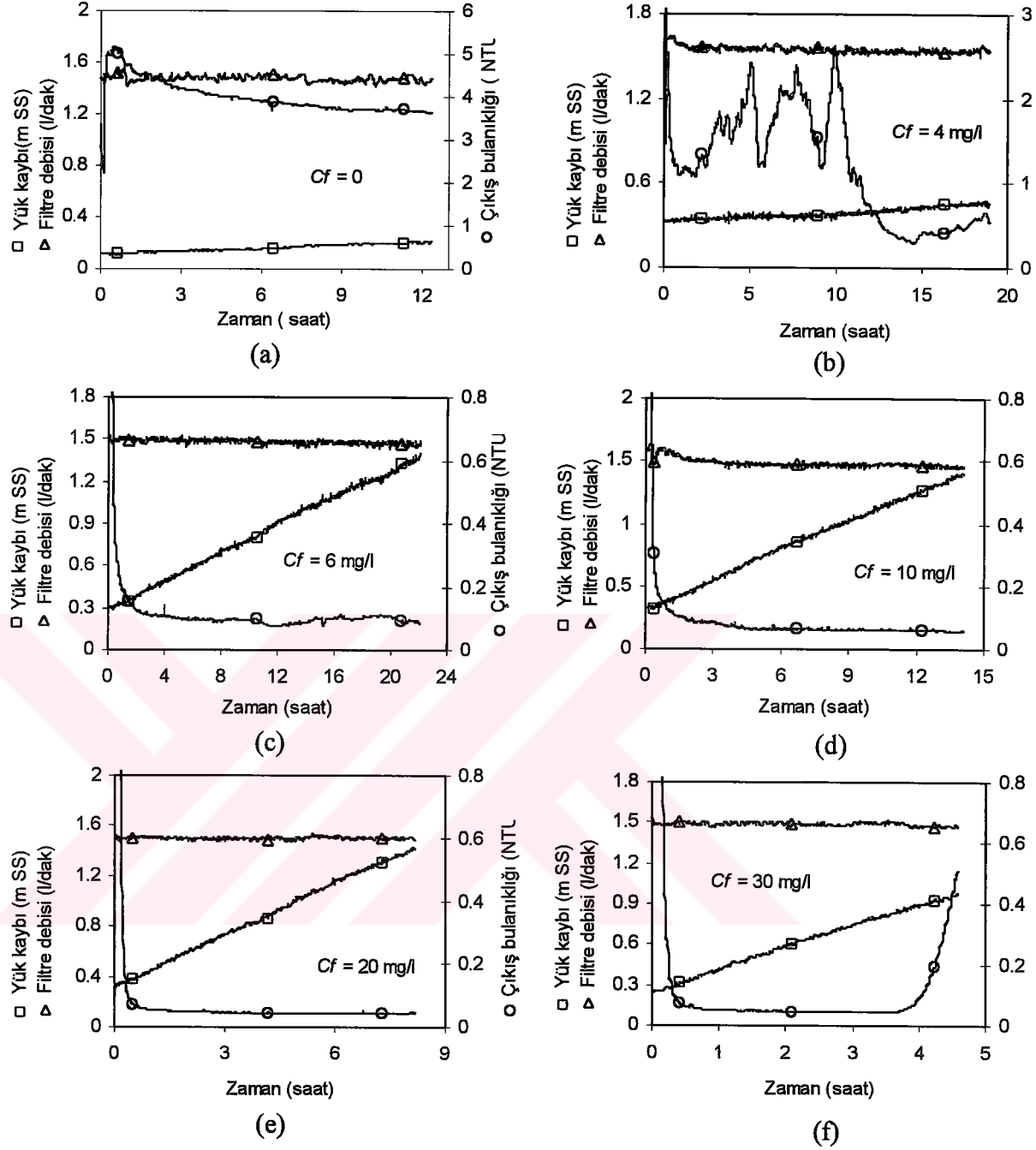
Filtre yatağı basınçlarının zamana (3 saatte bir) ve yatak derinliğine göre değişimleri Şekil III.18 (f)'de gösterilmiştir. Filtre giriş yüzeyine yakın noktalarda, basınçlar hızla artmıştır.

Şekil III.18 (e) ve (f)'ye göre, askıdaki maddelerin çoğu filtre giriş yüzeyine yakın katmanlarda birikmiştir.

III.7.2 Sabit Alum Dozunda Filtrasyon Sonuçları

11.5 m/saat'lik sabit filtre hızında ve 0, 4, 6, 10, 20 ve 30 mg/l'lik sabit alum dozlarında yapılan filtrasyon deneylerinde Şekil III.19'de gösterilen grafiksel sonuçlar alınmıştır.





Şekil III.19. Sabit Filtre Hızı ve Sabit Alüm Dozlarında, Çıkış Bulanıklığı ve Yük kaybının Filtrasyon Süresine Göre Değişimi : (a) $C_f = 0$ mg/l, (b) $C_f = 4$ mg/l, (c) $C_f = 6$ mg/l, (d) $C_f = 10$ mg/l, (e) $C_f = 20$ mg/l, (f) $C_f = 30$ mg/l

Sıfır alüm dozunda, çıkış suyu bulanıklığının ve yük kaybının filtrasyon süresine göre değişimi Şekil III.19.(a)'da gösterilmiştir. Şekil III.19.(a)'da görüldüğü gibi çıkış suyu bulanıklığı filtrasyon süresine göre başlangıçta hızlı bir şekilde azalırken, yük kaybı ise düşük oranda lineer olarak artmıştır.

4 mg/l'lik sabit alum dozunda yapılan deney sonucu, Şekil III.19 (b)'de gösterilmiştir. Şekil III.19 (b)'de görüldüğü üzere çıkış bulanıklığı, filtrasyon süresince oldukça salınımlı (karasız) olmuştur. Salınımlı çıkışın alum dozu yetersizliğinden kaynaklandığı söylenebilir. Buna karşılık yük kaybı lineer olarak (a)'ya göre daha yüksek oranda artmıştır.

6 mg/l'lik sabit alum dozu ile Şekil III.19 (c)'de gösterilmiştir. Çıkış bulanıklığı filtrasyon boyunca 0.1 NTU civarında küçük salınımlar gösterirken, filtre yük kaybı, yaklaşık 22 saat sonra müsaade edilen 1.4 m'lik tepe değerine ulaşarak, filtrasyon işlemi durdurulmuştur.

10 ve 20 mg/l'lik sabit alum dozlarında yapılan deneyler Şekil III.19 (d)' ve (e) gösterilmiştir. Yine müsaade edilen maksimum yük kaybı değerlerinden dolayı, filtrasyon süreleri sırasıyla, 14 ve 8 saat kadar olmuştur.

Şekil III.19 (f)'de gösterildiği gibi, 30 mg/l'lik sabit alum dozunda yapılan filtrasyon deneyinde ise, çıkış suyu bulanıklığı bozulma değerine yük kaybı tepe değerinden daha erken sürede ulaşmıştır. Bu nedenle, filtrasyon yaklaşık 4.5 saat sürmüştür.

Sonuç olarak, yük kaybı, alum dozu artışı ile doğru orantılı artarken, çıkış bulanıklığı azalmıştır. Yüksek alum dozlarında, çıkış bulanıklığı daha düşük ve kararlı olmasına rağmen, filtrasyon süresi çok kısalmıştır. Filtrasyon süresi, çıkış suyu kalitesi bozulma sınır değeri ve müsaade edilen en yüksek yük kaybı değerine bağlı olarak değişmiştir.

III.8. SABİT ALUMDA OPTİMUM DOZLAMA PROBLEMİ

Filtrasyon problemini ortaya koyabilmek amacıyla, Şekil III.19'da filtre davranışını belirleyen grafiksel sonuçlar, Tablo III.5'de farklı bir şekilde verilmiştir. Bu noktada varılmak istenen hedeflerin, istenilen çıkış kalitesinin sağlanması, yeterli filtrasyon süresi ve optimum alum dozu kullanımı olduğunu hatırlamak, problemin ortaya konuşuna yardımcı olabilir.

Sabit alum dozunda yapılan ve Tablo III.5'de gösterilen sonuçlara göre, 10, 20 ve 30 mg/l'lik alum dozlarında mükemmel çıkış kaliteleri sağlanmasına rağmen, filtrasyon çok kısa sürmüştür.

Tablo III.5 Sabit alum dozunda Yapılan Filtrasyon Sonuçları

Alum dozu (mg/l)	Çıkış kalitesi (NTU)	Maksimum yük kaybına varış süresi (t_1 , saat)	Çıkış bozulmasına varış süresi (t_2 , saat)	t_1 ve t_2 sürelerinin karşılaştırılması $T_f = \min(t_1, t_2)$
4	Karasız	Varamadı	Kararsız	$t_1 > t_2$
6	İyi (0.14)	İyi (22)	Varamadı	$t_1 < t_2$
10	Mükemmel(0.063)	Kısa (14)	Varamadı	$t_1 < t_2$
20	Mükemmel(0.045)	Çok kısa (8)	Varamadı	$t_1 < t_2$
30	Mükemmel(0.04)	Varamadı	Pek kısa (4.5)	$t_1 > t_2$

Alum dozu artışına karşılık, filtrasyon süresi kısalmıştır. Alum dozu düşük verildiğinde, filtrasyon süresi artarken çıkış kalitesi düşmüştür. Kısacası, alum dozuna göre çıkış kalitesi ve filtrasyon süresi değişmektedir. O halde filtreden beklenen sonucun alınabilmesi için hem çıkış kalitesi ve hem de filtrasyon süresi konusunda bir dengenin (çözümün) kurulması söz konusudur. Tablo III.5'deki sonuçlara göre bu dengeye ulaşıldığı söylenemez. Bu dengenin kurulması optimum alum dozuna bağlıdır. Optimum alum dozunu yakalayabilmek için, daha bir çok sabit alum dozu ara değerinde deneylerin yapılması gerekebilir.

Sabit alum dozuyla çalışmada bir başka sorun, ham su ve debi gibi bozucu etkiler ve değişken filtre dinamiği ile ilgilidir. Optimum alum dozu değeri jar (kavanoz) testi tekniği ile belki kolayca belirlenebilir. Fakat filtrasyon esnasında alum dozu ihtiyacı değiştiğinde veya değişirse, verilen optimum doz yeterli olmayacaktır. O halde istenilen çıkış kalitesini ve yeterli filtrasyon süresi sağlamak için alum dozunun kontrollü (ayarlı) verilmesi gerekmektedir. Alum dozu ayarını manuel yöntemlerle optimum bir şekilde gerçekleştirmek mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle bu problemin çözümü için zeki kontrolör önerilmiştir.

III.9 KONTROLÖR TASARIMI

Önerilen kontrolör, bulanık ve integral kontrol algoritmalarından meydana gelmiştir. Nonlinear sistemlerde ve bozucuların kuvvetli olduğu durumlarda bulanık ve PID kontrolörler paralel olarak kullanılmışlardır [35]. Filtrasyon boyunca çıkış bulanıklığı alum dozuna göre nonlinear değiştiği ve kalıcı hal hataları oluştuğu için, bulanık kontrolörle paralel çalışan integral kontrolör eklenilmiştir. Bundan sonraki

Bulanık kontrolörde iki farklı çıkarım yöntemi kullanılmıştır. En yaygın olarak kullanılan **min** ve **çarpım** çıkarım yöntemleri ile yapılan kontrol deney sonuçları arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

III.9.1.1. Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kümeler

Geliştirilen bulanık kontrolörün üç giriş değişkeni vardır. Geri besleme girişi, (1)'de ifade edildiği gibi filtre çıkış bulanıklığı hatasıdır.

$$C_e = C_{ref} - C_{out} \quad (III.1)$$

Burada, C_{out} filtre çıkış bulanıklığı ve C_{ref} filtre çıkış bulanıklığı referans değeridir. Diğer giriş değişkeni ise, çıkış bulanıklığı hata farkıdır

$$dC_e = C_e - C_{eold} \quad (III.2)$$

Burada C_{eold} bir önceki örnekleme zamanında ölçülen çıkış bulanıklığı hata farkıdır. Çıkış bulanıklığı kontrolünde, su kalitesi ve bozucu etkiler göz önüne alınarak, bulanık küme sınırları için öngörülen değerler deneysel çalışmalarla daha uygun hale getirilmiştir. Çıkış bulanıklığı hatasına (C_e) ait bulanık alt kümelerinin dilsel değişkenleri ve sınırları Tablo III.6 gösterilmiştir.

Tablo III.6 Çıkış bulanıklığı hatası(C_e) bulanık küme sınırları

Bulanık küme	Sınırlar	X1	X2	X3
NB (negatif büyük)	$-2.5 < NB < -0.06$	-2.5	-2.5	-0.06
NO (negatif orta)	$-2.5 < NO < -0.02$	-2.5	-0.06	-0.02
NK (negatif küçük)	$-0.06 < NK < -0.02$	-0.06	-0.02	0
SFR (sıfır)	$-0.02 < SFR < 0.02$	-0.02	0	0.02
PK (pozitif küçük)	$0 < PK < 0.04$	0	0.02	0.04
PO (pozitif orta)	$0.02 < PO < 0.06$	0.02	0.04	0.06
PB (pozitif büyük)	$0.04 < PB < 0.1$	0.06	0.1	0.1

Çıkış bulanıklığı değişimi yavaş ve değişim aralığı çok küçük olduğu için, çıkış bulanıklığı hata farkı için üç üyelik fonksiyonu seçilmiştir.

Çıkış bulanıklığı üst sınır değeri 0.5 NTU olarak seçilmiştir. Filtre çıkış suyu bulanıklığı, 0.5 NTU'dan aşağı değerlerde yaklaşık lineer olarak değiştiğinden, bulanıklık referans değeri için üç üyelik fonksiyonu seçilmiştir.

Çıkış bulanıklığına ait hata farkı (dC_e) ve referans (C_{ref}) bulanık kümelerinin dilsel değişkenleri ve sınırları aşağıda tablolar halinde verilmiştir. (Tablo III.7-8)

Tablo III.7 Çıkış Bulanıklığı Hata Farkı (dC_e) Bulanık Küme Sınırları

Bulanık küme	Sınırlar	X1	X2	X3
NK (negatif küçük)	$-0.1 < NK < 0$	-0.1	-0.1	0
SFR (sıfır)	$-0.05 < SFR < 0.05$	-0.05	0	0.05
PK (pozitif küçük)	$0 < PK < 0.1$	0	0.1	0.1

Tablo III.8 Çıkış Bulanıklığı Referans (C_{ref}) Bulanık Küme Sınırları

Bulanık küme	Sınırlar	X1	X2	X3
DK (düşük)	$0 < DK < 0.20$	0	0	0.20
ORT (orta)	$0 < ORT < 0.40$	0	0.20	0.40
YK (yüksek)	$0.20 < YK < 0.60$	0.20	0.60	0.60

III.9.1.2. Kural Tabanı

Kontrol kuralları Tablo. III.9’de gösterildiği gibi bulanık kümeler kullanılarak dilsel terimler halinde formüleleştirilmiştir [40]. Bulanık kontrolörün, giriş değişkenlerinden, dC_e ve C_{ref} üçer, C_e yedi terimli bulanık küme ile ifade edilmişlerdir. Bu durumda, kontrolör için ($7 \times 3 \times 3 = 63$) adet kural çıkarılmıştır. Tablo. V.’de gösterildiği gibi, her kural için, sabit bir etki değeri belirlenmiştir. Kural yapısı **Eğer İse** terimlerinden oluşmaktadır. Tablo. III.9’de yer alan tüm kurallar, Kural 1’deki gibi ifade edilmişlerdir.

Kural 1: EĞER hata negatif büyük ve hata farkı negatif küçük ve referans düşükse, İSE etki değeri = 0.206

Tablo III.9 Bulanık Kontrolör Kuralları Tablosu

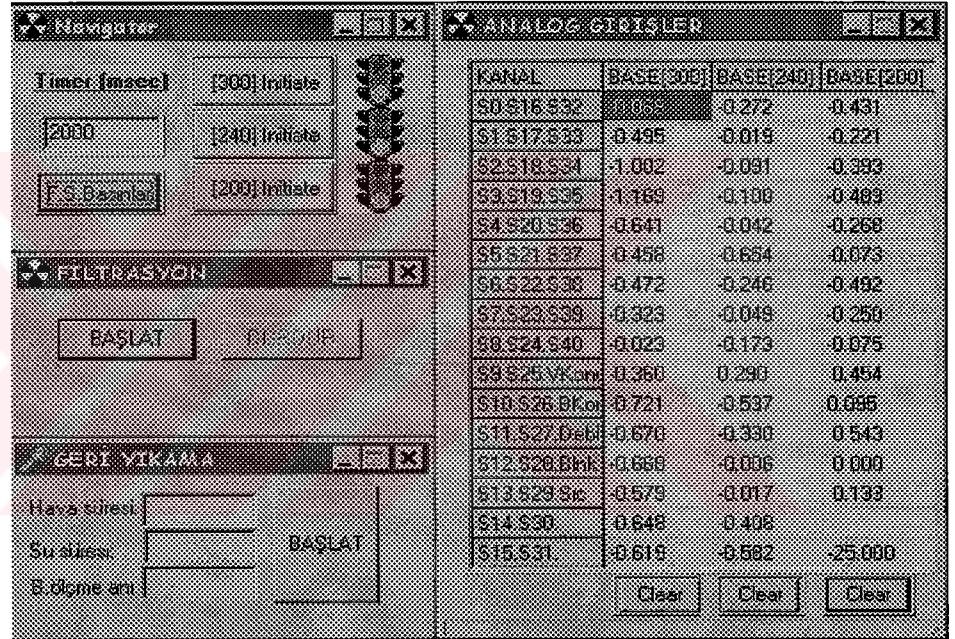
		Ce						
dC_e	C_{ref}	NB	NO	NK	SFR	PK	PO	PB
NK	DK	0.206	0.200	0.197	0.195	0.193	0.191	0.189
NK	ORT	0.196	0.190	0.187	0.185	0.183	0.181	0.179
NK	YK	0.186	0.180	0.177	0.175	0.173	0.171	0.169
SFR	DK	0.205	0.199	0.196	0.194	0.192	0.190	0.188
SFR	ORT	0.195	0.189	0.186	0.184	0.182	0.180	0.178
SFR	YK	0.185	0.179	0.176	0.174	0.172	0.170	0.168
PK	DK	0.204	0.198	0.195	0.193	0.191	0.189	0.187
PK	ORT	0.194	0.188	0.185	0.183	0.181	0.179	0.177
PK	YK	0.184	0.178	0.175	0.173	0.171	0.169	0.167

III.9.2. İntegral Kontrolör Tasarımı

Bulanıklık kontrolünde, kalıcı hal hatalarını gidermek için, integral kontrol (integratör) tasarımı düşünülmüştür. İntegratör tasarımında en önemli parametre K_I katsayısıdır. K_I katsayısını Zeigler ve Nichols yöntemine göre teorik olarak belirleyebilmek için yapılan çalışma Ek-D’de verilmiştir. Bu yöntemle bulunan K_I katsayısı, yapılan kontrol deneylerinde ilk deneme değeri olarak kullanılmıştır.

III.10 Filtre Otomasyon Yazılımı

Gerçekleştirilen filtre otomasyon yazılımı (FOY), Delphi 3.0 programlama dili ile diliyle yazılmıştır. Manuel ve otomatik çalıştırılacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil III.20 Analog Girişler ve Manuel Çalıştırma Ekranı

Gerçekleştirilen yazılım programı veri tabanı, veri toplama, grafik görüntüleme ve kontrolör alt programlarından oluşmuştur. FOY’nın üç ana ekranı vardır. Şekil III.20 de yer alan ekran dört kısımdan meydana gelmiştir. Birinci kısımda veri toplama kartlarının aktif edilmesi ve analog girişlerin örnekleme hızının girilmesi sağlanır. İkinci kısımda filtrasyon manuel başlatılırken üçüncü kısımda yine manuel olarak geri yıkama başlatılır. Dördüncü kısımda ise, analog girişler kart adresi ve kanal numarası ile birlikte gösterilmiştir.

Analog girişler; 41 adet yatak basıncı, 1 adet sıcaklık, 1’er adet giriş ve çıkış bulanıklıkları, 1 adet debi, 1 adet çıkış valfi konumu değişkenlerinden meydana gelmiştir. Analog girişlerin ekranda gösterilmesi ile arıza analizi kolayca yapılabilir.

Şekil III.21'de gösterilen ikinci ekran, tüm algılayıcılardan gelen ve veri tabanında tutulan verileri gösterir. Yeni deney başlatılırken New Run düğmesine tıklamakla veri tabanındaki tüm veriler bir dizinde saklanmak üzere silinir.

Date-Time	Bulantılık	Yük Kaybı	Debi	Konum	Sıcaklık	Used Alum	AlumR
21.06.2001 13:33:11	0.003	0.529	0.884	0.813			
21.06.2001 13:34:11	0.002	0.6228	0.878	0.813			
21.06.2001 13:35:11	0.004	0.843	0.879	0.813			

MyDateTime	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
21.06.2001 13:12:45	-0.09	-0.2095	-0.3655	-0.532	-0.2665	-0.3595	-0.2895	0.0
21.06.2001 13:13:53	-0.0795	-0.2105	-0.388	-0.535	-0.2645	-0.239	-0.2635	-0.0
21.06.2001 13:15:18	-0.04	-0.2495	-0.517	-0.5955	-0.3275	-0.234	-0.2425	-0.1
21.06.2001 13:18:39	-0.1045	-0.2185	-0.3795	-0.5435	-0.2955	-0.268	-0.293	0.0
21.06.2001 13:33:18	-0.0885	-0.211	-0.3845	-0.5425	-0.2925	-0.267	-0.281	0.0
21.06.2001 13:34:18	-0.0875	-0.218	-0.3845	-0.554	-0.307	-0.2725	-0.3005	0.0
21.06.2001 13:35:18	-0.092	-0.2155	-0.392	-0.5475	-0.2995	-0.272	-0.287	0.0

Şekil III.21 Veri Tabanı ve On-Line Grafik

Böylece, yeni deney verilerini almaya hazır hale getirilir. Var_Record düğmesine tıklamakla ekranın birinci kısmında gözüken değişkenlerin kaydedilmesi başlatılır. Pressure_Record düğmesine tıklamakla basınç algılayıcılarından gelen bütün yatak basınç verilerinin kaydedilmesi başlatılır. Filtrasyon boyunca bu verilerin tümü ekranın ikinci kısmından izlenebilir. Sol üst köşedeki kısma, deney esnasında önemli notlar girilebilir. Chart düğmesine tıklamakla birinci ve ikinci kısımdaki değişkenlerin grafikleri on-line olarak gösterilir.

Şekil III.22'deki ekranda ise, gerçekleştirilen kontrolörün etki değer tablosu, aktif kurallar tablosu, giriş, çıkış ve durum değişkenleri, örnekleme zamanı ve

The screenshot displays the 'Fuzzy' control interface. It includes input fields for 'OpenAction', 'SaveActions', and 'Set Actions'. Below these are fields for 'Cref' (0.3), 'Cout' (0.000), 'Ce' (0.300), 'dCe' (0.000), and 'Qd' (0.000). A dropdown menu for 'Akan dosya: action files' shows 'akam action1' and 'akam action2'. On the right, there are fields for 'D' (0.553), 'Hiss' (0.638), 'Tadaki' (1), 'E' (0.2), 'Upi' (0.120), and 'Utuzzy' (0.000). The main part of the interface contains two tables: 'Effluent control rules' and 'Effluent control actions'.

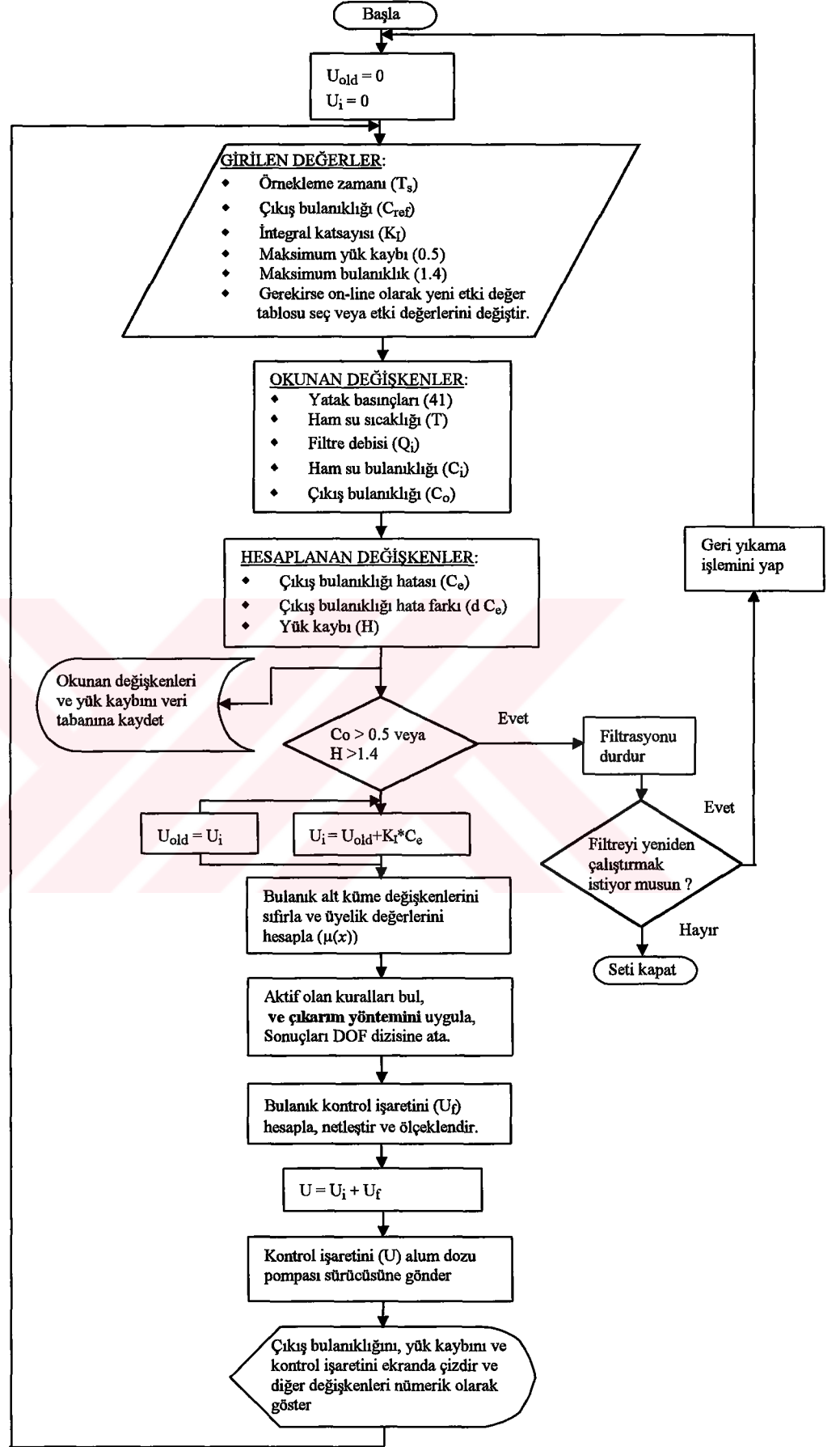
dCe	Cref	NB10.1	NO10.0	NK10.0	SFR10.0	PK10.0	PO10.0	PS10.0
NK	PK	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
NP	SRT	0.220	0.205	0.203	0.201	0.199	0.197	0.195
NK	YK	0.195	0.180	0.178	0.175	0.174	0.172	0.170
SFR	PK	0.243	0.228	0.226	0.224	0.222	0.220	0.219
SFR	SRT	0.218	0.203	0.201	0.199	0.197	0.195	0.193
SFR	YK	0.193	0.178	0.176	0.174	0.172	0.170	0.168
PK	PK	0.241	0.226	0.224	0.222	0.220	0.218	0.216
PK	SRT	0.216	0.201	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191
PK	YK	0.191	0.176	0.174	0.172	0.170	0.168	0.166

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63

Şekil III.22 Zeki Kontrolör Ekranı

integral katsayısı değerleri görülmektedir. Kural tabanında yer alan etki değerleri filtrasyon işlemi devam ederken (on-line) değiştirilebilir ve birden fazla ayrı dosyalarda saklanabilir. Böylece, istenirse geriye dönük çalışmaların gözden geçirilmesi sağlanmış olur. Deney seti çalıştırılmadan önce, bu ekrandan referans değeri (C_{ref}), örnekleme zamanı ve gerekirse integral katsayısı girilir. Bulanık kontrolörün hangi kurallara girdiği, ekranın sağ bölümünde bulunan tablodaki rakamların rengi yeşile dönüşmesi ile izlenmektedir.

Şekil III.22'de deney setinin otomasyonunu gerçekleştiren yazılımın akış şeması gösterilmiştir.



Şekil III.23 Deney Seti Yazılımı Akış Şeması

Otomasyon yazılımı çalıştırıldığında, sırasıyla aşağıdaki bilgilerin karşılık gelen değerlerinin girilmesi istenmektedir.

Örnekleme zamanı,
Çıkış bulanıklığı,
Maksimum yük kaybı,
Maksimum bulanıklık,

Bu bilgiler klavyeden girildikten sonra, önce geri yıkama işlemi devreye girer. Eğer istenirse filtrasyona geçilir. Filtrasyon süresi müsaade edilen maksimum yük kaybı sınırı ya da çıkış kalitesi sınırına kadar devam eder. Filtrasyon esnasında filtre yatağından 40 ayrı noktadan alınan basınç bilgileri bir dosya halinde veri tabanına kaydedilir. Veriler, elektrik kesilmesi durumunda veri tabanında korunabilmektedir. Bulanıklık, debi, yük kaybı, sıcaklık ve alum dozu oranı (kontrol işareti) aynı şekilde bir başka dosyada saklanır. Filtrasyon esnasında bütün değişkenler bilgisayar ekranından anlık olarak izlenebilmektedir.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

IV.1. GİRİŞ

Bu bölümde ilk olarak, bulanık kontrolörün giriş değişkenleri sayısı, değişkenlere ait bulanık alt küme sayıları ve sınır değerleri tartışılmış ve en iyi kontrol performansının sağlanması için, integral kontrolörün katsayısının seçimi incelenmiştir. Çıkış bulanıklığı kontrolü için sadece bulanık kontrolör kullanıldığında, kalıcı hal hatası (ofset) oluşmuştur. Bunun yanında kontrol performansına etki eden örnekleme zamanı, denemeler sonucunda deney seti için en uygun olarak tespit edilmiştir. İkinci olarak sabit ve zeki kontrollü alum dozunda filtrenin bozucu etkilere cevapları karşılaştırılmıştır. Son olarak, zeki kontrollü alum dozunda yapılan filtrasyon deney sonuçları üçüncü bölümde sabit alum dozunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

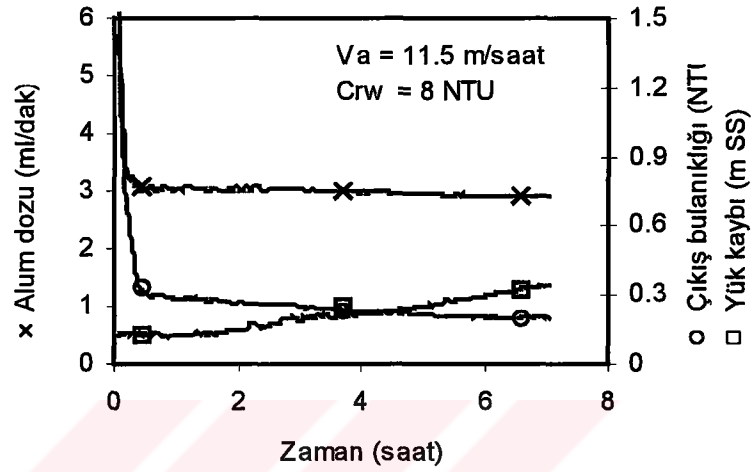
IV.2 FİLTRE ÇIKIŞ BULANIKLIĞI KONTROLÜ

Çıkış bulanıklığı kontrol performansının iyileştirilmesi için, ilk aşamada sadece bulanık kontrolör kullanılarak giriş değişkenleri, değişkenlere ait bulanık küme sayıları ve sınır değerleri üzerinde en iyi sonuçlar alınana kadar denemeler yapılmıştır. İkinci aşamada, oluşan kalıcı hal hatası probleminin çözümü için, sisteme integral kontrolörün eklenmesine karar verilmiştir.

IV.2.1 Bulanık Kontrolör

Çıkış bulanıklığı kontrolünde ilk çalışmalarda 168 kurallı bulanık kontrolör kullanılmıştır. Bu kontrolörde, giriş değişkenleri olarak çıkış bulanıklığı, çıkış bulanıklığı hatası ve hata farkı, referans bulanıklık, ham su ve filtre debisi kullanılmıştır. Kontrolörün 168 kurala çıkmasının ana nedeni, giriş değişkenlerinin fazlalığından kaynaklanmıştır. Bu durumda, etki değerleri sayısı kural sayısı kadar olduğundan ve giriş değişkenlerin çıkış bulanıklığına etkisine göre girildiğinden, kontrol deneme çalışmaları zorlaşmıştır. Giriş değişkenlerine göre etki değerleri arasındaki bütünlük sağlanılamamıştır. Örneğin, bozucu etki deneylerinde kontrolör,

debiye karşı etkili kontrol yaparken, ham suya karşı duyarlılığı bozulmuştur. Bulanık kontrolle, yaşanan bir başka sorun, kalıcı hal hatasının oluşmasıdır. 168 kurallı bulanık kontrolörle yapılan filtrasyon deneyinde elde edilen sonuç, Şekil IV.1’de gösterilmiştir. Şekil IV.1 ’de görüldüğü gibi, çıkış bulanıklığı 0.3 NTU’luk değerinde sabit tutulamamıştır.

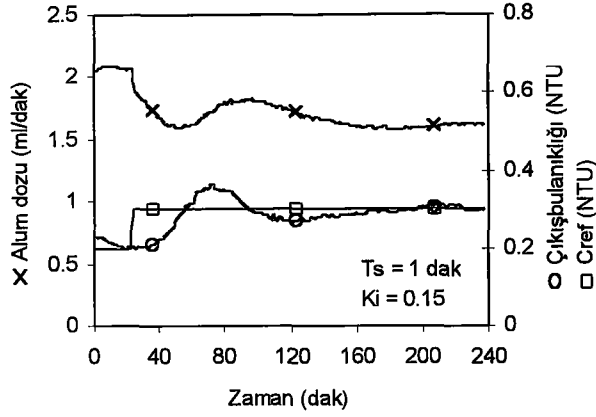


Şekil IV.1 Sabit filtre hızı ve 0.3' NTU'luk referansa göre çıkış bulanıklığı kontrolü

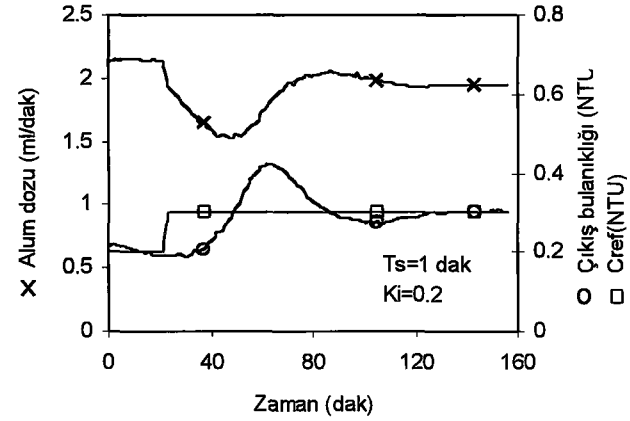
IV.2.2 İntegral Kontrolör

Çıkış bulanıklığı kontrolünde oluşan kalıcı hal hatasını gidermek için integral kontrolör kullanılmıştır. İntegral katsayısını (K_I parametresi) deneysel olarak bulabilmek için Şekil IV.2'deki sonuçlar elde edilmiştir.

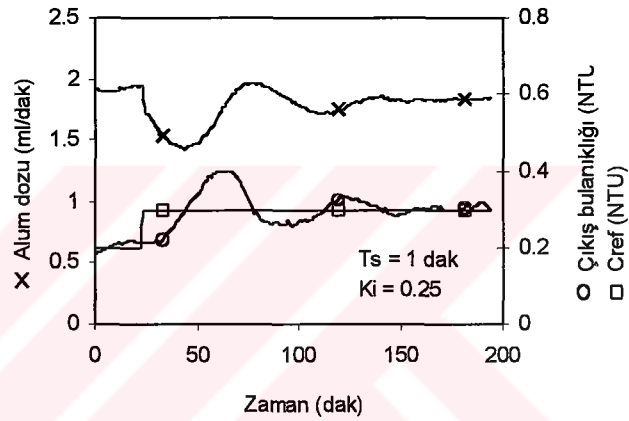
Şekil IV.2.(a)'da C_{ref} referans değeri 0.2 NTU'dan 0.3 NTU'ya basamak şeklinde artırılmıştır. Çıkış bulanıklığı aşım değeri küçük olmasına rağmen yerleşme süresi yaklaşık 180 dakika sürmüştür. Şekil.IV.2.(b)'de, aşım değeri daha büyük olmasına rağmen, oturma süresi yaklaşık 130 dakika sürmüştür. Şekil. IV.2.(c)'de ise, çıkış bulanıklığı daha karasız olmuştur ve yerleşme süresi yaklaşık 160 dakika sürmüştür. Bu sonuca göre, en iyi K_I değerinin 0.2 olduğu tespit edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil IV.2. K_I parametresinin belirlenmesi: $T_s=1$ dak, (a) $K_I=0.15$, (b) $K_I=0.2$, (c) $K_I=0.25$

Yapılan denemeler sonucunda en uygun örnekleme zamanının 1 dakika olduğu tespit edilmiştir. Örnekleme zamanını belirleme çalışmasında, türbidimetre seri port çıkışı 1 dakikadan daha az sürede örnekleme çıkışı veremediği için, 1 dakikanın altına inilememiştir.

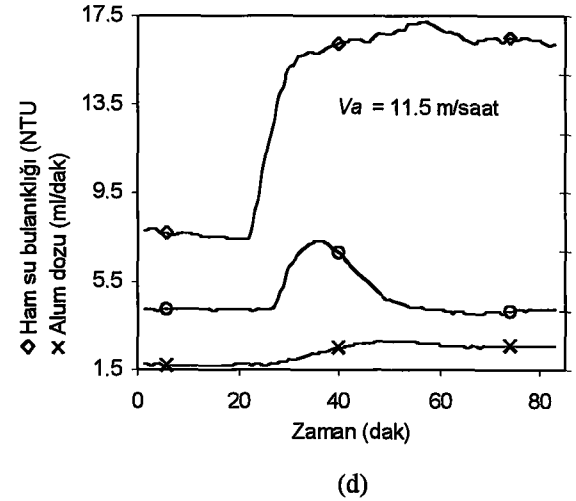
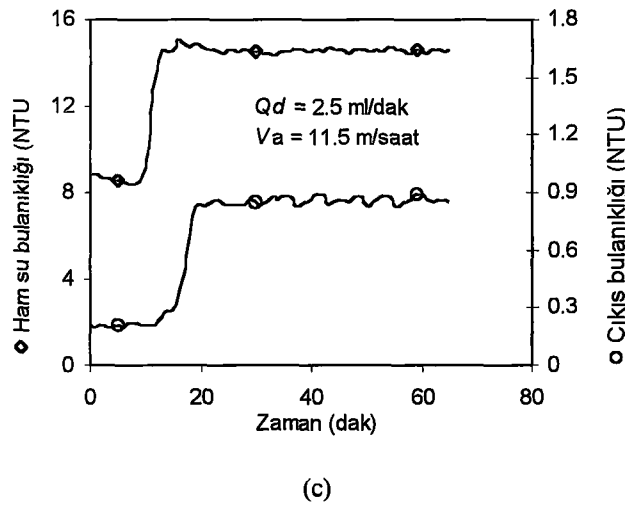
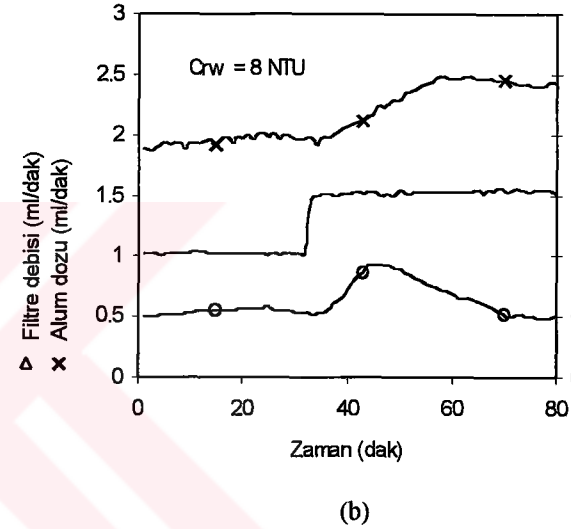
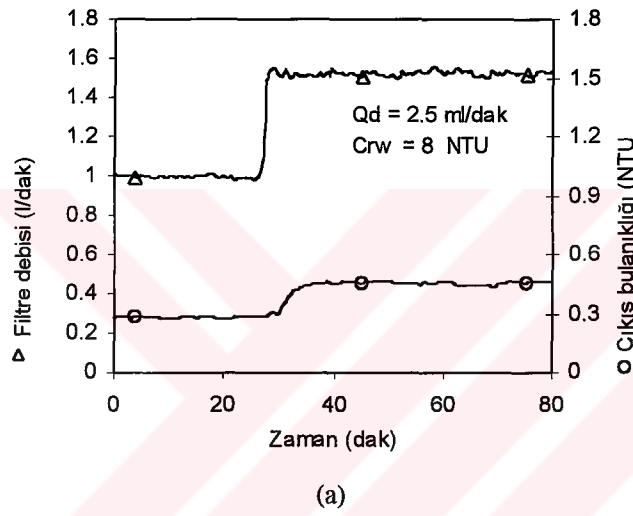
IV.3 SABİT VE ZEKİ KONTROLLÜ ALUM DOZUNDA FİLTRENİN BOZUCU ETKİLERE CEVABI

Bundan sonraki deneylerde 63 kurallı ve integral kontrollü zeki kontrolör kullanılmıştır. Sabit ve zeki kontrollü alum dozunda filtrenin bozucu etkilere cevabı Şekil IV.3 'de, grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil IV.3 (a) ve (c) 'de sabit alum dozu kullanılmıştır. Şekil IV.3.(b) ve (d) de ise, zeki kontrol yöntemi uygulanmıştır.

Şekil IV.3.(a)'da gösterildiği gibi, filtre giriş debisi, 1 l/dak'lık değerden 1.5 l/dak'lık değere basamak şeklinde artırılarak filtreye bozucu etki verilmiştir. Bu durumda, filtre çıkış bulanıklığı da benzeri şekilde artmıştır.

Şekil IV.3.(b)'de filtre debisinin ani değişimine karşı, zeki kontrolör tarafından alum dozu aniden artırılarak, çıkış suyu bulanıklığının artışına engel olunmuştur. Yaklaşık 40 dakikada çıkış bulanıklığı referans değerine oturmuştur.

Şekil IV.3.(c)'de ham su konsantrasyonu 8.5 NTU'dan 14.5 NTU ani olarak artırıldığında, çıkış suyu bulanıklığı da yaklaşık 8.5 dakikalık gecikmeyle 0.3 NTU'dan 3.5 NTU'ya hızla artmıştır.



Şekil IV.3 Debi ve Ham Su Bulanıklığı Bozucu Etkilerine Karşı, Sabit (a ve c) ve Zeki Kontrollü (b ve d) Alumda Filtre Davranışları: (a) ve (c) $Q_d = 2.5$ ml/dak , (b) Debi ani değişimi ve (d) Ham su bulanıklığı ani değişimi

Şekil IV.3 (d)'de, ham su bulanıklığı 8.5 NTU'dan yaklaşık 16 NTU'luk değere ani olarak getirilerek bozucu etki verilmiştir. Zeki kontrolör sayesinde, alum dozu ayarlanarak, çıkış istenilen referansa yaklaşık 30 dakika içinde oturmuştur.

IV.4 ZEKİ KONTROLLÜ FİLTASYON SONUÇLARI

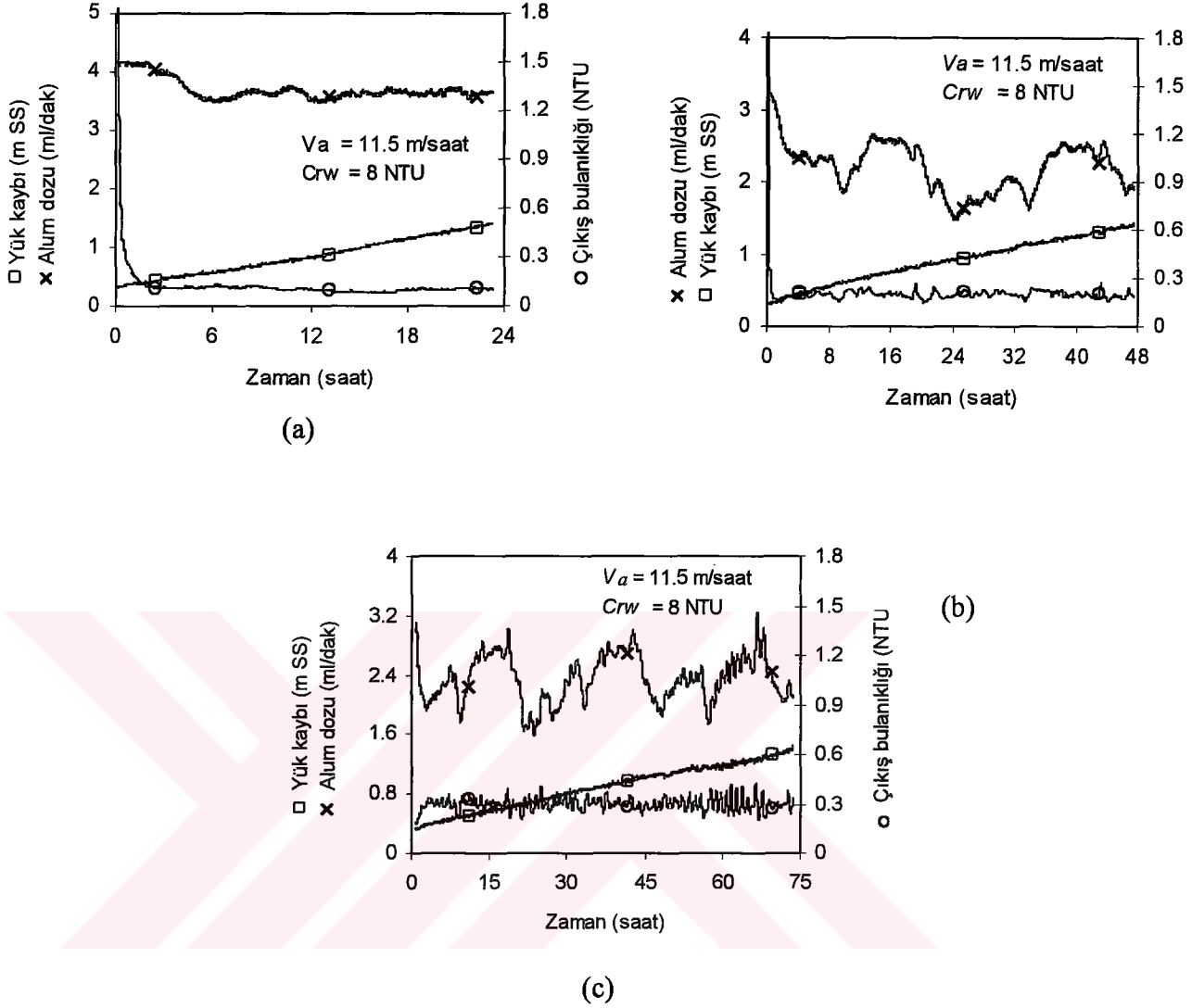
IV.2.1 kısmında bahsedilen çok fazla kural kullanımı sorununu giderebilmek için, debi ve ham su giriş değişkenleri kaldırılarak kural sayısı 63'e indirilmiştir. Kalıcı hal hatasını giderebilmek için de, kontrolöre integratör eklenmiştir Zeki kontrollü deneyler integral kontrolörle paralel çalışan 63 kurallı bulanık kontrolörle gerçekleştirilmiştir.

11.5 m/saat'lık filtre hızında, 0.1, 0.2 ve 0.3 NTU 'luk çıkış bulanıklığı referans değerlerinde, Şekil IV.4'daki grafiksel sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil IV.4.(a)'da filtrasyon süresi yaklaşık 23.5 saat sürmüştür. Yük kaybı filtrasyon süresince lineer artarken, çıkış bulanıklığı 0.1 NTU'luk değerde sabit tutulmuştur.

Şekil IV.4.(b) grafiğinde görüldüğü gibi, filtrasyon süresi yaklaşık 48 saat sürmüştür. Çıkış bulanıklığı, 0.2 NTU'luk değerde düşük salınımlı olarak sabit tutulmuştur. Yük kaybı ise, filtrasyon süresince lineer artmıştır.

Şekil IV.4.(a)'da ise, filtrasyon süresi yaklaşık 72 saat sürmüştür. Çıkış bulanıklığı, 0.1 ve 0.2NTU'luk referanslara göre daha karasız olmuştur.



Şekil IV.4 11.5 m/saat'lık sabit filtre hızı ve farklı çıkış bulanıklığı referans değerlerinde çıkış bulanıklığının kontrol edilmesi (a) $C_{ref} = 0.1$, (b) $C_{ref} = 0.2$ (c) ve $C_{ref} = 0.3$ NTU

Şekil IV.4.(a), (b) ve (c)'de görüldüğü gibi, filtrasyon işlemleri müsaade edilen maksimum yük kaybı sınırından dolayı durdurulmuştur.

Şekil IV.4 (a), (b) ve (c)'deki grafiklere göre, 0.1 NTU'luk referans değerinde en kararlı çıkış elde edilirken yük kaybı da en yüksek olmuştur. Referans değeri arttırıldığında çıkış kararsızlığı da artmıştır. Çıkış bulanıklığı filtrasyon boyunca referans değerlerinde sabit tutulurken, harcanan alum dozu nonlinear olarak değişmiştir.

IV.5 SABİT VE ZEKİ KONTROLLÜ ALUMDA FİLTRASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

11.5 m/saat'lık filtre hızında, sabit alum dozu ve bulanık kontrol yöntemi ile yapılan filtrasyon deney sonuçları sırasıyla Tablo IV. 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo IV.1 Farklı Sabit Alum Dozlarında Filtrasyon Deney Sonuçları

Q_d (ml/dak)	C_f (mg/l)	T_f (dak)	V_f (m3)	m_{alum} (g)	H (m SS)	C_{out} (NTU)	GYO (%)
3	6	1337	2.01	12.03	1.4	0.10	1.99
5	10	994	1.49	14.91	1.4	0.052	2.68
10	20	491	0.74	14.73	1.4	0.045	5.43
15	30	275	0.41	12.38	0.97	0.04	9.69

Tablo IV.1 'yer alan parametre ve değişkenlerden

Q_d	alum dozu (ml/dak)
C_f	alum dozu (mg/l)
T_f	filtrasyon süresini
V_f	arıtılan su miktarını
m_{alum}	filtrasyon boyunca harcanan alum miktarını
H	filtre yük kabını
C_{out}	filtre çıkış suyu bulanıklığını
GYO	geri yıkamada harcanan su oranı

ifade etmektedir.

Farklı sabit alum dozlarında yapılan filtrasyon deneyleri Tablo IV.1'de özetlenmiştir.

Tablo IV.1 tablosunun C_{ou} ve H sütunundaki değerler, filtrasyon sonu değerleridir.

Tablo IV.1'de görüldüğü gibi, en iyi sonuç 6 mg/l 'lik sabit alum dozu ile gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek dozlarda. filtre yük kaybı ve çıkış suyu kalitesi üst sınırları filtrasyon süresini sınırlamıştır.

Tablo IV.2 Zeki Kontrollü Alum Dozunda Filtrasyon Sonuçları

C_{ref} (NTU)	m_{alum}/V_f (mg/l)	T_f (dak)	V_f (m3)	m_{alum} (gr)	H (m SS)	GYO (%)
0.1	7.38	1397	2.10	15.48	1.4	1.90
0.2	4.43	2844	4.27	18.9	1.4	0.94
0.3	3.93	4414	6.62	26	1.4	0.60

Tablo IV.2’de gösterildiği gibi, zeki kontrol yöntemi ile yapılan deneylerde, yük kabı düşük olduğu için, filtrasyon işlemi çok daha uzun sürmüştür. Buna bağlı olarak daha fazla miktarda su arıtımı sağlanılmıştır.

Çıkış bulanıklığı ve filtrasyon süresi açısından benzerlik olduğu için, 6mg/l’lik sabit alum dozunda ve 0.1 NTU’luk çıkış bulanıklığı referans değerinde yapılan filtrasyon deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Zeki kontrol yöntemi ile yapılan filtrasyon deneyi, filtre yük kaybına bağlı olarak 60 dakika daha uzun sürdüğü için, % 4.5 ‘lük daha fazla arıtılmıştır. Buna karşın, zeki kontrol yöntemi ile litre başına % 23’lük daha fazla alum harcanmıştır.

0.2 ve 0.3 NTU’luk çıkış bulanıklığı referanslarında filtrasyon süreleri, 0.1 NTU’luk referansa göre sırasıyla yaklaşık iki ve üç katına çıkmıştır. Buna bağlı olarak arıtılan su miktarları da aynı oranlarda artmıştır. Sonuç olarak, filtrasyon süresi ve arıtılan su miktarı açısından zeki kontrol yöntemi ile daha iyi bir filtre performansı sağlanılmıştır.

Zeki kontrol yöntemiyle yapılan filtrasyon deneylerinde, geri yıkamada kullanılan arıtılmış su, arıtılan suyun % 0.6 ile % 1.9 ‘u arasında olmuştur.

IV.6. SONUÇLAR

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde şöyle sıralanabilir.

- Çıkış bulanıklığı referans değeri yüksek tutulduğunda arıtılan su miktarı filtrasyon süresi ile artarken, litre başına harcanan alum dozu miktarı azalmıştır.
- 4 mg/l civarı ve daha düşük sabit alum dozlarında, istenilen çıkış suyu standardı sağlanılamamıştır.
- Daha yüksek sabit alum dozlarında yük kaybı daha yüksek olurken, çıkış bulanıklığı daha düşük ve kararlı olmuştur.
- 10 mg/l ve daha yukarı sabit alum dozlarında, yük kaybı ve çıkış suyu kalitesi sınırlarından dolayı, filtrasyon süresi kısalmıştır.
- Sabit alum filtrasyon sonuçlarına göre, zeki kontrol yönteminde geri yıkama suyunda % 70’e varan tasarruf sağlanılmıştır.

- 6 mg/l'lık sabit alum dozu filtrasyon sonucuna göre, 0.1 NTU'luk çıkış bulanıklığı referans değerinde % 23 'lük oranda daha fazla alum harcanırken, % 4.5 oranında daha su arıtılmıştır.
- 0.2 ve 0.3 çıkış bulanıklığı referans değerlerinde yapılan zeki kontrollü filtrasyon deneylerinde, 6 mg/l'lık sabit alum dozu filtrasyon sonucuna göre, litre başına sırasıyla % 26 ve % 34.5 oranlarında daha az alum harcanmıştır.
- Sabit alum filtrasyon sonucuna göre, zeki kontrol yöntemi ile daha iyi filtre performansı sağlanmıştır.
- Yük kaybı filtre hızı ve çıkış suyu kalitesi ile doğru orantılı olarak artmıştır.
- Değişken filtre dinamiğinden dolayı alum ihtiyacı zamanla nonlineer olarak değişmiştir.
- Geliştirilen bulanık kontrolör ile, filtre operatörünün yükü hafifletilmiştir; daha güvenli ve sorunsuz çalışma sağlanmıştır.
- Filtreye yüksek dozda alum verildiğinde, ham sudaki ve debideki ani ve büyük değişimler çıkış bulanıklığına fazla yansımamıştır. Ancak, bu durumda yük kaybı artarken filtrasyon süresi kısalmıştır.

BÖLÜM V

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

V.1. GİRİŞ

Bu bölümde, tez çalışması boyunca elde edilen sonuçlar tartışma, değerlendirme ve öneriler başlıkları altında incelenmiştir.

V.2. TARTIŞMA

Çıkış bulanıklığı referans değeri arttırıldıkça, çıkış suyu bulanıklığında az da olsa kararsızlıklar (dalgalanmalar) artmıştır. Bunun nedeni, zeki kontrol yöntemi ile filtreye optimum alum dozu verildiğinde filtrede kritik flokleşmanın oluşmasıdır. Yapılan deneylerde alumun dozu 4 mg/l dozunda verildiğinde, çıkışta büyük dalgalanmalar oluşmuştur. Buna çözüm, alumun belirli bir dozdan daha düşük verilmemesi olabilir. Bununla beraber amaç daha iyi su kalitesi sağlamak olduğundan, yüksek bulanıklık referanslarında (0.15 NTU ve yukarısı) çalışmak tercih edilmez. Diğer taraftan filtre yüksek bulanıklık referansında çalıştırıldığında alum maliyeti çok büyük oranlarda düşmektedir.

Filtrasyon başlangıcında çıkış bulanıklığı 1.5 ile 3 NTU arasında değişmektedir. Filtrasyon başladıktan sonra yaklaşık 20 dakika sonra 1 NTU'nun altına düşülebilmektedir. Bu durum, giardia kisti olan bölgelerde sakıncalı sonuçlar doğurabilir. Çözüm olarak, başlangıçta oluşan bulanıklığın kontrolü için geri yıkama suyuna filtrasyon amaçlı koagülant maddeler eklenebilir.

Yapılan deneysel çalışmalarda çıkış bulanıklığı kullanılan alumla bağlı olarak 0.2 NTU'luk referans değerine 1 saate yakın bir zamanda inebilmektedir. İnış süresi azaltma çalışmalarında bulanık kontrolörünün etki değerleri değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Etki değerleriyle başlangıçta alum dozu yüksek tutulduğunda bulanıklık iniş süresi 40 dakikanın altına düşmesine karşılık çıkış bulanıklığında salınımlar meydana gelmiştir. Alum dozu düşük tutulduğunda, salınımlar oluşmazken, iniş süresi bir saati geçmiştir.

Direkt filtrasyonda bütün askıdaki maddeler filtrede biriktiğinden, filtrasyon hızındaki ani bir artış, filtre içinde birikmiş katıların dışarı çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle, filtre hızının kontrol edilmesi gerekli olabilir.

V.3.DEĞERLENDİRME

Çıkış suyu bulanıklığının kontrol edilmesi ile, optimum alum dozu kullanımı gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak, filtre süresi maksimuma çıkarılmıştır. Sabit alum dozuna göre, daha iyi bir filtre performansı sağlanmıştır.

Eğitim açısından getirilen önemli bir katkı, filtre davranışının ve kontrolünün öğretilmesinde hem manuel hem de otomatik olarak rahatlıkla kullanılabilecek bir yapıda olmasıdır. Bu çalışmada, öğrencilerin otomatik kontrole ve filtrasyona yönelik uygulama yapabilmeleri hedeflenmiştir. Kontrol eğitimine dönük yapılacak deneylerde öğrenci, referans değeri, kontrolör, kontrol işareti, geri besleme ve bozucu etki gibi temel kavramları teorik bilgileri ile daha iyi pekiştirecektir. Çevre konusunda öğretim gören öğrenciler ise, filtrasyon ve geri yıkama işlemlerini, floklaşmayı, alumun bulanıklığa etkisini, direkt filtrasyon ve benzeri yöntemleri uygulamalı olarak öğrenebileceklerdir.

İkinci bölümde belirtildiği gibi, arıtma tesislerine ilk zeki kontrol uygulamalarından biri Sugeno ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, insan makine etkileşimli çalışma esasına dayanmaktadır. Flokların boyutunu uzman göz kararı ile giriş değişkenlerinden biri olarak kullanmıştır. Kontrol değişkeni olarak alum dozu kullanmıştır. Sugeno'nun sisteminde olduğu gibi bu tez çalışmasında da, alum dozu kontrol değişkeni olarak kullanılmıştır. Filtrasyon ve geri yıkama işlemleri tamamen bilgisayarla kontrol edilmiştir. Giriş değişkenleri olarak, bulanıklık referansı, çıkış bulanıklığı hatası ve bu hatanın farkı alınmıştır. Görüldüğü gibi Sugeno'dan farklı olarak bu çalışmada tam bir otomasyon söz konusudur

V.4. ÖNERİLER

Tez çalışması boyunca karşılaşılan problemlerin çözümü, ulaşılan deneysel sonuçlar, sonuçların yorumu ve tartışılması ile elde edilen tecrübe ve birikimlerle, daha sonraki çalışmalara kolaylık sağlaması amacıyla aşağıdaki önerilerin yapılması düşünülmüştür.

- İstanbul'daki konvansiyonel su arıtma tesislerinde, çıkış bulanıklığı 1 NTU'nun altında olup, litre başına harcanan alum dozu 25-30 mg/l arasında değişmektedir. Bu tesislerde direkt filtrasyona geçildiğinde ve zeki kontrol yöntemi uygulandığında, 8-10 mg/l'lik dozlara düşülebilir. Böyle bir uygulama, oldukça önemli miktarlarda kimyasal tasarrufu sağlayabilir.
- Deney setinde çeşitli polimerler kullanılarak, filtre yatağı derinliği ya da malzemesi değiştirilerek ve farklı filtrasyon yöntemleri ve çeşitli kontrol algoritmaları uygulanarak, akademik çalışmalar devam ettirilebilir.
- Bu çalışmanın devamı olarak, alum optimizasyonu ile ilgili simülasyon çalışmaları yapılabilir.
- Gerçekleştirilen deney seti, içme suyu arıtma tesislerinde pilot çalışma tesisi olarak kullanılabilir. Yapılan deneysel çalışmalar, arıtma tesisi saha şartlarında tekrarlanarak daha güvenilir sonuçlar bulunabilir.
- Filtrelerde bulanıklık yanında; pH, oksitleme, renk, tat ve koku gibi değişkenler zeki kontrol yöntemi ile kontrol edilebilir.
- Gerçekleştirilen kontrol algoritması, boya ve tekstil sanayiinde sıkça karşılaşılan karışım problemlerinin çözümünde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Montgomery, J.” Water Treatment Principles and Design ”, *John Wiley and Sons Inc., New York, USA*, (1985) 152-169
- [2] Droste, R.L.,: “Theory and Practice of Water and WastWater Treatment”, *John Wiley and Sons Inc., New York, USA*, (1997) 442.
- [3] Warren V., Hammer M.J.” Water Supply and Pollution”, *Harper Collins Publishers, Inc., New York*, (1985) 351
- [4] Tchobonoglous, G.; Schroeder: “ Water Quality ”, *Addison-Wesley Publishing Company. Inc., USA*, (1987) 506-514
- [5] Lin, C.T.:Lee, G.C.S.: “Neural Fuzzy Systems”, *Prentice Hall, NJ, USA*, (1996) 250
- [6] McCormick; F. R.; King P. H .:”Factors That Affect Use of Direct Filtration In Treating Surface Waters”,*AWWA*, (May,1982) 234-241
- [7] Eroğlu, V.:” Su Tasfiyesi ”, *İTÜ İnşaat Fak. Matbaası*, (1995) 175-190
- [8]. Chuang, C.J.,Li K.Y. “ Effect of Coagulant Dosage and Grain Size On The Performance of Direct Filtration”, *Separation and Purification Technology*, 12 (1997) 229-241
- [9] Vigneswaran, S.;Tulachan, R. K.” Mathematical Modelling of Tansient Behaviour of Deep Bed Filtration”,*Wat. Res.*, 22, (1988) 1093-1100
- [10] Vigneswaran, S.; Chang, J. S.” Experimental Testing of Mathematical Models Describing The Entire Cycle of Filtration ”, *Wat. Res.*, 23, (1989) 1413-1421
- [11] Osmak, S.;Gosak, D.; Glasnovic, A.” Dynamic Mathematical Model of Deep Bed Filtration Process ”, *Computers Chem. Engng*, 21, (1997) 763-768
- [12] Bratby, J. R.” Optimizing Direct Filtration in Brasilia ”, *AWWA*, (July,1986) 106-115
- [13] Schimdt, P.D.;Tobiason, J.E.; Edzwald, J.K.;Dun, H.” DAF Treatment of a Reservoir Wter Supply: Comparision With In-Line Direct Filtration and Control of Organic Matter”, *Wat. Sci. Tech.*, 31, 3-4, (1995) 103-111
- [14] AWWA, “ Water Quality and Treatment”, *Mc-Graw-Hill Inc., 4th Edition, New York*, (1990) 89

- [15] Wagner, E. G.; Hudson H. E.:" Low-Dosage High-Rate Direct Filtration ", *AWWA*, (May, 1982) 256-260
- [16] Bernhardt, H.;Schell, H.:" Energy –Input-Controlled Direct Filtration To Control Progressive Eutrophication ", *AWWA*, (May, 1982) 261-268
- [17] Yüksel, E.:" Direkt Filtrasyonda Ozonlama Etkisi ", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2000) 77-79.
- [18] Logsdon G. S., Fox K.:" Getting Your's Worth From Filtration " , *AWWA*, (May, 1982) 249-261
- [19] Vigneswaran S; Ngo H. H., Hashimoto K.; Hasegawa T.; Watanabe Y.: " High Rate Floatin Medium Flocculation- Filtration With In-Line Polysilicato-Iron (PSI) Addition", *Environmental Technology*, 21, (2000) 317-325
- [20] Hatukai, S.; Tzur Y.B.; Rebhun R.:" Particle Counts and Size Distribution In System Design For Removal Of Turbidity By Granular Deep Bed Filtration", *Wat. Sci. Tech.* ,36. (1997) 225-230
- [21] Kuo, C.J.,Amy G. L; Bryant C.W.:" Factors Affecting Coagulation With Aluminum Sulfate-I ",*Wat. Res.*, 22,(1988) 853-862
- [22] Kuo, C.J.,Amy G. L." Factors Affecting Coagulation With Aluminum Sulfate-II ",*Wat. Res.*, 22,(1988) 863-872
- [23] Cleasby, J. L.; Hilmoe, D. J.; Dimitracopoulos, C. J.: " Slow Sand and Direct In-line Filtration of a Surface Water", *AWWA*, (Aralık,1984) 44-55
- [24] Editorial: " Fuzzy Models –What Are They and Why ?" *IEEE Tran. On Fuzzy Systems*, 1 (1993)
- [25] [Lee, C.C.: " Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part II ", *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, 20, (1990) 419-432
- [26] Nabi, M.: " Fuzzy Logic Control of a Hydraulic Actuator " Quen Mary and West Field Collage, (1993)
- [27] Erdal, H.:" Bir İklimlendirme Odasının Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü ", *Doktora Tezi*, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1998) 40
- [28] M. Sugeno: " An Introductory Survey of Fuzzy Control", *Information Sciences*, 36 (1985) 59-83
- [29] Han, T. H.; Nahm, E. S.; Woo, K.B.; Kim, C. J.; Ryu, J.W.:" Optimization of Coagulant Dosing Process in Water Purification System", ? (1997)

- [30] Baba, A. F.:” İ.T.Ü. Triga Mark II Reaktörünün Bulanık Kontrolü”, *Doktora Tezi, M.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul* (1995) 68
- [31] Hirota, K.: “ Industrial Applications of Fuzzy Technology ”*South Sea Int. Press,(1993)* 147-148
- [32] Altrockand, C.V.; Krause B.:”Water Treatment System ”, *94 conference, San Fransisco, Sept, (1994)*
- [33] Advantech, *PC-LabCard, PCL-818 HG User’s Manual*, Taiwan, (1994)
- [34] Tork, *Solenoid Valfler Kullanım Kılavuzu*, Türkiye, (1993)
- [35] Li, W.:” Design of a hyprid fuzzy logic proportional plus conventional integral-derivative controller”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 6, (1998) 449-463
- [36] Zadeh, L. A.:” Fuzzy Sets”, *Information and Control*, 8 (1965) 338-353
- [37] Mamdani, E. H: “ Applications of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant”, *Proc.IEEE*, 121, (1974) 1585-1588
- [38] Lee, C.C.: “ Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I ”, *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, 20, (1990) 404-418
- [39] Sugeno, M.; Murakami, K.: “ Fuzzy Parking Control of Model Car ”, 23. *IEEE Conference On Decision and Control*, Dec, (1984)
- [40] Mamdani, E.H. Assilian , S.: “ A Fuzzy Logic Controller for a Dynamic Plant ”, *Int. J. Man-Mach. Studies*, 7, (1975),1-13
- [41] Ogata, K. “ Modern Control Engineering” *Prentice-Hall International ,Inc., USA, (1997)*



EKLER

Ek-A Ölçüm Elemanlarının Teknik Özellikler

Deney setinde kullanılan bazı ölçüm cihazlarının teknik özellikleri tablolar halinde verilmiştir.

Tablo Ek A.1 Hach 1720D Türbidimetresinin teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	0-100 NTU
Doğruluk	0-40 NTU arası + % 2 40-100 NTU arası +% 5
Numune cevap süresi	3 saniye
Numune debisi	270 –750 ml/dak
Depolama sıcaklığı	(-20)-60
Çalışma sıcaklığı	0-40 °C
Çalışma nem aralığı	% 5-% 95
Numune sıcaklığı	% 0-50 °C
Çıkış	RS 232 ,0-20 mA veya 4-20 mA (seçime bağlı)
Güç tüketimi	40 VA

Tablo Ek A.2 Pvb-Sense Basınç Algılayıcısı teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	-300 mm Hg - +300 mm Hg
Müsaade edilen aşırı basınç sınırı	+4000 mm Hg
Hassasiyet	5mVolts/mm Hg (+/- %1)
Doğrusallık	< +/- % 1 mm Hg
Çıkış empedansı	300 Ohm +/- %1
Sıfır Ofset	< 25 mm Hg
Çalışma sıcaklığı	15-40 °C

Tablo Ek A.3 Kobold Debimetre

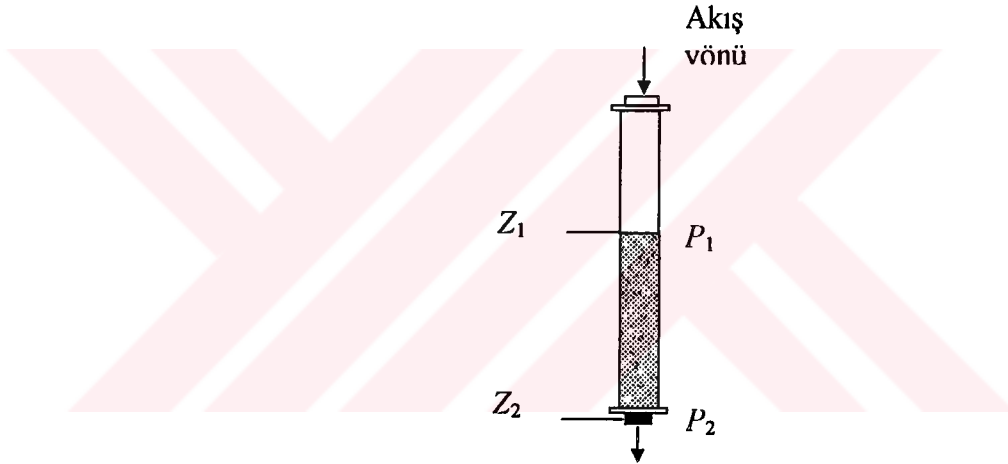
Güç besleme	5-24 VDC (DF-...HP tipleri için)
Pulse Çıkışı	Açık kolektör, NPN, max 15 mA
Doğruluk	% 2.5 tam ölçekli durumda

Ek-B: Yük kaybı

Deneysel çalışmalarda filtre yatak basınçları on-line olarak ölçüldüğü için yük kaybı yatak basınçları cinsinden ifade edilmiştir. Bu nedenle yük kaybı için aşağıdaki analitik çalışma yapılmıştır.

Şekil Ek-B.1’de gösterilen filtre yatağında, statik basınçta P1 ve P2 basınç verileri alınır. Bu değerlerden kot farkı bulunur. Filtrasyona geçildikten sonra aynı basınç noktalarında alınan değerlere kot farkı eklenerek yük kaybı bulunmuş olur. Filtrasyonun ilk analarındaki bu değere ilk yük kaybı denir. Aşağıda yük kaybının bulunuşu Bernoulli teoremine göre anlatılmıştır.

Statik basınçta yani filtre hızı sıfır iken yük kaybı da sıfır demektir. Yük kaybı Bernoulli denklemine göre şu şekilde bulunur.



Şekil Ek B.1 Filtre yatağı yük kaybının bulunması

Şekil Ek-B.1 için, giriş ve çıkıştaki enerji korunumu prensibinden (Bernoulli denklemine)

$$\frac{P_1}{g\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{g\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h \quad (\text{Ek B.1})$$

olarak yazılabilir. Burada,

$V1$ ve $V2$	filtre giriş ve çıkış hızını
$P1$	filtre ortamı giriş yüzeyi basıncını
$P2$	yatak tabanı basıncını
$Z1$ ve $Z2$	yatak seviyesini

G	yerçekimi ivmesini
ρ	suyun özgül ağırlığını

göstermektedir. Filtre yatağı giriş çıkışında $V_1 = V_2$ olduğundan, kinetik enerji ifadeleri ($\frac{V_1^2}{2g}$) birbirini götürür.

$$h = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + z_1 - z_2 \quad (\text{Ek B.2})$$

Burada

$z_1 - z_2$ filtre yatağı kot farkı olarak adlandırılır.

$\rho g = 1$ olarak alınır.

Statik basınçta yük kaybı sıfır olduğundan

$$z_1 - z_2 = P_2 - P_1 \quad (\text{Ek B.3})$$

olur.

Filtre temiz iken statik basınç altında P_2 ve P_1 basınç değerleri ölçülerek kot farkı bulunur.

Ek-C: Kum Analizi

Kum analizi sonuçları, Tablo Ek C.1’de verilmiştir.

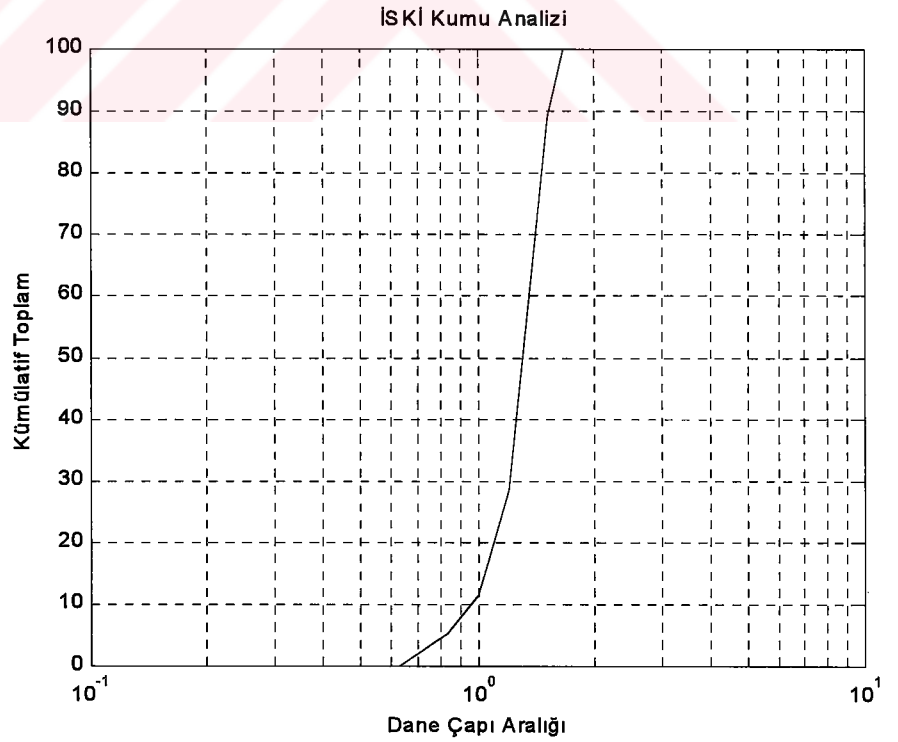
Tablo Ek C.1 Kum Analizi Üniformluk Katsayısının (UC) Bulunması

Dane Çapı Aralığı(mm)	Kum Ağırlığı(kg)	Kümülatif Toplam
0.63-0.84	1.50	1.50
0.84-1.00	1.70	3.20
1.00-1.20	4.80	8.00
1.20-1.52	17.0	25.0
1.52-1.68	3.00	28.0

Üniformluk katsayısı, Tablo Ek C.1’deki verilere göre oluşturulan Şekil Ek C.1’deki grafikten. Ek C.1 denklemi kullanılarak bulunur. Buna göre UC, 1.418 olarak bulunmuştur.

$$UC = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

(Ek C.1)



Şekil Ek C.1 İSKİ Kumu Analizi

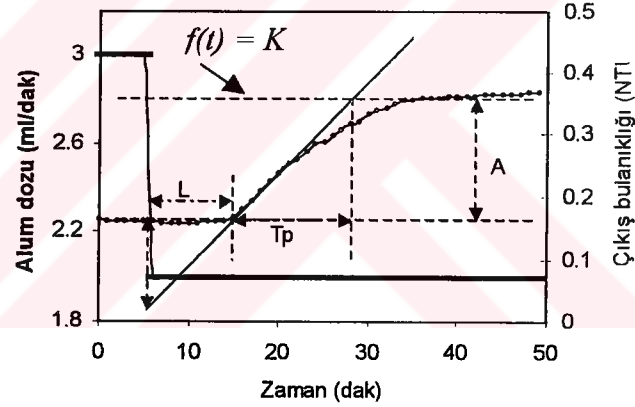
Direkt filtrasyon için tasarım parametrelerinde uygun dane çapı büyüklüğü 1.4-1.6 mm arasında öngörülmüştür. Yatak derinliği ise 1-2 m arası uygun ölçüler olarak kabul edilmiştir [2].



Ek-D : K_I Parametresinin Hesaplanması

Filtrasyon işlemi 3 ml/dak'lık sabit alum dozunda devam ederken, doz oranı 2 ml/dak'lık değere basamak şeklinde düşürüldüğünde elde edilen çıkış bulanıklığı değişimi Şekil Ek D.1'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, koyu çizgi alum dozu eğrisini göstermektedir. Çıkış bulanıklığı cevap eğrisi, birinci dereceden sistem davranışına benzetilebilir.

Çıkış bulanıklığı eğrisi, T_p zaman sabiti ve L gecikme süresi olmak üzere iki sabitle karakterize edilebilir. Zaman sabiti gecikme süresi bitiminden eğriye teğet çizilerek bulunur. Zaman sabiti ve gecikme sürelerinin grafiksel bulunuşu Şekil Ek D.1'de gösterilmiştir. PID parametrelerinin bulunuşu bir çok temel kontrol kitaplarında anlatılmıştır.[41].



Şekil Ek D.1 Zeigler ve Nichols yöntemine göre K_I parametresinin bulunuşu.

Cevap eğrisi (Ek D.1)'de gösterildiği gibi yaklaşık olarak birinci dereceden gecikmeli olarak modellenebilir.

$$C_{out}(s) = -\frac{Ke^{-Ls}}{T_p + 1} Q_d(s) \quad (\text{Ek D.1})$$

Burada, C_{out} : çıkış bulanıklığı cevabını, Q_d : alum dozu oranını göstermektedir.

PID kontrolör, zaman domeninde (Ek D.2) şeklinde yazılabilir. Aynı ifade z-domenine (5)'de gösterildiği gibi çevrilebilir.

$$m(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (\text{Ek D.2})$$

Ayrık forma dönüştürülerek

$$m_n = K \left[e_n + \frac{1}{T_i} \sum_{k=0}^n e_k \Delta t + T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t} \right] \quad (\text{Ek D.3})$$

Burada, $e(t)$: hata, K : kazanç, T_i : integral zaman sabiti, T_s : örnekleme zamanı olarak ifade edilmiştir. (Ek D.3) denkleminin sadece integral kısmı dikkate alınarak işlemler devam ettirilmiştir. Örnekleme zamanı için $T_s = \Delta t$ yazılabilir. Buna göre,

$$K_I = \frac{KT_s}{T_i} \quad (\text{Ek D.4})$$

elde edilir.

Zeigler and Nichols'un önerdiği zaman domeni basamak cevabı yönteminde, PI tipi kontrolör için T_i ve K parametreleri sırasıyla a ve L cinsinden (Ek D.5) ve (Ek D.6)'daki gibi ifade edilmiştir [41].

$$K = \frac{0.9}{a} \quad (\text{Ek D.5})$$

$$T_i = \frac{L}{0.3} \quad (\text{Ek D.6})$$

Burada, a parametresi, Şekil Ek D.1'den üçgenlerin benzerliği özelliği kullanılarak (Ek D.7)'deki gibi yazılabilir.

$$a = \frac{AL}{T_p} \quad (\text{Ek D.7})$$

Önce K ve T_i daha sonra a parametreleri (Ek D.4)'e yerleştirilirse,

$$K_I = \frac{0.27T_p T_s}{AL^2} \quad (\text{Ek D.8})$$

elde edilir.

Tablo Ek D.1 L T_p ve A değerleri

L (dak)	T_p (dak)	A
8.5	14 dak	0.206

Deneyssel olarak Şekil Ek D.1'den bulunan L , T_p ve A değerleri Tablo Ek D.1'de verilmiştir. Bu değerler (Ek D.8)'e yerleştirilirse, $K_I = 0.247$ olarak bulunur. Deneyssel sonuçlardan hareketle 0.2 değeri en uygun değer olarak kullanılabilir.

Ek-E :Zeki Kontrolör Yazılımı

Deney setinde kullanılan filtre otomasyon programının zeki kontrolör yazılım kısmı aşağıda verilmiştir.

```
private
//debi
ACTION : array [1..35] of double;
DOF : array [1..35] of double;
// alum
AACTION : array [1..63] of double;
ADOF : array [1..63] of double;

Qrefv_CDK,Qrefv_DK,Qrefv_ORT,Qrefv_YK,Qrefv_CYK : double;
Qev_NB,Qev_NK,Qev_NO,Qev_SFR,Qev_PK,Qev_PO,Qev_PB : double;

Cev_NB,Cev_NK,Cev_NO,Cev_SFR,Cev_PK,Cev_PO,Cev_PB : double;
dCev_NK,dCev_SFR,dCev_PK : double;
Crefv_DK,Crefv_ORT,Crefv_YK :double;
sumDOF,sumACDOF:double;
Qe,Qref:double;
sumADOF,sumACADOF:double;
Hloss,Crw,dCe,Ce,Cref,Ceold:double;
t,dt:word;
timeold:TDateTime;
Uiold,Ui:double;
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
Q,Cout,Ua,Qd:double;
data:word;

end;

var
frmfuzzy1: Tfrmfuzzy1;
implementation
uses common,ADC,uchart,DAC,DOut,grafik, dozaj;
{$R *.DFM}

const

debirules=35;
alumrules=63;
```

****debi farkı(hata,Qe) üyelik fonksiyon kümeleri sınır değerleri****

Qe_NB1= -0.1; Qe_NO1= -0.15; Qe_NK1= -0.06; Qe_SFR1= -0.03;
Qe_NB2= -0.1; Qe_NO2= -0.06; Qe_NK2= -0.03; Qe_SFR2= 0;
Qe_NB3= -0.06; Qe_NO3= -0.03; Qe_NK3= 0; Qe_SFR3= 0.03;

Qe_PK1= 0; Qe_PO1= 0.03; Qe_PB1=0.06;
Qe_PK2= 0.03; Qe_PO2= 0.06; Qe_PB2= 0.1;
Qe_PK3=0.06; Qe_PO3= 0.15; Qe_PB3=0.1;

****referans debi(Qref) üyelik fonksiyon kümeleri sınır değerleri****

Qref_CDK1=0.5; Qref_DK1=0.5; Qref_ORT1=0.8;
Qref_CDK2=0.5; Qref_DK2=0.8; Qref_ORT2=1.1;
Qref_CDK3=0.8; Qref_DK3=1.1; Qref_ORT3=1.4;

Qref_YK1=1.1; Qref_CYK1=1.4;
Qref_YK2=1.4; Qref_CYK2=2;
Qref_YK3=2; Qref_CYK3=2;

****çıkış konsantrasyon hatası(Ce) üyelik fonksiyon kümeleri sınır değerleri****

Ce_NB1= -3; Ce_NO1= -3; Ce_NK1=-0.1; Ce_SFR1= -0.05;
Ce_NB2= -3; Ce_NO2= -0.1; Ce_NK2=-0.05; Ce_SFR2= 0;
Ce_NB3= -0.1; Ce_NO3= -0.05; Ce_NK3=0; Ce_SFR3= 0.05;

Ce_PK1= 0; Ce_PO1= 0.05; Ce_PB1=0.1;
Ce_PK2= 0.05; Ce_PO2= 0.1; Ce_PB2= 0.3;
Ce_PK3= 0.1; Ce_PO3= 0.3; Ce_PB3=0.3;

****dCe üyelik fonksiyon kümeleri sınır değerleri****

dCe_NK1 = -0.04; dCe_SFR1 = -0.04; dCe_PK1 = 0;
dCe_NK2 = -0.04; dCe_SFR2 = 0; dCe_PK2 = 0.04;
dCe_NK3 = 0; dCe_SFR3 = 0.04; dCe_PK3 = 0.04;

****referans Cref(Cref) üyelik fonksiyon kümeleri sınır değerleri****

Cref_DK1=0.0; Cref_ORT1=0.0; Cref_YK1=0.25;
Cref_DK2=0.0; Cref_ORT2=0.25; Cref_YK2=0.50;
Cref_DK3=0.25; Cref_ORT3=0.50; Cref_YK3=0.50;

****GİRİŞ DEĞİŞKENLERİNİN ÜYELİK FONKSİYONLARININ
OLUŞTURULMASI (fuzzification)****

```
function TRIANGLEUP(x,x1,x2:double):double;//çıkan kenar
begin
    TRIANGLEUP:=(x-x1)/(x2-x1);
end;
```

```
function TRIANGLEDWN(x,x2,x3:double):double;//inen kenar
begin
    TRIANGLEDWN:=(x3-x)/(x3-x2);
end;
```

*****İKİLİ-ÜÇLÜ-BEŞLİ AND VE OR BULANIK MANTIK
İŞLEMLERİ*****

```
Function f_AND2(r1,r2:double):double; //iki değerden küçüğünün seçilmesi
begin
    if r1 < r2 then
        f_AND2:=r1
    else
        f_AND2:=r2
    end;
```

```
Function f_OR2(r1,r2:double):double; //iki değerden büyüğünün seçilmesi
begin
    if r1 > r2 then
        f_OR2:=r1
    else
        f_OR2:=r2
    end;
```

**** AND çıkarım yöntemi

```
Function f_AND3(r1,r2,r3:double):double; //üç değerden küçüğünün seçilmesi
begin
    f_AND3:=f_AND2(f_AND2(r1,r2),r3);
end;
```

```
Function f_OR3(a,b,c:double):double; //üç değerden büyüğünün seçilmesi
begin
    f_OR3:=f_OR2(f_OR2(a,b),c);
end;
```

```
Function f_AND5(r1,r2,r3,r4,r5:double):double; //beş değerden en küçüğünün seçilmesi
begin
    f_AND5:=f_AND3(f_AND3(r1,r2,r3),r4,r5);
end;
```

```
Function f_OR5(a,b,c,d,e:double):double; //beş değerden en büyüğünün seçilmesi
begin
    f_OR5:=f_OR3(f_OR3(a,b,c),d,e);
end;
```

//Çarpım çıkarım yöntemi

```
{Function f_AND(r1,r2,r3:double):double; //beş değerden küçüğünün seçilmesi
begin
    f_AND:=r1*r2*r3;
end; }
```

***** DEBİ FARKI(Qe) ÜYELİK FONKSİYON KÜMELERİ DEĞERLERİNİ
HESAPLAYAN FONKSİYONLAR,Qe:Q farkı*****

```
Function Qe_NB(Qe:double):double;
begin
    if (Qe<=Qe_NB1) then
        Qe_NB:=1
    else
        if (Qe>Qe_NB2) and (Qe<Qe_NB3)then
            Qe_NB:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_NB2,Qe_NB3)
        else
            Qe_NB:=0;
end;
```

```
Function Qe_NO(Qe:double):double;
begin
    if (Qe>Qe_NO1) And (Qe<Qe_NO2)then
        Qe_NO:=TRIANGLEUP(Qe,Qe_NO1,Qe_NO2)
    else
        if (Qe=Qe_NO2) then
            Qe_NO:=1
        else
            if (Qe>Qe_NO2) And (Qe<Qe_NO3) then
                Qe_NO:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_NO2,Qe_NO3)
            else
                Qe_NO:=0
end;
```

```
Function Qe_NK(Qe:double):double;
begin
    if (Qe>Qe_NK1) And (Qe<Qe_NK2)then
        Qe_NK:=TRIANGLEUP(Qe,Qe_NK1,Qe_NK2)
    else
        if (Qe=Qe_NK2) then
            Qe_NK:=1
        else
```

```

        if (Qe>Qe_NK2) And (Qe<Qe_NK3) then
            Qe_NK:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_NK2,Qe_NK3)
        else
            Qe_NK:=0
    end;

Function Qe_SFR(Qe:double):double;
begin
    if (Qe>Qe_SFR1) And (Qe<Qe_SFR2)then
        Qe_SFR:=TRIANGLEUP(Qe,Qe_SFR1,Qe_SFR2)
    else
        if (Qe=Qe_SFR2) then
            Qe_SFR:=1
        else
            if (Qe>Qe_SFR2) And (Qe<Qe_SFR3) then
                Qe_SFR:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_SFR2,Qe_SFR3)
            else
                Qe_SFR:=0
        end;
    end;

Function Qe_PK(Qe:double):double;
begin
    if (Qe>Qe_PK1) And (Qe<Qe_PK2)then
        Qe_PK:=TRIANGLEUP(Qe,Qe_PK1,Qe_PK2)
    else
        if (Qe=Qe_PK2) then
            Qe_PK:=1
        else
            if (Qe>Qe_PK2) And (Qe<Qe_PK3) then
                Qe_PK:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_PK2,Qe_PK3)
            else
                Qe_PK:=0
        end;
    end;

Function Qe_PO(Qe:double):double;
begin
    if (Qe>Qe_PO1) And (Qe<Qe_PO2)then
        Qe_PO:=TRIANGLEUP(Qe,Qe_PO1,Qe_PO2)
    else
        if (Qe=Qe_PO2) then
            Qe_PO:=1
        else
            if (Qe>Qe_PO2) And (Qe<Qe_PO3) then
                Qe_PO:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_PO2,Qe_PO3)
            else
                Qe_PO:=0
        end;
    end;

```

```
Function Qe_PB(Qe:double):double;
begin
```

```
    if (Qe>Qe_PB1) And (Qe<Qe_PB2)then
        Qe_PB:=TRIANGLEUP(Qe,Qe_PB1,Qe_PB2)
    else
        if Qe>=Qe_PB2 then
            Qe_PB:=1
        else
            {if (Qe>Qe_PB2) And (Qe<Qe_PB3) then
                Qe_PB:=TRIANGLEDWN(Qe,Qe_PB2,Qe_PB3)
            else}
            Qe_PB:=0;
    end;
```

*****DEBİ REFERANS ÜYELİK FONKSİYON KÜMELERİ DEĞERLERİNİ
HESAPLAYAN FONKSİYONLAR*****

```
Function Qref_CDK(Qref:double):double;
begin
    if (Qref>Qref_CDK2) And (Qref<Qref_CDK3)then
        Qref_CDK:=TRIANGLEDWN(Qref,Qref_CDK2,Qref_CDK3)
    else
        Qref_CDK:=0
    end;
```

```
Function Qref_DK(Qref:double):double;
begin
    if (Qref>Qref_DK1) And (Qref<Qref_DK2)then
        Qref_DK:=TRIANGLEUP(Qref,Qref_DK1,Qref_DK2)
    else
        if Qref=Qref_DK2 then
            Qref_DK:=1
        else
            if (Qref>Qref_DK2) And (Qref<Qref_DK3) then
                Qref_DK:=TRIANGLEDWN(Qref,Qref_DK2,Qref_DK3)
            else
                Qref_DK:=0
    end;
```

```
Function Qref_ORT(Qref:double):double;
begin
    if (Qref>Qref_ORT1) And (Qref<Qref_ORT2)then
        Qref_ORT:=TRIANGLEUP(Qref,Qref_ORT1,Qref_ORT2)
    else
        if (Qref=Qref_ORT2) then
            Qref_ORT:=1
        else
```

```

        if (Qref>Qref_ORT2) And (Qref<Qref_ORT3) then
            Qref_ORT:=TRIANGLEDWN(Qref,Qref_ORT2,Qref_ORT3)
        else
            Qref_ORT:=0
    end;

```

```

Function Qref_YK(Qref:double):double;
begin
    if (Qref>Qref_YK1) And (Qref<Qref_YK2)then
        Qref_YK:=TRIANGLEUP(Qref,Qref_YK1,Qref_YK2)
    else
        if (Qref=Qref_YK2) then
            Qref_YK:=1
        else
            if (Qref>Qref_YK2) And (Qref<Qref_YK3) then
                Qref_YK:=TRIANGLEDWN(Qref,Qref_YK2,Qref_YK3)
            else
                Qref_YK:=0
    end;

```

```

Function Qref_CYK(Qref:double):double;
begin
    if (Qref>Qref_CYK1) And (Qref<Qref_CYK2)then
        Qref_CYK:=TRIANGLEUP(Qref,Qref_CYK1,Qref_CYK2)
    else
        if Qref >= Qref_CYK2 then
            Qref_CYK:=1
        else
            Qref_CYK:=0
    end;

```

//***** Ce ÜYELİK FONKSİYON KÜMELERİ DEĞERLERİNİ HESAPLAYAN
 FONKSİYONLAR,Ce:bulanıklık konsantrasyonu farkı*****

```

Function Ce_NB(Ce:double):double;
begin
    if (Ce<=Ce_NB2) then
        Ce_NB:=1
    else
        if (Ce>Ce_NB2) and (Ce<Ce_NB3)then
            Ce_NB:=TRIANGLEDWN(Ce,Ce_NB2,Ce_NB3)
        else
            Ce_NB:=0;
    end;

```

```

Function Ce_NO(Ce:double):double;
begin
    if (Ce>Ce_NO1) And (Ce<=Ce_NO2)then

```

```

    Ce_NO:=TRIANGLEUP(Ce,Ce_NO1,Ce_NO2)
else
    if (Ce>Ce_NO2) And (Ce<=Ce_NO3) then
        Ce_NO:=TRIANGLEDWN(Ce,Ce_NO2,Ce_NO3)
    else
        Ce_NO:=0;
end;

Function Ce_NK(Ce:double):double;
begin

    if (Ce>Ce_NK1) And (Ce<Ce_NK2)then
        Ce_NK:=TRIANGLEUP(Ce,Ce_NK1,Ce_NK2)
    else
        if (Ce=Ce_NK2) then
            Ce_NK:=1
        else
            if (Ce>Ce_NK2) And (Ce<Ce_NK3) then
                Ce_NK:=TRIANGLEDWN(Ce,Ce_NK2,Ce_NK3)
            else
                Ce_NK:=0;
        end;
    end;

Function Ce_SFR(Ce:double):double;
begin

    if (Ce>Ce_SFR1) And (Ce<Ce_SFR2)then
        Ce_SFR:=TRIANGLEUP(Ce,Ce_SFR1,Ce_SFR2)
    else
        if (Ce=Ce_SFR2) then
            Ce_SFR:=1
        else
            if (Ce>Ce_SFR2) And (Ce<Ce_SFR3) then
                Ce_SFR:=TRIANGLEDWN(Ce,Ce_SFR2,Ce_SFR3)
            else
                Ce_SFR:=0;
        end;
    end;

Function Ce_PK(Ce:double):double;
begin

    if (Ce>Ce_PK1) And (Ce<Ce_PK2)then
        Ce_PK:=TRIANGLEUP(Ce,Ce_PK1,Ce_PK2)
    else
        if (Ce=Ce_PK2) then
            Ce_PK:=1
        else
            if (Ce>Ce_PK2) And (Ce<Ce_PK3) then
                Ce_PK:=TRIANGLEDWN(Ce,Ce_PK2,Ce_PK3)
            else

```

```

        Ce_PK:=0
end;

Function Ce_PO(Ce:double):double;
begin
    if (Ce>Ce_PO1) And (Ce<Ce_PO2)then
        Ce_PO:=TRIANGLEUP(Ce,Ce_PO1,Ce_PO2)
    else
        if (Ce=Ce_PO2) then
            Ce_PO:=1
        else
            if (Ce>Ce_PO2) And (Ce<Ce_PO3) then
                Ce_PO:=TRIANGLEDWN(Ce,Ce_PO2,Ce_PO3)
            else
                Ce_PO:=0
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

Function Ce_PB(Ce:double):double;
begin
    if (Ce>Ce_PB1) And (Ce<Ce_PB2)then
        Ce_PB:=TRIANGLEUP(Ce,Ce_PB1,Ce_PB2)
    else
        if Ce>=Ce_PB2 then Ce_PB:=1
        else
            Ce_PB:=0
        end;
    end;
end;

```

//*****dCe ÜYELİK FONKSİYON KÜMELERİ DEĞERLERİNİ
 HESAPLAYAN FONKSİYONLAR*****

```

Function dCe_NK(dCe:double):double;
begin
    if (dCe<=dCe_NK2) then
        dCe_NK:=1
    else
        if (dCe>dCe_NK2) And (dCe<dCe_NK3)then
            dCe_NK:=TRIANGLEDWN(dCe,dCe_NK2,dCe_NK3)
        else
            dCe_NK:=0
        end;
    end;
end;

```

```

Function dCe_SFR(dCe:double):double;
begin
    if (dCe>dCe_SFR1) And (dCe<=dCe_SFR2)then
        dCe_SFR:=TRIANGLEUP(dCe,dCe_SFR1,dCe_SFR2)
    else
        if (dCe>dCe_SFR2) And (dCe<dCe_SFR3) then

```

```

        dCe_SFR:=TRIANGLEDWN(dCe,dCe_SFR2,dCe_SFR3)
    else
        dCe_SFR:=0
end;

```

```

Function dCe_PK(dCe:double):double;
begin
    if (dCe>dCe_PK1) And (dCe<dCe_PK2)then
        dCe_PK:=TRIANGLEUP(dCe,dCe_PK1,dCe_PK2)
    else
        if dCe>= dCe_PK2 then dCe_PK:=1
        else
            dCe_PK:=0
end;

```

////*Cref(referans)ÜYELİK FONKSİYON KÜMELERİ DEĞERLERİNİ HESAPLAYAN FONKSİYONLAR**

```

Function Cref_DK(Cref:double):double;
begin
    if (Cref<=Cref_DK2) then
        Cref_DK:=1
    else
        if (Cref>=Cref_DK2) And (Cref<Cref_DK3)then
            Cref_DK:=TRIANGLEDWN(Cref,Cref_DK2,Cref_DK3)
        else
            Cref_DK:=0
end;

```

```

Function Cref_ORT(Cref:double):double;
begin
    if (Cref>Cref_ORT1) And (Cref<=Cref_ORT2)then
        Cref_ORT:=TRIANGLEUP(Cref,Cref_ORT1,Cref_ORT2)
    else
        if (Cref>Cref_ORT2) And (Cref<Cref_ORT3) then
            Cref_ORT:=TRIANGLEDWN(Cref,Cref_ORT2,Cref_ORT3)
        else
            Cref_ORT:=0
end;

```

```

Function Cref_YK(Cref:double):double;
begin
    if (Cref>Cref_YK1) And (Cref<Cref_YK2)then
        Cref_YK:=TRIANGLEUP(Cref,Cref_YK1,Cref_YK2)
    else
        if Cref>=Cref_YK2 then

```

```

        Cref_YK:=1
    else
        Cref_YK:=0
    end;

end;

// giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyon değerlerinin sıfırlanması

Procedure Tfrmfuzzy1.Sifirla;
begin
    //debi kontrol

    Qe:=0;      Qref:=0;
    Qev_NB:=0;  Qrefv_CDK:=0;
    Qev_NO:=0;  Qrefv_DK:=0;
    Qev_NK:=0;  Qrefv_ORT:=0;
    Qev_SFR:=0; Qrefv_YK:=0;
    Qev_PK:=0;  Qrefv_CYK:=0;
    Qev_PO:=0;
    Qev_PB:=0;

    //bulanıklık(alum) kontrol

    Ce:=0;      dCe:=0;      Cref:=0;
    Cev_NB:=0;  dCev_NK:=0;  Crefv_DK:=0;
    Cev_NO:=0;  dCev_SFR:=0; Crefv_ORT:=0;
    Cev_NK:=0;  dCev_PK:=0;  Crefv_YK:=0;
    Cev_SFR:=0;
    Cev_PK:=0;
    Cev_PO:=0;
    Cev_PB:=0;

end;
//Qe,Qreferans üyelik fonksiyon kümelerinin değerlerinin hesaplanması

Procedure Tfrmfuzzy1.CalculateFuzzySets;
begin
    // debi kontrol
    Qev_NB:=Qe_NB(Qe);  Qrefv_CDK:=Qref_CDK(Qref);
    Qev_NO:=Qe_NO(Qe);  Qrefv_DK:=Qref_DK(Qref);
    Qev_NK:=Qe_NK(Qe);  Qrefv_ORT:=Qref_ORT(Qref);
    Qev_SFR:=Qe_SFR(Qe); Qrefv_YK:=Qref_YK(Qref);
    Qev_PK:=Qe_PK(Qe);  Qrefv_CYK:=Qref_CYK(Qref);
    Qev_PO:=Qe_PO(Qe);
    Qev_PB:=Qe_PB(Qe);
end;

```

```
// Ce,dCe,Cref,Q,Hloss üyelik fonksiyon değerlerinin hesaplanması
Procedure Tfrmfuzzy1.AlumCalculateFuzzySets;
begin
```

```
    Cev_NB:=Ce_NB(Ce);    Crefv_DK:=Cref_DK(Cref);
    Cev_NO:=Ce_NO(Ce);    Crefv_ORT:=Cref_ORT(Cref);
    Cev_NK:=Ce_NK(Ce);    Crefv_YK:=Cref_YK(Cref);
    Cev_SFR:=Ce_SFR(Ce);
    Cev_PK:=Ce_PK(Ce);
    Cev_PO:=Ce_PO(Ce);
    Cev_PB:=Ce_PB(Ce);
```

```
    dCev_NK:=dCe_NK(dCe);
    dCev_SFR:=dCe_SFR(dCe);
    dCev_PK:=dCe_PK(dCe);
```

```
end;
```

```
procedure Tfrmfuzzy1.FuzzyController;// Kuralların Sonuçları DOF'a atanıyor.
```

```
begin
```

```
// ilerigeri(1):kapa,--- ilerigeri2(2):aç,--- ilerigeri(0):dur
```

```
//debi Kontrol
```

```
    DOF[1]:= f_AND2(Qev_NB,Qrefv_CDK);    DOF[6]:=
f_AND2(Qev_NO,Qrefv_CDK);
    DOF[2]:= f_AND2(Qev_NB,Qrefv_DK);    DOF[7]:=
f_AND2(Qev_NO,Qrefv_DK);
    DOF[3]:= f_AND2(Qev_NB,Qrefv_ORT);    DOF[8]:=
f_AND2(Qev_NO,Qrefv_ORT);
    DOF[4]:= f_AND2(Qev_NB,Qrefv_YK);    DOF[9]:=
f_AND2(Qev_NO,Qrefv_YK);
    DOF[5]:= f_AND2(Qev_NB,Qrefv_CYK);
    DOF[10]:=f_AND2(Qev_NO,Qrefv_CYK);
```

```
    DOF[16]:= f_AND2(Qev_SFR,Qrefv_CDK);    DOF[21]:=
f_AND2(Qev_PK,Qrefv_CDK);
    DOF[17]:= f_AND2(Qev_SFR,Qrefv_DK);    DOF[22]:=
f_AND2(Qev_PK,Qrefv_DK);
    DOF[18]:= f_AND2(Qev_SFR,Qrefv_ORT);    DOF[23]:=
f_AND2(Qev_PK,Qrefv_ORT);
    DOF[19]:= f_AND2(Qev_SFR,Qrefv_YK);    DOF[24]:=
f_AND2(Qev_PK,Qrefv_YK);
    DOF[20]:= f_AND2(Qev_SFR,Qrefv_CYK);    DOF[25]:=
f_AND2(Qev_PK,Qrefv_CYK);
```

```

DOF[26]:= f_AND2(Qev_PO,Qrefv_CDK); DOF[31]:=
f_AND2(Qev_PB,Qrefv_CDK);
DOF[27]:= f_AND2(Qev_PO,Qrefv_DK); DOF[32]:=
f_AND2(Qev_PB,Qrefv_DK);
DOF[28]:= f_AND2(Qev_PO,Qrefv_ORT); DOF[33]:=
f_AND2(Qev_PB,Qrefv_ORT);
DOF[29]:= f_AND2(Qev_PO,Qrefv_YK); DOF[34]:=
f_AND2(Qev_PB,Qrefv_YK);
DOF[30]:= f_AND2(Qev_PO,Qrefv_CYK); DOF[35]:=
f_AND2(Qev_PB,Qrefv_CYK);

```

end;

//Bulanıklık kontrolü bulanık kontrol kuralları

procedure Tfrmfuzzy1.AlumFuzzyController;// Kuralların Sonuçları DOF'a atanıyor.

begin

// 1

```

ADOF[1]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_NB); ADOF[4]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_NB);
ADOF[2]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_NB); ADOF[5]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_NB);
ADOF[3]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_NB); ADOF[6]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_NB);

```

```

ADOF[7]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_NB);
ADOF[8]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_NB);
ADOF[9]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_NB);

```

//2

```

ADOF[10]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_NO); ADOF[13]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_NO);
ADOF[11]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_NO); ADOF[14]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_NO);
ADOF[12]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_NO); ADOF[15]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_NO);

```

```

ADOF[16]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_NO);
ADOF[17]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_NO);
ADOF[18]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_NO);

```

//3

```

ADOF[19]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_NK); ADOF[22]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_NK);
ADOF[20]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_NK); ADOF[23]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_NK);
ADOF[21]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_NK); ADOF[24]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_NK);

```

```

ADOF[25]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_NK);
ADOF[26]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_NK);
ADOF[27]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_NK);
//4
ADOF[28]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_SFR);  ADOF[31]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_SFR);
ADOF[29]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_SFR);  ADOF[32]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_SFR);
ADOF[30]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_SFR);  ADOF[33]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_SFR);

ADOF[34]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_SFR);
ADOF[35]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_SFR);
ADOF[36]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_SFR);
//5
ADOF[37]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_PK);  ADOF[40]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_PK);
ADOF[38]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_PK);  ADOF[41]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_PK);
ADOF[39]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_PK);  ADOF[42]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_PK);

ADOF[43]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_PK);
ADOF[44]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_PK);
ADOF[45]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_PK);
//6
ADOF[46]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_PO);  ADOF[49]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_PO);
ADOF[47]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_PO);  ADOF[50]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_PO);
ADOF[48]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_PO);  ADOF[51]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_PO);

ADOF[52]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_PO);
ADOF[53]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_PO);
ADOF[54]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_PO);
//7
ADOF[55]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_DK,Cev_PB);  ADOF[58]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_DK,Cev_PB);
ADOF[56]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_ORT,Cev_PB);  ADOF[59]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_ORT,Cev_PB);
ADOF[57]:= f_AND3(dCev_NK,Crefv_YK,Cev_PB);  ADOF[60]:=
f_AND3(dCev_SFR,Crefv_YK,Cev_PB);

ADOF[61]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_DK,Cev_PB);
ADOF[62]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_ORT,Cev_PB);
ADOF[63]:= f_AND3(dCev_PK,Crefv_YK,Cev_PB);

end;

```

```

function Tfrmfuzzy1.controlsignal:double;
var
i:word;
begin
    CalculateFuzzysets;
    FuzzyController;
    sumDOF:=0;sumacDOF:=0;
    for i:=1 to debirules do
    begin
        sumDOF:=sumDOF+DOF[i];
        sumACDOF:=sumACDOF+ACTION[i]*DOF[i];

    end;
    if sumDOF <> 0 then
        controlsignal:=0;
        //controlsignal:=1.2*sumACDOF/sumDOF else controlsignal:=0; //>0: vana aç, <0
        :vana kapat
        // k=1.2 :ölçeklendirme (scaling factor)
    end;

// alum
function Tfrmfuzzy1.Ufuzzy:double;
var
i:word;
begin
    if frmadc.Kanal.cells[3,15]<> " then
        AlumCalculateFuzzysets;
        AlumFuzzyController;
        sumADOFF:=0;sumacADOFF:=0;
        for i:=1 to alumrules do
        begin
            sumADOFF:=sumADOFF+ADOFF[i];
            sumacADOFF:=sumacADOFF+A ACTION[i]*ADOFF[i];
        end;
        if sumADOFF <> 0 then
            //Ufuzzy:=0;
            Ufuzzy:=sumacADOFF/sumADOFF else Ufuzzy:=0; //>0: vana aç, <0 :vana kapat
        end;

```

```

//***** ALUM *****

```

```

//Alum kontrol giriş değişkenlerinin elde edilmesi

```

```

procedure Tfrmfuzzy1.Timer2Timer(Sender: TObject);

var

```

```

ki,ky:double;
cc:byte;

```

```

begin

```

```

if Edit3.Text<>" then
begin
if frmadc.Kanal.cells[3,13] <> " then
Cout:=strtfloat(frmadc.Kanal.cells[3,13]);//filtre çıkış bulanıklık konsantrasyonu
//if frmadc.Kanal.cells[3,15] <> "then
//Crw:= strtfloat(frmadc.Kanal.cells[3,15]);//ham su bulanıklık konsantrasyonu
if frmadc.Kanal.cells[3,12] <> "then
Q:=strtfloat(frmadc.Kanal.cells[3,12]);//ham su debisi
if frmadc.Kanal.cells[1,1] <> "then
if frmadc.Kanal.cells[3,8] <> "then
Hloss:= 0.5*(StrToFloat(frmadc.Kanal.Cells[1,1]) -
StrToFloat(frmadc.Kanal.Cells[3,8])+1.33);
Cref:=StrToFloat(Edit3.Text);
Ce:=Cref-Cout;
Edit6.Text:=format('%6.3f',[Ce]);
dCe:=(Ce-Ceold);{(timer2.interval/1000)}
Edit7.Text:=format('%6.3f',[dCe]);
Edit9.Text:=format('%6.3f',[Hloss]);
Edit10.Text:=format('%6.3f',[Q]);
Edit5.Text:=format('%6.3f',[Cout]);

```

```

{if Edit8.Text<>" then
begin
Qd:=StrToFloat(Edit8.Text);//manual run}

```

```

ki:=StrToFloat(Edit11.Text);
if Q > 0.5 then
begin
Ui := Uiold + ki*Ce;
if Ui > 1.5 then Ui := 1.5;
if Ui < -1 then Ui := -1;
//Qd := 10*Ufuzzy-Ui;
Qd:=0;
Edit8.Text:=format('%6.3f',[Qd]);
Edit12.Text:=format('%6.3f',[Ui]);
Edit13.Text:=format('%6.3f',[10*Ufuzzy]);

```

```

for cc:=1 to alurnrules do
begin
if ADOF[cc]<> 0 then
begin
(findcomponent('albl'+inttostr(cc)) as TLabel).Font.Color := clGreen;
//(findcomponent('image'+inttostr(cc+1)) as Timage).visible:=true;

```

```

        end
    else
        begin
            (findcomponent('albl'+inttostr(cc)) as TLabel).Font.Color := clBlack;
            //(findcomponent('image'+inttostr(cc+1)) as Timage).visible:=false;
        end;
    end;
end;
end; // F plus I
end; //Edit3
Uiold:=Ui;
Ceold:=Ce;
//end; //Sabit alum
end;

```

```

procedure Tfrmfuzzy1.FormShow(Sender: TObject);
begin
    self.Top:=50;
    self.Left:=200;
    self.Width:=740;
    self.Height:=425;
    self.WindowState:=wsnormal;

```

```

//indowstate:=wsminimized;
end;

```

```

procedure Tfrmfuzzy1.FormCreate(Sender: TObject);
var
    i, j, Ctr: Integer;
begin
    // debi kontrol look up tablosu
    { Table1.DatabaseName := ExtractFilePath(ParamStr(0));
      Table1.Open;

```

```

StringGrid1Etki.Cells[0, 0] := ' Qe / Qref';
StringGrid1Etki.Cells[1, 0] := 'CDK (0 : 0.8)';
StringGrid1Etki.Cells[2, 0] := 'DK (0 : 1.6)';
StringGrid1Etki.Cells[3, 0] := 'ORT (0.8 : 2.4)';
StringGrid1Etki.Cells[4, 0] := 'YK (1.6 : 6)';
StringGrid1Etki.Cells[5, 0] := 'CYK (2.4 : 6)';

```

```

StringGrid1Etki.Cells[0, 1] := 'NB (-5 : -2)';
StringGrid1Etki.Cells[0, 2] := 'NO (-5 : -1)';
StringGrid1Etki.Cells[0, 3] := 'NK (-2 : 0)';
StringGrid1Etki.Cells[0, 4] := 'SFR (-1 : 1)';
StringGrid1Etki.Cells[0, 5] := 'PK (0 : 2)';
StringGrid1Etki.Cells[0, 6] := 'PO (1 : 5)';
StringGrid1Etki.Cells[0, 7] := 'PB (2 : 5)';
Button3Click(Sender);
BitBtn1Click(Sender); }

```

```
// alum kontrol look up tablosu
```

```
Table2.DatabaseName := ExtractFilePath(ParamStr(0));  
Table2.Open;
```

```
StringGrid2Etki.Cells[0, 0] := ' dCe '  
StringGrid2Etki.Cells[1, 0] := 'Cref';  
StringGrid2Etki.Cells[5, 0] := 'Ce';
```

```
//Ce
```

```
StringGrid2Etki.Cells[2,1] := 'NB (-0.5 : -0.06)';  
StringGrid2Etki.Cells[3,1] := 'NO (-0.06 : -0.01)';  
StringGrid2Etki.Cells[4,1] := 'NK (-0.03 : 0)';  
StringGrid2Etki.Cells[5,1] := 'SFR (-0.01 : 0.01)';  
StringGrid2Etki.Cells[6,1] := 'PK (0 : 0.03)';  
StringGrid2Etki.Cells[7,1] := 'PO (0.01 : 0.06)';  
StringGrid2Etki.Cells[8,1] := 'PB (0.03 : 0.5)';
```

```
//dCe
```

```
StringGrid2Etki.Cells[0,2] := 'NK (-0.1 : 0)';  
StringGrid2Etki.Cells[0,5] := 'SFR (-0.05 : 0.05)';  
StringGrid2Etki.Cells[0,8] := 'PK (0 : 0.1)';
```

```
for i:=2 to 4 do  
StringGrid2Etki.Cells[0,i] := 'NK';  
for i:=5 to 7 do  
StringGrid2Etki.Cells[0,i] := 'SFR';  
for i:=8 to 10 do  
StringGrid2Etki.Cells[0,i] := 'PK';
```

```
//Cref
```

```
StringGrid2Etki.Cells[1,2] := 'DK';  
StringGrid2Etki.Cells[1,3] := 'ORT';  
StringGrid2Etki.Cells[1,4] := 'YK';
```

```
StringGrid2Etki.Cells[1,5] := 'DK';  
StringGrid2Etki.Cells[1,6] := 'ORT';  
StringGrid2Etki.Cells[1,7] := 'YK';
```

```
StringGrid2Etki.Cells[1,8] := 'DK';  
StringGrid2Etki.Cells[1,9] := 'ORT';  
StringGrid2Etki.Cells[1,10] := 'YK';
```

```
Button6Click(Sender);
```

```
BitBtn2Click(Sender);  
end;
```

```
**** Alum etki değerlerinin StringGrid2'den AACTION dizisine aktarılması  
procedure Tfrmfuzzy1.BitBtn2Click(Sender: TObject);  
var  
    i, j, Ctr: Integer;  
begin  
    Ctr := 1;  
  
    for j := 2 to 8 do  
        for i := 2 to 10 do  
            begin  
                AACTION[Ctr] := StrToFloat(StringGrid2Etki.Cells[j, i]);  
                Inc(Ctr);  
            end;  
        end;  
    end;
```

```
**** Alum Etki değerlerinin StrinGrid'den Tablo2'ye kaydedilmesi  
  
procedure Tfrmfuzzy1.Button5Click(Sender: TObject); //SaveActions  
var  
    i, j, Ctr: Integer;  
    NewString: String;  
begin  
    if CheckBox1.Checked then  
        begin  
            Table2.Append;  
            NewString := "  
            InputQuery('Enter Description', 'Prompt', NewString);  
            Table2.Fields[0].AsString := NewString;  
        end  
    else  
  
        //Table2.First; //  
        //Table2.Next; //  
        Table2.Edit;  
  
        Ctr := 1;  
        for j := 2 to 8 do  
            for i := 2 to 10 do  
                begin  
                    Table2.Fields[Ctr].AsFloat := StrToFloat(StringGrid2Etki.Cells[j,i]);  
                    Inc(Ctr);  
                end;  
            Table2.Post;  
            Table2.FlushBuffers;
```

end;

**** Alum Etki değerlerinin Table2'den Stringgrid2'ye aktarılması/atanması****

```
procedure Tfrmfuzzy1.Button6Click(Sender: TObject); //OpenActions
var
  i, j, Ctr: Integer;
  NewString: String;
begin
  Ctr := 1;
  for j := 2 to 8 do
    for i := 2 to 10 do
      begin
        StringGrid2Etki.Cells[j, i] := FormatFloat('0.000', Table2.Fields[Ctr].AsFloat);
        Inc(Ctr);
      end;
    end;
  end;
```

// Fare ile tıklandığında StrinGrid2 hücresi adresinin gösterimi

```
procedure Tfrmfuzzy1.SringGrid2SelectCell(Sender: TObject; Col, Row: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin
  lblSira2.Caption := IntToStr((Col* 9) -19 + Row);
  //lblSira2.Caption := IntToStr((Row * 3)-9 + Col);
end;
```

// Alum gönder

```
procedure Tfrmfuzzy1.Timer3Timer(Sender: TObject);
var
  Vd,Ua:real;
  data:word;
  t:Double;
  tstart:TDateTime;
  Hour, Min, Sec, MSec:word;
```

```
begin
  if Edit8.Text <> " " then
    if frmmdout.Button2.Enabled=False then Qd:=0;
    begin
      if Qd<=0.5 then Vd:=0 //dozaj pompası 0.5'den aşağı değerlere duyarlı değil
      else Vd:=0.1276*Qd+2.045; // Vd:=2*(0.0638*Qd+1.0448);
      if Vd>10 then Vd:=10;
      data:=trunc(Vd*16*$0FFF/10);
      write_data($240+4,lo(data));
      write_data($240+5,hi(data));
```

```

{begin
tstart:=now-timeold;
DecodeTime(tstart, Hour, Min, Sec, MSec);
t:=Hour*3600 + Min*60 + Sec + Msec/1000; //time in sec.
lblsure.Caption:= 'Filtre süresi : ' + TimeToStr(tstart);

Ua := Ua + 3*((frmfuzzy1.Qd/60) *( Timer1.Interval /1000)); //Co=3gr/l
Label2.Caption := 'Used alum : ' + format('%6.3f',[Ua])+ ' mg ';

if frmdout.Button2.Enabled=False then
begin
    Ua:=0.0;
    Label2.Caption := '0.0'+ ' mg ';
    lblsure.Caption:='filtre süresi:' + '00:00:00';
    write_data($240+4,lo(0));
    write_data($240+5,hi(0));
end;}

end;
end;

```

```

//***** DEBİ *****

```

```

procedure Tfrmfuzzy1.ovalfdon(t:word;yon:byte);
var
z1,z2:word;
cc:byte;
begin
    //frmgrafik.ControlDegeriYazdir := False;
    z1:=GetTickCount;
    case yon of
        0:ilerigeri(0);//Dur
        1:ilerigeri(1);//Sağa dön
        2:ilerigeri(2);//Sola dön
    end;
    if yon<>0 then
    begin
        timer1.Enabled:=false;
        repeat
            application.ProcessMessages;
            z2:=GetTickCount;
            dt:=z2-z1;
            for cc:=1 to 35 do
            begin
                if dof[cc]<> 0 then
                begin
                    (findcomponent('lbl'+inttostr(cc)) as TLabel).Font.Color := clGreen;
                    //(findcomponent('image'+inttostr(cc+1)) as Timage).visible:=true;

```

```

        end
        else
        begin
            (findcomponent('lbl'+inttostr(cc)) as TLabel).Font.Color := clBlack;
            //(findcomponent('image'+inttostr(cc+1)) as TImage).visible:=false;
        end;
    end;
    until (dt>=t);
    ilerigeri(0);
    bekle; // debi ölçümü için yeni bir gecikmenin sağlanması
    //frmgrafik.ControlDegeriYazdir := True;
    timer1.Enabled:=True;
end;//yon

end;
//debi kontrol giriş değişkenlerinin elde edilmesi
procedure Tfrmfuzzy1.Timer1Timer(Sender: TObject);
var
    zaman,z1,z2:word;

begin
    Q:=strtofloat(frmadc.Kanal.cells[3,12]);//ham su debisi
    Edit2.Text:=frmadc.Kanal.cells[3,12];
    Qref:=1.5;
    Qe:=Qref - Q;
    //Edit4.Text:=format('%5.3f',[Qe]);
    zaman:=abs(round(controlsignal*1000-1));//mili saniyeye çevriliyor.
    if controlsignal>0 then ovalfdon(zaman,2)
    else if controlsignal<0 then ovalfdon(zaman,1)//Q Qref den büyük
    else ovalfdon(zaman,0);

    end; //controlsignal

procedure Tfrmfuzzy1.bekle;
var
    z,z1,z2:word;

begin
    try
        Timer1.Enabled:=true;
        z1:=GetTickCount;
        Timer1.Enabled:=false;
        repeat
            z2:=GetTickCount;
            application.ProcessMessages;
            z:=z2-z1;
        until (z>=18000);
    except
        end;

```

```
//timer1.Enabled:=True;
end;
```

```
//Oransal valfin sağa sola çevirilmesi ve durdurulması
procedure Tfrmfuzzy1.ilerigeri(t:byte);
begin
  case t of
    1:begin
      if (dijital and 2048<>2048) and (dijital and 1024<>1024) then
        dijital:=dijital xor 1024;
      if (dijital and 2048=2048) and (dijital and 1024<>1024) then
        dijital:=dijital xor 3072;
      end;
    2: begin
      if (dijital and 2048<>2048) and (dijital and 1024<>1024) then
        dijital:=dijital xor 2048;
      if (dijital and 2048<>2048) and (dijital and 1024=1024) then
        dijital:=dijital xor 3072;
      end;
    0: begin
      if (dijital and 2048=2048) and (dijital and 1024<>1024) then
        dijital:=dijital xor 2048;
      if (dijital and 2048<>2048) and (dijital and 1024=1024) then
        dijital:=dijital xor 1024;
      end;
    end;
  end;
  write_data($300+11,hi(dijital));

end;//ilerigeri
```

```
// Fare ile tıklandığında StrinGrid hücresi adresinin gösterimi
procedure Tfrmfuzzy1.SringGrid1SelectCell(Sender: TObject; Col, Row: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin
  lblSira1.Caption := IntToStr((Row * 5) - 5 + Col);
end;
```

```
/** debi kontrol etki değerlerinin tablodan(StringGrid1) ACTION dizisine
atanması
procedure Tfrmfuzzy1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var
  i, j, Ctr: Integer;
begin
  Ctr := 1;
  for i := 1 to 7 do
    for j := 1 to 5 do
```

```

begin
    ACTION[Ctr] := StrToFloat(StringGrid1Etki.Cells[j, i]);
    Inc(Ctr);
end;
end;

```

```

    /*** Debi Kontrol Etki değerlerinin tablodan dosyaya kaydedilmesi
procedure Tfrmfuzzy1.Button2Click(Sender: TObject);

```

```

var
    i, j, Ctr: Integer;
    NewString: String;
begin
    if chkNewRecord.Checked then
    begin
        Table1.Append;
        NewString := '';
        InputQuery('Enter Description', 'Prompt', NewString);
        Table1.Fields[0].AsString := NewString;
    end
    else
        Table1.Edit;

    Ctr := 1;
    for i := 1 to 7 do
        for j := 1 to 5 do
            begin
                Table1.Fields[Ctr].AsFloat := StrToFloat( StringGrid1Etki.Cells[j, i]);
                Inc(Ctr);
            end;
        end;
    end;
    Table1.Post;
    Table1.FlushBuffers;
end;

```

```

    /***Debi Kontrol Etki değerlerinin tabloya atanması***
procedure Tfrmfuzzy1.Button3Click(Sender: TObject);
var
    i, j, Ctr: Integer;
    NewString: String;
begin
    Ctr := 1;
    for i := 1 to 7 do
        for j := 1 to 5 do
            begin
                StringGrid1Etki.Cells[j, i] := FormatFloat('0.000', Table1.Fields[Ctr].AsFloat);
                Inc(Ctr);
            end;
        end;
    end;
end;

```

end.



ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Çaykara' da doğdu. İlk ve orta öğretimini bu ilçede bitirmiştir. 1988 yılında ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Bir süre özel ve resmi kuruluşlarda mühendis olarak görev yaptı. 1991 yılında SİÜ Kahramanmaraş Meslek Yüksek Okulu'na öğretim görevlisi olarak atandı. Bir yıl sonra, yurt dışına görevli olarak gönderildi. 1994 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik–Bilgisayar Eğitimi Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak nakil yaptırdı. Aynı yıl M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Kontrol Programında Yüksek Lisans Eğitimine başladı ve 1996 yılında yüksek lisansını tamamlamıştır. Yüksek Lisans tezi olarak “ Kavşak Kontrolör Donanımı ” isimli çalışmayı yapmıştır. Aynı yıl, Fen Bilimleri Enstitüsünün aynı programında Doktora çalışmasına başlamış ve halen M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak akademik çalışmalarına devam etmektedir.