

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

**ELEKTROMANYETİK FİLTRE TASARIMI**  
**VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE**  
**ADAPTİF KONTROLÜ**

İsmail SARITAŞ

DOKTORA TEZİ

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK**  
**MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Konya, 2008

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

**ELEKTROMANYETİK FİLTRE TASARIMI VE**  
**YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE**  
**ADAPTİF KONTROLÜ**

**İSMAİL SARITAŞ**

**DOKTORA TEZİ**

**ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 16.07.2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir

Prof.Dr.Saadetdin HERDEM  
(Danışman)

Prof.Dr.Ahmet ARSLAN  
(Üye)

Prof.Dr.Teymuraz ABBASOV  
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Salih GÜNEŞ  
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Ercan YALDIZ  
(Üye)

## ÖZET

Doktora Tezi

### ELEKTROMANYETİK FİLTRE TASARIMI VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ADAPTİF KONTROLÜ

**İsmail SARITAŞ**

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Saadetdin HERDEM

2008, 167 Sayfa

**Jüri :** Prof. Dr. Saadetdin HERDEM  
Prof. Dr. Ahmet ARSLAN  
Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV  
Yrd. Doç. Dr. Salih GÜNEŞ  
Yrd. Doç. Dr. Ercan YALDIZ

Bu çalışmada, endüstriyel sıvılardaki mikron boyutlu manyetik özellikli parçacıkları temizleyecek bir manyetik filtre tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve yapay zeka teknikleriyle kontrol edilmiştir. Bunun için düşük maliyetli ve yüksek performans sağlayan bir otomatik kontrol sisteminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Filtre gövdesi, filtre matrisi ve filtre bobini mevcut teoriye göre elde edilen sonuçlar kullanılarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Geri besleme bilgilerini sağlamak için uygun sensörler seçilmiştir. Kontrol için kullanılan analog ve dijital sinyalleri bilgisayar ortamına aktarmak için DAQ kartı kullanılmıştır. Kontrol sistemini oluşturmak için Labview programı kullanılmıştır. Sensörlerden alınan bilgiler giriş parametreleri ve bobin akımı da kontrol edilecek çıkış parametresi olarak atanmıştır.

Filtreyi kontrol etmek için yapay zeka tekniklerinden biri olan Bulanık Kontrol kullanılmıştır (BK). Endüstriyel sıvının akış hızı ve filtre giriş konsantrasyonuna bağlı olarak filtre bobinine uygulanan akım, dolayısıyla filtrenin manyetik akısı bulanık mantık yöntemiyle kontrol edilmiştir. Prosesin sürekliliğini sağlamak için paralel iki filtre kullanılmıştır. İki filtreden birinin performansının düşmesi durumunda diğer filtre devreye alınmış ve devreden çıkan filtrenin temizlenmesi işlemi başlatılmıştır. Böylece bilgisayarla yapılan kontrol sayesinde endüstriyel sıvının temizlenmesi işlemi kesintiye uğramadan devam ettirilmiştir. Yapılan çalışma ile hem filtre performansı optimize edilmiş hem de filtre matrislerinin kontrolü yapılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada, endüstriyel sıvılardaki mikron boyutlu manyetik özellikli parçacıkları temizleyecek bir filtre tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve bulanık kontrol metodu ile bilgisayar kullanılarak kontrolü yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda gerçekleştirilen kontrol sisteminin güvenilir ve kararlı bir kontrol sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetik filtre, Filtre tasarımı, Filtre Kontrolü, Bulanık kontrol Parçacık konsantrasyonu, Konsantrasyon ölçümü.

**ABSTRACT**

PhD. Thesis

**ELECTROMAGNETIC FILTER DESIGN AND ADAPTIVE CONTROL BY  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS****İsmail SARITAŞ**

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Saadetdin HERDEM

2008, 167 Page

**Jury :** Prof. Dr. Saadetdin HERDEM  
Prof. Dr. Ahmet ARSLAN  
Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV  
Assist. Prof. Dr. Salih GÜNEŞ  
Assist. Prof. Dr. Ercan YALDIZ

In this study, a magnetic filter to clean industrial liquids from micron sized magnetic particles is designed, realized and controlled by using artificial intelligence techniques. A low cost and high performance automatic control system realization is aimed. Filter body, filter matrix and filter coil are designed by using the results obtained from the existing theory in the literature. Appropriate sensors are chosen for feedback data. A DAQ card is used to transfer the analog and digital signals to the computer environment. The control system that processes these signals is implemented with the Labview program. The sensor data is fed to the control system as input parameters whereas the coil current is used as the output control parameter.

Fuzzy Control which is one of the artificial intelligence techniques is used to control the filter. Filter coil current and consequently the magnetic flux are controlled by using fuzzy logic control techniques depending on the flow rate and filter input

concentration. Two parallel filters are used to facilitate continuous processing. When performance of one of the filters decreases, this filter is disconnected and the other filter connected to the system and then cleaning process of disconnected filter is started. Hence, the filtration process of industrial liquid is streamlined without any interruption by the controlling mechanism. By means of the study, both filter performance is optimized and filter matrices are controlled.

As a result, a filter is designed and realized to clean industrial liquids from the micron sized magnetic particles and its control is accomplished with a computer and fuzzy logic. Performance analysis shows that the realized control systems provide reliable and stable control.

**Key words:** Magnetic filter, Filter design, Filter control, Fuzzy control, Particle concentration, Concentration measurement.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde kıymetli zamanımı ayırarak yardım ve desteğini esirgemeyen ve uyarıları ile yol gösteren saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Saadetdin HERDEM'e ve tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ahmet ARSLAN ve Yrd. Doç. Dr. Salih GÜNEŞ'e,

Bana doktora düzeyinde öğrenim ve bilimsel çalışma yapma imkanı tanıyan ve yetişmemde emeği geçen Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün değerli yönetici ve öğretim üyelerine,

05401039 nolu "Manyetik Filtre Tasarımı, Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü" isimli Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ile tez çalışmama katkı sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü yetkililerine,

Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, yüksek lisans tez danışmanım Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ'ye, yapılan deneyler süresince yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. İlker Ali ÖZKAN'a, Elektronik Mühendisi Hidayet GÜNAY'a ve Arş. Gör. Okan UYAR'a teşekkürlerimi sunar şükranlarımı arz ederim.

Ayrıca tez çalışma süresince stres ve sıkıntılara katlanarak büyük bir özveri gösteren değerli eşime, oğlum ve kızlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

**İsmail SARITAŞ**

**Konya, 2008**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER .....	x
KISALTMALAR.....	xii
<b>1 GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2 KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3 MANYETİK FİLTRE.....</b>	<b>10</b>
3.1 Manyetik Filtrenin Tanımı .....	11
3.2 Manyetik Filtrelerin Kullanım Alanları .....	11
3.2.1 Elektrik enerjisi üretiminde kullanımı .....	12
3.2.2 Kimya sanayinde kullanımı .....	12
3.2.3 Petrol sanayisinde kullanımı .....	13
3.2.4 Çevre alanında kullanımı .....	13
3.2.5 Sanayi alanlarında kullanımı.....	13
3.2.6 Manyetik filtrelerin yapısı.....	14
3.3 Manyetik Filtre Çeşitleri .....	15
3.3.1 Manyetik merkezkaç filtreler .....	16
3.3.1.1 Selenoit tip manyetik filtreler.....	16
3.3.1.2 Çekirdek tip manyetik filtre .....	18
3.3.1.3 Mıknatıslı manyetik filtreler.....	19
3.3.1.4 Manyetik santrifüj filtre .....	20
3.3.2 Süper iletken manyetik filtre.....	21



3.3.3	Filtre elemanı elektrik ve manyetik alanla komputlanmış manyetik filtreler.....	22
3.4	Manyetik Filtre Tasarımı ve Hesaplanması.....	23
3.5	Manyetik Filtrelerde Performans-Zaman İlişkisi.....	29
3.6	Bulgular .....	31
<b>4</b>	<b>YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ .....</b>	<b>32</b>
4.1	Bulanık Mantık Yaklaşımı .....	33
4.1.1	Bulanık mantık .....	33
4.1.2	Bulanık küme .....	35
4.1.2.1	Üyelik fonksiyonu.....	36
4.1.2.2	Bulanık mantık denetleyici sistemler.....	38
4.1.3	Bulanık sistemler .....	39
4.1.4	Bulanık uzman sistemin tasarımı ve uygulaması .....	39
4.1.4.1	Bulanıklaştırıcı.....	40
4.1.4.2	Bulanık kurallar tabanı.....	42
4.1.4.3	Bulanık çıkarım mekanizması .....	43
4.1.4.3.a	Kompozisyona dayalı çıkarım .....	43
4.1.4.3.b	Kişisel kurala dayalı çıkarım .....	44
4.1.4.4	Durulaştırıcı .....	44
4.2	Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı.....	46
4.2.1	Yapay sinir ağı .....	46
4.2.2	Biyolojik nöronun yapısı .....	47
4.2.3	Yapay sinir hücresi .....	48
4.2.4	YSA'nın özellikleri .....	49
4.2.5	Aktivasyon fonksiyonları.....	50
4.2.5.1	Sigmoid ( $logsig(x)$ ) aktivasyon fonksiyonu .....	50
4.2.5.1.a	Lineer ( $lin(x)$ ).....	51
4.2.5.1.b	Tanjant hiperbolik ( $tansig(x)$ ).....	52
4.2.5.1.c	Doyun fonksiyonu ( $sat(x)$ ) .....	52
4.2.5.1.d	Keskin Sınırlayıcı ( $signum(x)$ ).....	53
4.2.6	YSA ile geleneksel algoritmaların karşılaştırılması .....	54
4.2.7	YSA'ların yapılarına göre sınıflandırılması.....	56

4.2.7.1	İleri beslemeli yapay sinir ağları .....	56
4.2.7.2	Geri beslemeli yapay sinir ağları .....	57
4.2.8	YSA'ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması .....	58
<b>5</b>	<b>FİLTRE TASARIMI.....</b>	<b>59</b>
5.1	Manyetik Nüve Tasarımı .....	59
5.2	Filtre Matrisi Tasarımı .....	68
5.3	Filtre Bobini Tasarımı .....	69
<b>6</b>	<b>KONTROL SİSTEMİNİN DONANIMSAL BİLEŞENLERİ .....</b>	<b>72</b>
6.1	Akı Ölçer .....	72
6.1.1	Akımetrenin genel ve teknik özellikleri .....	73
6.2	Parçacık Konsantrasyonu Sensörü .....	73
6.2.1	Parçacık konsantrasyonu sensörü bobinleri .....	74
6.2.2	Yüksek frekanslı sinüs güç kaynağı .....	76
6.2.3	Simetrik güç kaynağı .....	76
6.2.4	Temel AC köprü .....	77
6.2.5	Enstrümantasyon yükselteçli devre .....	78
6.2.6	Parçacık konsantrasyonu sensörünün kalibrasyonu .....	81
6.3	Akış metre.....	83
6.3.1	Akışmetrenin genel ve teknik özellikleri .....	84
6.3.2	Akış metrenin yapısı .....	85
6.4	PCI-6036E DAQ kartı .....	87
6.4.1	Teknik özellikleri .....	87
6.4.2	Transfer özellikleri .....	90
6.4.3	Yükselteç özellikleri .....	90
6.4.4	Dijital I/O .....	91
6.4.5	Kalibrasyon .....	92
6.4.6	Güç gereksinimi ve fiziksel özellikleri .....	92
6.5	BNC 2100 Pro Kit.....	92
6.5.1	Teknik ve fiziksel özellikleri.....	93
6.5.2	Fiziksel özellikler .....	93
6.5.3	Çevresel özellikler .....	94

6.6	Kontrol Sistemi .....	94
6.6.1	Endüstriyel sıvı temizleme kontrolü.....	103
6.6.2	Filtre matrisi temizleme kontrolü .....	105
6.6.2.1	İnverter devresi .....	106
6.6.3	PWM ile bobin akımı kontrolü.....	107
<b>7</b>	<b>KONTROL SİSTEMİNİN YAZILIMSAL BİLEŞENLERİ .....</b>	<b>109</b>
7.1	NI Labview Yazılımı.....	109
7.1.1	Labview <i>Fuzzy Toolkit</i> ile bulanık kontrolün gerçekleştirilmesi .....	109
7.1.2	<i>Labview</i> kontrol yazılımı .....	113
7.2	Matlab yazılımı .....	116
7.2.1	Deneysel verilere yapay sinir ağı uygulanması.....	117
7.2.2	Gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi.....	118
7.2.3	Uygun iterasyon sayısının belirlenmesi.....	120
7.2.4	YSA tahmin değerleri ile deneysel sonuçların karşılaştırılması .....	121
7.2.5	YSA çalışması ile elde edilen sonuçlar .....	124
<b>8</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>129</b>
8.1	Çalışma Prensibi .....	129
8.1.1	Deney düzeneği tasarımı.....	129
8.1.2	Deney düzeneğinin gerçekleştirilmesi.....	131
8.2	Manyetik Filtre Kontrolü için Deneysel Çalışmalar .....	134
8.2.1	Sistemin temiz sıvı ile çalıştırılması.....	134
8.2.2	6 mm çaplı filtre elemanları ile deneysel çalışma .....	137
8.2.3	8 mm çaplı filtre elemanları ile deneysel çalışma .....	139
8.2.4	14 mm çaplı filtre elemanları ile deneysel çalışma .....	141
8.2.5	Bulanık kontrol.....	143
8.3	Bulanık Kontrol ile Yapılan Deneysel Çalışmanın YSA ile Modellenmesi ...	144
<b>9</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>149</b>
9.1	Sonuçlar.....	149
9.2	Öneriler.....	162
<b>10</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>163</b>

## SEMBOLLER

a	: Filtre elemanlarının yarıçapı
B	: Dış manyetik akı yoğunluğu (T)
$C_i$	: Parçacıkların filtrelemeden önceki toplam konsantrasyonu (g/kg)
$C'_i$	: Manyetik parçacıkların filtrelemeden önceki toplam konsantrasyonu (g/kg)
$C_0$	: Parçacıkların filtrelemeden sonraki manyetik konsantrasyonu (g/kg)
d	: Filtre elemanlarının çapı ( $d=2a$ ) (m)
h	: Filtre gözeneklerinde oluşan manyetik alan şiddeti (A/m)
H	: Dış manyetik alan şiddeti (A/m)
$K_v$	: Sıvının filtre gözeneklerindeki akış hızını belirleyen katsayı
L	: Akış yönündeki filtre uzunluğu (m)
$l_1- l_3$	: Manyetik nüve bölümlerinin ortalama uzunlukları (m)
$L_d$	: Boyutsuz filtre uzunluğu ( $L_D=L/d$ )
M	: Gözeneklerde sıvının pulzasyon akışını göz önüne alan katsayı
m	: Sıvının kıvamlılık göstergesi (Pa.s'')
n	: MF'de sıvının nonNewtonian akışını gösteren katsayı
Pm	: Manyetik basınç katsayısı (Pa)
r	: MF'de filtre matrisinde elemanların teğet noktalarından hesaplanan uzaklık
R	: MF'de matris elemanlarının merkezlerinden hesaplanan radyal koordinat
$r_a$	: Boyutsuz radyal koordinat ( $r_a=r/a$ )
$r_s$	: Parçacıkların tutulma bölgesinde tutma yarıçapının maksimum değeri (m)
t	: Zaman ( <i>h</i> )
$t_w$	: Filtrenin etkin çalışma süresi ( <i>h</i> )
v	: Filtre gözeneklerinde yerel akış hızı (m/s)

$V_f$	: Filtreleme hızı (m/s)
$V_m$	: Manyetik hız (m/s)
$v_m$	: Sıvının filtre gözeneklerindeki maksimum akış hızı (m/s)
$W$	: Manyetik alan oluşturan bobinlerin sarım sayısı
$w_p$	: Parçacığın hacmi ( $m^3$ )
$\Delta C$	: Fark konsantrasyonu (mg/l)
$\Phi$	: Manyetik akı (Wb)
$\Delta P$	: Filtrede basınç değişimi (Pa)
$K_0$	: Bobinin iletkenlerle doldurulmasını karakterize eden katsayı
$\alpha$	: MF'de filtre parçacıkları tutma katsayısı ( $m^{-1}$ )
$\delta$	: Etkin parçacık boyutu (m)
$\delta_k$	: Matris elemanlarının korozyona karşı yüzeylerinin kaplandığı tabaka kalınlığı ( $\mu m$ )
$\rho$	: Sıvı yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\rho_p$	: Sıvının içerdiği karışımdaki parçacığın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\mu_r$	: Filtre matris elemanlarının bağıl manyetik geçirgenliği
$\mu_0$	: Boşluğun manyetik geçirgenliği ( $=4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)
$\eta_{av}$	: Sıvının görünen vizkozitesi (Pa.s)
$\psi$	: Filtre performansı ( $\psi = \Delta C/C_i$ )
$\lambda$	: Sıvı veya gazların içerdikleri karışımdaki manyetik kısmın orantısı ( $\lambda = C_i/C'_i$ )
$\emptyset$	: Filtre gözeneklerinde biriken karışımın hacimsel yoğunluğu
$H_L$	: MF'de manyetik alan şiddetinin ortalama değeri
$D_g$	: MF gövdesinin çapı (m)
$D$	: MF Selenoitinin iç çapı (m)
$D_d$	: MF Selenoitinin dış çapı (m)
$U$	: MF bobininin besleyen şebekenin gerilimi (V)
$P$	: Selenoitin gücü (W)
$M$	: Selenoitin kütlesi (kg)
$Q$	: Filtrenin debisi (l/h)
$J$	: MF bobin iletkeninin akım yoğunluğu ( $A/mm^2$ )
$S_i$	: MF bobininin iletkeninin kesit alanı ( $mm^2$ )

$d_i$	: MF bobininin iletkeninin çapı (mm)
$p_i$	: İletkenin özgül direnci (bakır için $p_i=1,7 \times 10^{-8} \Omega m$ )
$L_i$	: İletkenin toplam uzunluğu
$\gamma_i$	: İletkenin özgül ağırlığı (bakır için $\gamma_i=8,9 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ ).
$\mathfrak{R}$	: Relüktas (1/H)
$S_0$	: Selenoitin dik kesitinin alanı ( $\text{mm}^2$ )
$\mu$	: Bulanık Kümelerde Üyelik Derecesi
$\alpha$	: Bulanık çıkarım mekanizmasında ağırlık derecesi
$X_n$	: YSA giriş parametreleri
$Y_n$	: YSA çıkış parametreleri
$(W_1)_{i,j}$	: YSA giriş ağırlık katsayıları
$(W_2)_{j,k}$	: YSA çıkış ağırlık katsayıları
NET	: Toplama fonksiyonu
$F(x)$	: Aktivasyon fonksiyonu
$d_i$	: Hedeflenen veya gerçek değer,
$O_i$	: Ağ çıkış veya tahmin edilen değer,
$n$	: YSA'da çıkış verileri sayısı
$R^2$	: İstatistiksel katsayısı veya korelasyon katsayısı
$X$	: YSA için X'in denormalize değeri
M1-M3	: Elektrik motorları
V1, V2	: Küresel vana
SW1-SW8	: Selenoit valf
MF1, MF2	: Manyetik filtre
B1, B2	: Kontaktör
A1-A8	: Röle
S1, S2	: Parçacık sensörü

## KISALTMALAR

MF	: Manyetik filtre
MFP	: Manyetik filtre performansı
YZ	: Yapay zeka
HGMF	: Yüksek gradyentli manyetik filtre
YSA	: Yapay sinir ağı
BK	: Bulanık kontrol
AO	: Ağırlaştırılmış Orta
BÇM	: Bulanık Çıkarım Mekanizması
BK	: Bulanık Küme
BKn	: Bulanık Kontrol
BKT	: Bulanık Kurallar Tabanı
BM	: Bulanık Mantık
BUS	: Bulanık Uzman Sistem
BP	: Back Propagation (Geriye yayılım)
Min	: En Küçük
Max	: En Büyük
Xnorm	: YSA için X'in 0-1 arasında normalize değeri
Xmax	: YSA için X'in maksimum değeri
Xmin	: YSA için X'in minimum değeri
DAQ	: <i>Data Aquisition</i> (Veri toplama kartı)
MSE	: <i>Mean Squared Error</i> (Test edilen karesel hatalar ortalaması)
SSE	: <i>Sum Squared Error</i> (Karesel hatalar toplamı)
MRE	: <i>Mean Relative Error</i> (Ortalama nispi hata)
TANSIG	: Tanjant transfer fonksiyonu
LOGSIG	: Logaritmik transfer fonksiyonu
ANFIS	: Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi

## 1 GİRİŞ

Manyetik filtreler, son yıllarda teknolojik sıvı ve gazların düşük konsantrasyonlu ve mikron boyutlu parçacıklardan temizlenmesi için etkin olarak kullanılan araçlardır. Filtrenin matrisi dış homojen alanla kolayca mıknatıslanabilen manyetik malzemelerden oluşturulur. Matris elemanları dış alanın etkisi ile mıknatıslanarak etraflarında yüksek gradyentli tutma bölgeleri oluştururlar. Temizlenecek olan teknolojik sıvı veya gaz filtre matrisinden geçerken içerdiği küçük boyutlu parçacıklar bu tutma bölgelerinde tutularak biriktirilir. Filtre matrisinin dayanıklı olması nedeniyle manyetik filtreler, radyoaktif özellikli veya yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda da kullanılabilirler. Manyetik filtrelerin çalışma prensipleri, manyetik alan teorisi, kütle transferi ve otomatik kontrol teorilerine dayanır.

Son yıllara kadar kullanılmakta olan manyetik filtrelerin filtre matrisleri çok pahalıydı, kontrol sistemleri ilkel ve genel bir teorileri de yoktu. Kullanılacağı sanayi dalına göre özel olarak seçilmekte ve kullanılmaktaydı. Son yıllarda manyetik filtreler için genel bir teori geliştirmeye yönelik çok sayıda çalışmalar yapılmıştır ve oldukça fazla yol kat edilmiştir. Ancak filtrenin otomatik kontrolüne yönelik olarak hala yapılması gereken çok fazla iş bulunmaktadır.

Manyetik filtrelerin sanayide kullanımını gerçekleştirmek için genel teorisinin geliştirilmesi, değişik çalışma şartları için performansının belirlenmesi ve kontrolünün otomatik olarak yapılması gerekmektedir. Yani, maliyeti düşük olan ve yüksek performansa sahip olan optimal manyetik filtrelerin tasarlanması ve çalışma süresince yüksek performansın gereklerini yerine getirebilecek bir otomatik kontrol sisteminin oluşturulması gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen uygun kontrol için filtre performansının her koşulda yüksek tutulması, tekrar tekrar kullanılarak ekonomik kazanç sağlanması ve sürekli görevini sürdürmesi gibi konularda önemli problemler vardır.



Filtre performansını etkileyen pek çok faktör vardır. Bunların başlıcaları şunlardır:

- Endüstriyel sıvının akış hızı,
- Sıvı içerisindeki manyetik özellikli parçacık miktarı,
- Bu parçacıkların büyüklükleri,
- Parçacıkların manyetik geçirgenlikleri,
- Filtre matrisinin çapı,
- Filtre matrisinin uzunluğu,
- Filtre matrisinin tipi (çubuk, talaş, kürecik vb.),
- Tipe göre filtre matrisini oluşturan manyetik özellikli elemanların büyüklük ve manyetik geçirgenlikleri,
- Bobin tipi ve sarım sayısı vb.

Bu güne kadar bu faktörlerin filtre performansı üzerine etkileri konularında pek çok çalışmalar yapılmıştır. Ancak filtrelerin kontrolü, özellikle performansı optimize etme konusunda hemen hemen hiçbir çalışma yapılmadığı literatür taramalarından anlaşılmaktadır. Filtre performansını optimum değerde tutmak ve filtrelerin kendilerinin de temizlenmesi suretiyle ekonomik kazanç sağlamak için bir filtre kontrolü amaçlanmıştır. Özellikle ekonomik kazanç ve filtre performansını maksimum seviyede tutmak için yapay zeka tekniklerinden faydalanılması düşünülmüştür. Bunun için bulanık kontrol kullanımı gerçekleştirilecektir.

Bulanık kontrol; günümüzde birçok alanda problem çözmede kullanılan bir sistemdir. Bulanık düşünme özellikle insan günlük hayatında ve sosyal, ekonomik, psikolojik, tıp ve diğer birçok dallarda geçerlidir. Dünyadaki kullanım alanlarına bakıldığında bulanık kontrol sistemleri; uygulandığı alanlarda zaman, enerji, iş gücü ve büyük ekonomik kazançlar sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; mikron boyutlu parçacıkların tutulmasını sağlayacak bir filtrenin tasarımı, pratik olarak gerçekleştirilmesi ve farklı çalışma şartları için bu filtrenin kontrolünün bilgisayar desteği ile modern kontrol yöntemleri kullanarak gerçek zamanda yapılmasıdır. İstenen optimum şartlar, sensörler yardımı ile alınan anlık değerlerin tasarlanan bulanık uzman sistem tarafından değerlendirilmesi ve gerektiğinde filtre bobinine uygulanan akımın dolayısıyla manyetik akımın kontrol edebilmesiyle oluşturulmaktadır. Ayrıca süreklilik ve tekrar tekrar kullanım için çift

filtre matrisi kullanılmış ve bunların sırasıyla kendini temizleme ve/veya sıvıyı temizleme amaçlı olarak kontrolünün sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için, sıvının akış hızı, filtrenin giriş ve çıkışındaki sıvı içerisindeki manyetik özellikli parçacık konsantrasyonları ve akım sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörlerin ürettiği sinyaller, *Data Acquisition* (DAQ) kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan sinyallerin değerlendirilmesi için *Labview* yazılımı ile bir kontrol gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kontrol yazılımı ile sensörlerden alınan veriler bulanık uzman sistem tarafından değerlendirilerek bobin akımları, selenoit valfler kontrol edilerek sıvı veya filtrenin temizlenme rejimlerinin kontrolü yapılmıştır.

## 2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde, bulanık mantık ve filtre teorisi üzerinde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Fakat literatür taramalarında, filtre kontrolü ve bulanık kontrol yönteminin kullanımı ile ilgili çalışmalarla karşılaşmamıştır.

Yapay zeka teknikleri ve özellikle bulanık kontrolün pek çok alanda kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Çalışma alanımızla farklılıklar içerse de, yapılacak çalışmalara ışık tutması açısından bu kaynaklar da incelenmiştir.

Sarıtaş ve ark. (2007) endüstriyel sıvıların içerisinde bulunan mikron boyutundaki manyetik parçacıkların temizlenmesi için bir manyetik filtre tasarlamışlardır. Tasarladıkları filtre, hem endüstriyel sıvının temizlenmesi hem de filtre matrisinin temizlenmesi için bulanık mantık yöntemiyle kontrol edilmiştir. Bu tasarım ile filtre matrisi içerisinde geçen manyetik özellikli parçacıkların miktarı arttıkça veya endüstriyel sıvının akış hızı yükseldikçe filtre bobinine uygulanan akım da artmaktadır. Böylece filtrenin performansı kontrol edilebilmektedir. Ayrıca filtrenin performansı düştüğünde filtre matrisinin temizlenmesi sağlanarak aynı filtre matrisinin tekrar kullanımına olanak sağlamaktadır.

Özkan ve ark. (2007) deneysel ve teorik olarak ifade edilebilen manyetik filtre performansı-zaman ilişkisine yapay zeka tekniklerinden ANFIS kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modelin, manyetik sıvılardaki teknolojik sıvının temizleme işlemindeki filtre performansı-zaman değişken karakteristiğini tahmin etmeyi sağladığını ifade etmişlerdir. Tahmin edilen bu sonuçların manyetik filtrasyon işleminin optimizasyonu, kontrolü ve yeni filtre tasarımı için kullanılabilecek çözümler sunduğunu belirtmişlerdir.

Sarıtaş ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, ameliyathanenin iklimlendirme kontrolü için bulanık kontrol geliştirmişlerdir. *Visual Basic* programlama dili kullanılarak yapılan yazılım ile PIC kullanılarak ısı, nem ve oksijen miktarlarına bağlı olarak gerçekleştirdikleri bulanık kontrol ile ameliyathanenin dört bölgesinden

fanları kontrol etmişlerdir. Böylece ameliyathanenin iklimlendirme kontrolünde bulanık kontrolü başarılı bir şekilde kullanmışlardır.

Sarıkaya ve ark. (2006) yaptıkları çalışmalarında, manyetik filtreleme teorisini, manyetik filtreler tarafından endüstriyel sıvıların yoğunlaşmış filtreleme işlemi için değerlendirmişlerdir. Filtre performansı üzerine filtreleme hızı ve harici manyetik alan yoğunluğun etkilerini araştırmışlar ve filtreleme hızı üzerinde logaritmik verim katsayısına bağımlılığını sorgulamışlardır. Harici manyetik alan tarafından sebep olan bu dispersiyon halindeki parçacıkların manyetik çekiciliğindeki değişim ve filtrenin küçük açıklıkları boyunca sıvının akış oranı özelliklerindeki değişimlerin, çeşitli endüstriyel alanlarda manyetik filtreleme sistemlerinin tasarımı, geliştirilmesi ve modellenmesinde, dikkate alınacak en temel faktörler olduğunu göstermişlerdir.

Herdem (2005) yaptığı bir çalışmada, manyetik filtre ve seperatörler tarafından tutulan ve gerçek endüstriyel sıvılarda meydana gelen parçacıkların manyetik çekiciliğinin ortalama değerinin, filtreleme işleminin başlangıcında bilinemeyeceğini belirtmiştir. Tutulan parçacıkların manyetik çekiciliği manyetik alan yoğunluğuyla değiştiği için manyetik filtrasyon denkleminde manyetik filtre performansı ile manyetik alan yoğunluğu arasındaki ilişkinin tamamen doğru kabul edilemeyeceğini belirtmiştir. Bu problemin küçük aralıklarda manyetik alanın ortalama değerini kullanmak ve bu alandaki parçacıkların ortalama çekiciliğini belirlemek suretiyle halledilebileceğini, yaklaşık sonuçların, filtre matrisinin küçük boşluklarında oluşan manyetik alanın özellikleri ve filtre ilkelerinin manyetik özelliklerini dikkate almak suretiyle filtreleme işleminin özellikleri için elde edilebileceğini ifade etmişti.

Sarıtaş ve ark. (2005), yaptıkları bir çalışmada ameliyathanelerin sıcaklık kontrolü için bir bulanık kontrol sistemi tasarlamışlardır. Örnek bir ameliyathane modeli ele alınmış, dört farklı noktadan klimalar konumlandırılmış, altı adet algılayıcı ile ısı kontrolü için giriş verileri alınmıştır. Bu verilere göre değerlendirme yaparak hangi taraftaki klimanın ısıtma yada soğutma yapacağına karar veren bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Böylece keskin sıcaklık değişimlerinin önüne geçilmesi, enerji kaybının minimuma indirilmesi ve sıcaklığın düzgün dağılımı sağlamayı amaçlamışlar ve sonuç olarak başarılı olmuşlardır.

Zezulka ve ark. (2004), kalıcı elektromıknatıslar ile bir manyetik filtre yapmışlar ve geliştirmişlerdir. Yüksek gradientli manyetik filtre prensibine dayalı

olarak geliştirdikleri bu manyetik filtrede özellikle NdFeB materyalinden manyetik akı kullanarak elektromıknatıs elde etmişlerdir. Manyetik blokların yuşekliği, genişliği ve bunlar arasındaki hava boşluklarının olđulmesini amağlamışlar ve bunlara bağlı manyetik akı buyukluğunu hesaplamışlardır. Buylece yuşek değerde manyetik indüksiyon elde etmişler ve birđok uygulama yapmışlardır.

Abbasov (2003), Collar ve ark.(1979), Cuellar ve ark. (1995) *pollydispers* parđacıklı süspansiyonların manyetik filtre deneylerinin analizini ve manyetik filtrelerde sıvı katı madde nakledilmesini incelediklerini ifade etmiştir.

Köksal ve ark. (2003) yaptıkları ıalışmada filtrasyon işleminin matematiksel modellemesini yapmışlar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırarak yaptıkları modellemenin geğerliliğini istatistiksel olarak göstermişlerdir.

Abbasov (2001) yaptığı bir ıalışmada, endüstriyel sıvı ve gazların temizliğinin mikron ve submikron ebatlarındaki parđacıklar tarafından etkilendiğini belirtmiştir. Bu sıvıların iğerdiği ıoğu parđacıklar ferro veya paramanyetik maddelerden oluştuğunu ifade etmiştir. Bu parđacıkların duişuk konsantrasyonda olmalarından dolayı klasik filtreler (mekanik seperatörler vb.) filtreleme işlemini gerđekleřtiremediklerini belirtmiştir. Manyetize edilmiş dolu yataklara sahip manyetik filtrelerin ise bu parđacıkları buyuk yakalama kapasitesine sahip olduğunu ifade ederek filtreleme işleminin teorik olarak yorumlamasını yapmıştır.

Herdem ve ark. (2001) yaptıkları ıalışmalarında, teknolojik sıvı ve gazların temizlenme işleminin mekanizmasını ağıklayan ve bu işlemlerin sonuğlarını tahmin eden ve kontrol eden genel bir modelin henüz mevcut olmadığını ifade etmişlerdir. Elektrik devre teorisi kullanarak teknolojik ortamların filtrasyonunu simule etmenin mümkün olduğunu, farklı rejimler altındaki filtrasyon işlemlerinin karakteristikleri devrenin *nonlineerite* parametrelerinin uygun değişimi ile kolayca eldertmişlerdir. Dahası, ayırma, *absorbsiyon*, *flotasyon*, sınıflandırma gibi filtrasyona benzer diğer işlemlerin de bu yaklaşım ile modellenebileceğini göstermişlerdir.

Tang ve ark. (2001), optimal bulanık mantık PID denetleyici isimli ıalışmalarında; geleneksel PID denetleyicilerin, genellikle lineer olmayan, derecesi yuşek, zaman gecikmeli ve matematiksel modeli iyi bilinemeyen sistemlerin kontrolünde yetersiz kaldığını ve PID parametrelerinin optimum değerlerinin bulunmasının geleneksel yollarla mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle

Yeni bir bulanık mantık PID denetleyici geliştirmişler ve parametrelerinin optimizasyonunda çok amaçlı genetik algoritmaları kullanmışlardır.

Herdem ve ark (2000) çalışmalarında, laminar akış şartlarında aksel olarak dizilmiş manyetik filtredeki filtre empedansı ve filtreleme veriminin teorisi açıklanmışlardır. Uzunlamasına dizilmiş teller boyunca aksel olarak akan süspansiyonun akış profili *Kuwabara-Happel* hücre modeli ile belirlenmiştir. Hem filtre empedansı hem de filtre verimi için ifadeler elde etmişlerdir. Genelde bu ifadelerin ideal akış şartlarında daha önceki filtreleme teorileri ile belirlenenlerden farklı olduğunu göstererek türetilen teorik formülleri basitleştirmişler, böylece mühendislik uygulamalarında kolayca kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçları literatürde yer alan deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlar ve birbiriyle tutarlı olduklarını göstermişlerdir.

Zatrutskaya ve Shapiro (2000), çalışmalarında, manyetik filtrelerde hava akımında yönlendirilebilen nano parçacıkların devinimi ve toplanmasını tanımlayan bir fiziksel-matematiksel model geliştirmişlerdir. Parçacıkların kalıcı manyetik momentlere sahip olan şekillerde olduklarını ifade etmişlerdir. Modellemede parçacıkların dönmelerini, yol almalarını, rasgele dalgalanma eylemlerini ve manyetik etkileşimlerini dikkate almışlardır. Parçacıkların davranışları ve yakalanma verimlilikleri üzerinde filtreleme işlem şartlarının etkileri ve parçacıkların ölçüleri nümerik olarak araştırmışlardır. Simülasyonun sonuçları ile deneysel verileri karşılaştırmışlar ve parçacıkların ölçüleri ile yakalama verimliliği arasında güçlü bir bağ olduğu göstermişlerdir.

Herdem ve ark. (1999) çalışmalarında, magnetize edilmiş manyetik kürelerden oluşturulan filtre matrisindeki parçacıkların biriktirilmesinin *stokastik* modeli göz önüne almışlar. Yakalama bölgesinde oluşan hem yakalama hem de kopma olayları ile karakterize edilen doyma yarıçapının zamana bağımlılığını veren dağılım fonksiyonu belirlemişler. Yakalama bölgesindeki parçacıkların hareket özelliklerini hesaba katarak, dağılım *Fokker-Planck* denkleminin çözümünden değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları diğer metotların sonuçları ile ve literatürde rapor edilen bazı deneyler ile karşılaştırmışlar ve benzer olduklarını göstermişlerdir.

Abbasov ve ark.'na (1999) göre aksenel olarak oluşturulmuş filtrelerdeki *Newtonian* olmayan viskoz (*Power Law*) sıvının laminer akışı ile taşınan manyetik parçacıkların tutulmasının teorisi sunulmuştur. Sıvı akışının hız profili *Kuwabara-Happel* hücre modeli ile belirlenmiştir. Parçacığın yörüngesi, yakalama bölgesi ve filtre performansı için basit analitik ifadeler elde edilmiştir. Bu ifadeler hem *Newtonian* hem de *non-Newtonian* sıvılardaki parçacıkların tutulması işlemleri için geçerlidir. Bu nedenle, elde edilen teorik sonuçlar yüksek gradyentli filtrasyonun (HGMF) uygulanmasının farklı endüstriyel alanlara genişletilmesine olanak sağlar. *Newtonian* sıvılar için teorik sonuçların literatürde rapor edilen deneysel sonuçlarla iyi uyum içerisinde oldukları gösterilmiştir.

Abbasov ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada, yüksek gradyentli manyetik filtreler için genel bir model tanıtılmıştır. Filtre performansının, sistemin fiziksel ve geometrik parametrelerine fonksiyonel bağımlılığı türetilmiştir. Türetilen teorik ifadeler literatürde rapor edilen ve farklı görülen iki zıt sonucun her ikisinin de açıklanmasını mümkün kılmıştır. Yeni kalite faktörü süspansiyon viskozitesini içermediği ve onun yerine sıvı, gaz, buhar vb. içeren filtrasyon ortamının daha büyük bir sınıfı için formülün uygulanmasını sağlayan süspansiyon yoğunluğuna bağımlı olduğu gözlemlenmiştir.

Ceylan ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada, küresel katı parçacıkların etrafındaki *Newtonian* veya zayıf *non-Newtonian* sıvıların akışındaki sürüklenme korelasyon katsayısının tahmini için teorik bir yaklaşım sunmuşlardır. Sürüklenme katsayılarını deneysel verilere yakınlaştırmak için enerji yayılma denklemi ve bir akış fonksiyonu kullanılarak bazı yeni analitik bağıntılar türetmişlerdir. Bu bağıntıların  $0.5 < n < 1$  aralığındaki akış davranış indeksli ( $n$ ) sıvılar için *Reynold* sayısının geniş bir aralığında ( $Re < 1000$ ) uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir. Bu bağıntılardan belirlenen katsayılar literatürde verilen deneysel datalarla iyi uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Herdem ve ark.'nın (1999) yaptıkları bir çalışmada, manyetik kürelerden oluşturulan granüler matrise sahip olan bir manyetik filtrenin gözeneklerindeki sıvının akış rejimi ve tutulan parçacıkların biriktirilme işlemi göz önüne alınarak filtreleme mekanizması incelenmiştir. Filtrasyon sisteminin farklı parametrelerinin manyetik filtrenin verimine etkisi ortaya çıkarılmıştır. Filtrasyon mekanizmasında

yer alan ve incelenen literatürde tam olarak tanımlanmamış olan bazı olayları açıklamak için yeni matematiksel ifadeler elde edilmiştir. Manyetik filtrenin verimi kolayca ölçülebilen veya tanımlanabilen manyetik ve statik basınçların oranlarının bir ifadesiyle açıklanabilir. Teorik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmış ve iyi uyum içerisinde oldukları sonucuna varılmıştır.

Abbasov ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada, küresel manyetik granüllerden oluşan yüksek gradyentli manyetik filtrelerin performans karakteristikleri, sistem parametrelerinin geniş bir aralığı için boyutsuz parametrelere bağlı olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, manyetik filtrelerle ilgili literatürde görülen bazı çelişkileri gidermek bakımından açıklayıcı olduğu gibi laboratuvar veya endüstride kullanılan filtreler için literatürde verilen deneysel datalarla iyi bir uyum içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Donescu ve arkadaşları (1996), fırçasız DC motorlarda bulanık mantık hız kontrolü için, sistematik bir tasarım metodu isimli çalışmalarında; bulanık denetleyiciler için yeni bir tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemle göre; bulanık denetleyicinin kontrol yüzeyi, aynı uygulamada PI kontrol ile gerçekleştirilen kontrol yüzeyi referans alınarak bulunmaktadır. Bulunan başlangıç kontrol yüzeyinde, sistemin adım cevabına bakılarak parametrelerin ince ayarları yapılmaktadır. Önerilen yöntemin çevrim dışı uygulamalarda kolayca yürütülebileceğini belirtmişlerdir.

Zadeh (1965), bulanık kümeler isimli çalışmasında; matematiğin bir alt dalı olarak bulanık küme teorisini ortaya atmış ve teori ile ilgili tanımlamalar yapmıştır. Ayrıca çalışmada, bulanık kümelerle cebirsel işlemler ve özellikleri verilmiştir. İlk olarak Zadeh tarafından ortaya konulan bulanık mantığın uygulaması ise, genellikle yapay zeka sistemlerinde karşımıza çıkmaktadır.

Bulanık mantık, probleme farklı yaklaşım tekniğiyle sorun çözmede şaşırtıcı başarılar göstermekte ve farklı alanlarda da uygulamaları yapılmaktadır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak bu çalışmada manyetik filtrelerin bulanık mantık yöntemiyle kontrolü amaçlanmıştır. Filtre performansını etkileyen pek çok faktör olduğu göz önüne alınmış ve en önemli iki parametreye (sıvının akış hızı ve sıvı içerisindeki manyetik özellikli parçacık miktarı) göre bir sistem tasarlaması hedef olarak seçilmiş ve bu yönde çalışma yapılarak bir prototip gerçekleştirilmiştir.



### 3 MANYETİK FİLTRE

Endüstrideki teknolojik işlemlerde kullanılan ortamların temel elemanları arasında sıvı ve gazlar önemli bir yer tutmaktadırlar. Bu ortamlar, teknolojik işlem devresini oluşturan elemanlardan biri olduğundan bunların kaliteleri yüksek olmalıdır. Bu ortamların kalitesinin düşük olması tüm teknolojik işlemin bozulmasına, bu teknolojik işlemlerin içerdiği set ve cihazların kullanım sürelerinin azalmasına ve sanayinin genel olarak veriminin düşük olmasına neden olur.

Teknolojik sıvıların kalitesinin yüksekliği iki temel koşul ile belirlenir. Bunlar:

1. Teknolojik işlemlerde kullanıldığı süre içerisinde kimyasal ve fiziksel özelliklerinin sabit kalması,
2. Teknolojik işlemler sonucu içerdikleri çeşitli karışımlar bakımından temiz olmalarıdır.

Çeşitli kimyasal ve fiziksel özellikli bu karışımlar, teknolojik işlemlerde oluşan bazı bozukluklar nedeniyle veya set ve cihazların zaman içerisinde aşınmalarının sonucu olarak her zaman oluşurlar. Dolayısıyla bu endüstriyel sıvıların sürekli olarak karışımlardan temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizleme işlemi, gereklilik durumuna göre teknolojik işlem süresinin başlangıcında, sonunda veya herhangi bir aşamasında gerçekleştirilebilir (Abbasov 1999, Herdem 1999).

Yapılan çok sayıda deney sonucunda, teknolojik sıvı ve gazların içerdikleri karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geniş spektruma sahip olduğu belirlenmiştir. Fakat bütün durumlarda bu karışımların büyük kısmını demir ve demir bileşenli elemanlar, yani demir içerikli parçacıklar oluşturmaktadır (Abbasov 2002, Herdem 1999).

### 3.1 Manyetik Filtrenin Tanımı

Endüstriyel sıvıların, içerdikleri manyetik özellikli parçacıklarından temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizleme işlemi, fizyolojik veya kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda bu iki yöntemin dışında, manyetik özellikten faydalanılarak farklı yapı ve tiplerde filtre matrisleri kullanılarak temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Parçacıkların manyetik özelliklerinden yararlanarak temizleme yapan filtrelere manyetik filtre (MF)\* denilmektedir.

### 3.2 Manyetik Filtrelerin Kullanım Alanları

Endüstriyel sıvıların demir içerikli karışımlardan temizlenmesi, birçok sanayi dalında günümüzün en önemli problemlerinden birisi olmuştur. Bu sanayi alanlarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Abbasov 2002).

- Elektrik enerjisi üretimi,
- Kimya sanayi,
- Petrol sanayi,
- Ağaç sanayi,
- Cam sanayi,
- Porselen sanayi,
- Kâğıt sanayi vb.

---

\* MF'ler ile ilgili teorik bilgiler için Abbasov (2002) literatüründen faydalanılmıştır.

### 3.2.1 Elektrik enerjisi üretiminde kullanımı

Demir içerikli karışımlar termik elektrik santrallerinde kullanılan kondensatların kalitesini düşürür. Örneğin, bu karışımların sıvılarda düşük konsantrasyonlarda (0,02–0,2 mg/l) bile bulunması kazanların buhar taşıma borularının duvarlarında demir bileşenli çöküntüler oluşmasına neden olur. Bu çöküntüler termik ve hidrolik dirençleri fazlalaştırır ve ısı geçişini zayıflatır. Böylece yakıtın ve ısıtma enerjisinin aşırı masrafına, boruların yanarak delinmesine ve sonuç olarak elektrik enerjisinin veriminin azalmasına neden olur.

Demir içerikli parçacıklar, özellikle de teknolojik süreçte yer alan kurgu ve cihazların paslanması veya aşınması sonucu oluşan bileşenler, nükleer santrallerin kondensatların kalitesini düşürür ve sürekli olarak temizlenmelerini gerektirir (Watson 1973).

### 3.2.2 Kimya sanayinde kullanımı

Manyetik özellikli parçacıklardan temizlenmesi probleminin en önemli olduğu sanayi dallarından biri de kimya sanayisidir, örneğin azot asidi üretilen teknolojik süreçte kullanılan platinyum katalizatörlerden geçen sıvı amonyakta 1–3 mg/l demir bileşenli karışımların bulunması bu katalizatörlerin verimlerini %8–%10 azaltır, çalışma süresini kısaltır. Dolayısıyla işlemin ekonomisinin ve servis masraflarının artmasına neden olur.

Demir bileşenli karışımlar ağır sanayide kullanılan sıvılarda ve gazlarda da teknolojik rejimler için tehlikeli oranda konsantrasyona sahip olurlar.

Örneğin ağır sanayide kullanılan soğutma sıvıları ilk temizleme işleminden sonra 50–100 mg/l civarlarında demir bileşenli karışımlar içermektedirler ki, bu karışımlar set ve cihazların ek olarak aşınmasına neden olurlar ve üretilen malzemenin üzerinde paslanma bölgeleri oluşturarak kalitelerini düşürürler.

### 3.2.3 Petrol sanayisinde kullanımı

Petrol sanayisinde kullanılan örneğin petrol kuyularına pompalanan suların temel kalite göstergesi, bu suların demir bileşenli parçacıklar içermemesi ve bu suların fiziko-kimyasal özelliklerinin kararlı olabilmesidir.

Petrol kuyularına pompalanan suların içerdikleri demir bileşenli parçacıklar yeraltında petrolün kuyuya süzüldüğü gözeneklerde katı çöküntüler oluşturarak gözenekleri kısmen veya tamamen kapatırlar. Sonuçta kuyunun petrol verimi düşer veya tamamen yok olur.

### 3.2.4 Çevre alanında kullanımı

Hem teknolojik sıvıların hem de günlük hayatta kullanılan suların içerdığı karışımlar, çevre için dünya çapında ekolojik tehlike oluşturmaktadırlar.

Bunların etkin olarak temizlenmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan çok önemli problemlerdendir.

Bunun için bu atıkların tümüyle karışımlardan temizlenmesi için yeni ve daha etkin temizleme sistemlerinin geliştirilmesi küresel problem olarak nitelendirilmektedir.

### 3.2.5 Sanayi alanlarında kullanımı

Endüstriyel sıvıların içerdikleri manyetik özellikli parçacıkların boyutları esasen mikron mertebesinde olup 0,1–1 µm civarlarındadır. Sanayideki gazların, dumanların ve tozların içerdikleri demir bileşenli parçacıkların boyutları ise 0,1–100 µm civarlarındadır. Demir bileşenli bu oksitlerin kolay kolay erimemesi nedeniyle bunlar endüstriyel sıvıların içerisinde tanecik (*koloit-dispers*) şeklinde bulunurlar (Abbasov 2003, Herdem 2005, Sarıtaş ve ark. 2007).

Görüldüğü gibi çeşitli sanayi alanlarında kullanılan teknolojik sıvıların içerdikleri karışımların fiziko-kimyasal özellikleri geniş bir spektruma sahiptir ve birçok durumda manyetik özelliği sergilemektedir. Bu karışımlar bütün teknolojik rejimler için ciddi engeller oluşturmaktadırlar ve bunların temizlenmesi için mevcut temizleme sistemleri yeterli değildir (Abbasov 2002). Bu nedenle endüstriyel sıvıları küçük boyutlu manyetik özellikli parçacıklardan temizlemek için yeni ve daha etkili temizleme sistemlerinin tasarımı en önemli problemlerden biridir.

Tanecik şeklinde ve genel olarak manyetik özellikli demir bileşenli karışımlar içerdiklerinden dolayı endüstriyel sıvıların temizlenmesi için manyetik yöntemlerin kullanılması daha avantajlıdır.

Bu amaçla son yıllarda çeşitli manyetik filtreler tasarlanmakta ve endüstriyel alanlarda çokça kullanılmaktadır.

Manyetik filtrelerin klasik filtrelerden prensip olarak en önemli farkı, filtre elemanlarının (filtre matrisinin) manyetik özellikli malzemelerden (küreler, çubuklar, plakalar, yün şekilli çelik ipler, metal talaşları vb.) oluşturulmasıdır.

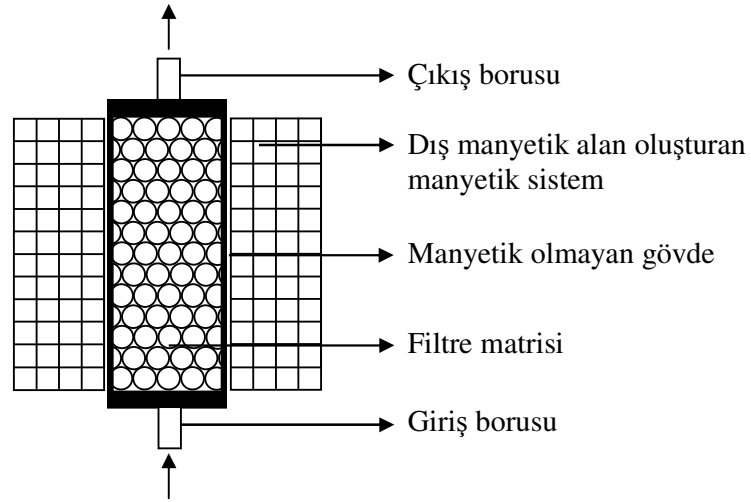
### 3.2.6 Manyetik filtrelerin yapısı

Dış manyetik sistem, elektromıknatıs (*solenoid, toroid, çekirdekli bobin* vs.) ve mıknatıslardan oluşturulabilir.

Gövde veya karkas manyetik olmayan paslanmaz malzemeden oluşturulur.

Filtre matrisi elemanları, manyetik alan yoğunluğu  $B = 0,05-1,5 T$  olan dış homojen alanın etkisiyle kolayca mıknatıslanırlar ve kendi etraflarında yüksek gradiente sahip olan çoklu alanlar oluştururlar. Bu alanların manyetik alan şiddetleri uygulanan dış manyetik alanın şiddetinden çok çok daha büyük olurlar. Bu alanların olduğu bölgeler "aktif bölge" veya "tutma bölgesi" adını alırlar (Alizade ve ark. 1997, Herdem ve ark. 1999).

Manyetik filtrenin prensip şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Sarıtaş ve ark. 2007, Özkan ve ark. 2007).



**Şekil 3.1** Manyetik filtrenin prensip şeması

### 3.3 Manyetik Filtre Çeşitleri

Literatürlerde MF çeşitleri ile ilgili detaylı pek çok bilgi olduğundan sadece önemli noktalarına değinilmiş ayrıntıya girilmemiştir.

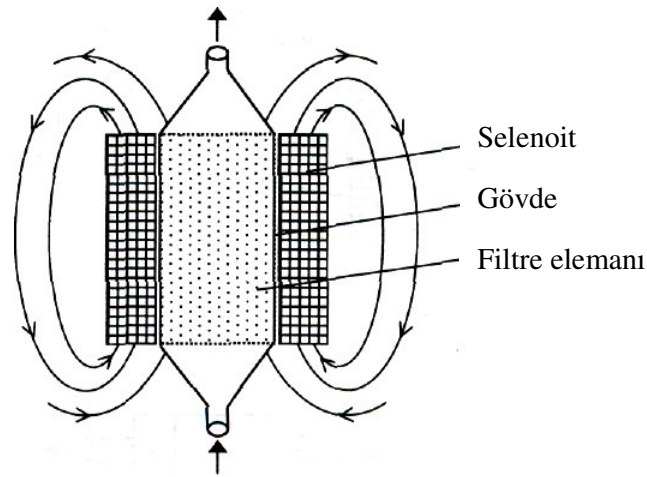
Manyetik filtreler;

1. Manyetik merkezkaç filtreler,
  - a. Selonit tip MF,
  - b. Çekirdek tip MF,
  - c. Mıknatıslı tip MF,
  - d. Manyetik santrifüj tip MF,
2. Süper iletken manyetik filtreler,
3. Filtre elemanı elektrik ve manyetik alanla komputlanmış filtreler, olarak ifade edilirler.

### 3.3.1 Manyetik merkezkaç filtreler

#### 3.3.1.1 Selenoit tip manyetik filtreler

Belli bir uzunluktaki selenoit tipli manyetik filtrelerde dik kesiti büyük olan gövdelerin kullanılması daha uygundur. Selenoitin uzunluğunun ( $L$ ) değişmediği durumlarda  $D$  çapının artması, filtre dışında kaçak akıların daha da fazlaşmasına neden olur. Dolayısıyla MF'nin eksenini etrafında ve uç kısımlarında manyetik alan şiddeti kesin olarak azalır. Öte yandan selenoit tipli manyetik filtrelerde hem  $L$  hem de  $D$  sınırlı boyutlara sahiptirler (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Selenoit tip manyetik filtre

Buna göre selenoit tipli MF tasarımlarında filtrelerin ekonomik olması kriteri  $L/D$  boyutsuz parametresi ile belirlenir (Abbasov 2002).

$$\frac{L}{D} \geq (2-3) \quad (3.1)$$

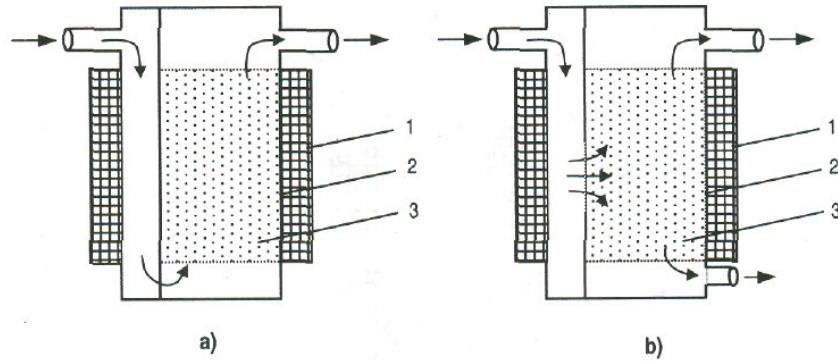
MF'de manyetik alan şiddetinin ortalama değerinin ( $H_L$ ), eşdeğer sonsuz uzunluktaki selenoitin manyetik alan şiddetine ( $H$ ) oranı

$$\frac{H_L}{H} = \left[ 1 - \exp\left(-0,45 \frac{L}{D}\right) \right]^{0,5} \left[ 1 + \frac{1}{3(L/D)} + \frac{10D_n}{9L} \right]^{-0,5} \quad (3.2)$$

ile belirlenir.

Burada  $D_n$  selenoitin sarım sayılarının toplam kalınlığıdır.  $L/D$  kriteri sağlanırsa o zaman  $H_L/H \geq (0,7-0,8)$  orantısı elde edilir.

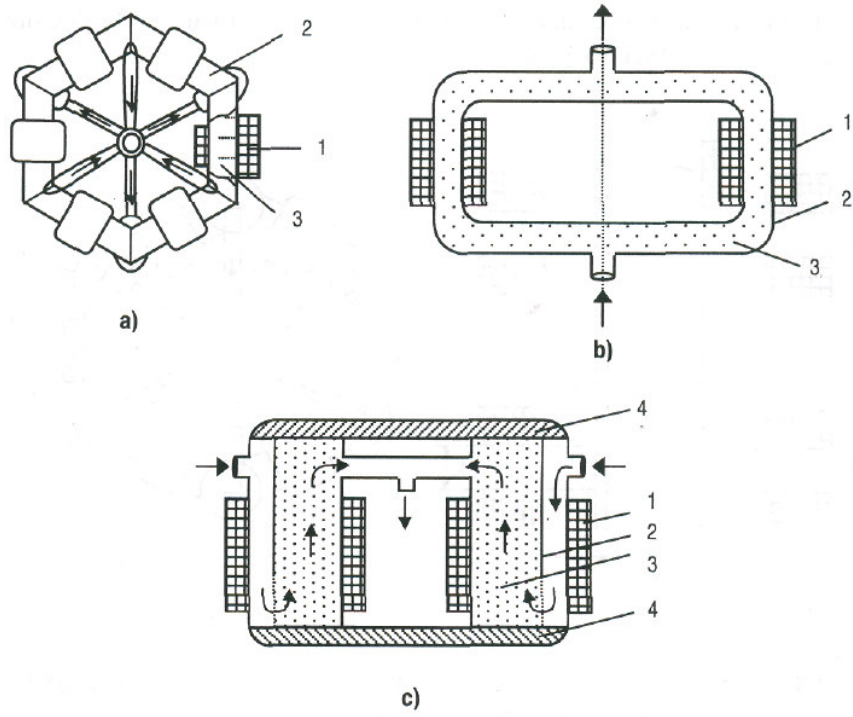
Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te selenoit tip MF örnekleri görülmektedir.



1- Bobin, 2- Gövde, 3- Filtre elemanı

**Şekil 3.3** MF selenoitinin yapılışı





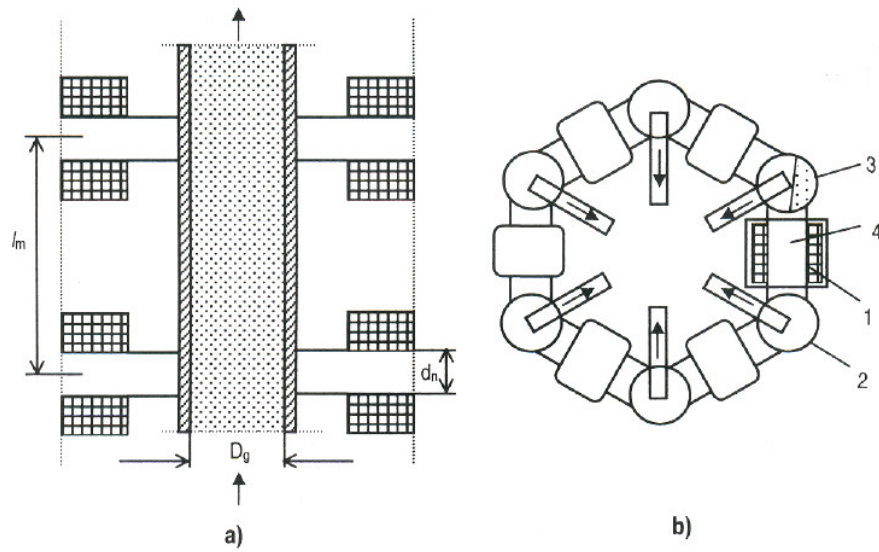
1- Bobin, 2- Gövde, 3- Filtre elemanı, 4- Őönt

a) Toroit Şekilli, b) Selenoit tipli birleŐmiŐ filtre, c) Selenoit Őönt bölgeli filtre.

**Şekil 3.4** Selenoit manyetik filtre

### 3.3.1.2 çekirdek tip manyetik filtre

Bu tip MF'nin özelliği, filtre elemanı dıŐına yerleŐtirilmiŐ elik çekirdekli kek boyutlu bobinlerin olmasdır. Bu filtrelerde çekirdek ve filtre elemanı birlikte manyetik devre oluştururlar. Şekil 3.5'te çekirdek tip çok kutuplu bir manyetik filtre yapısı görülmektedir.



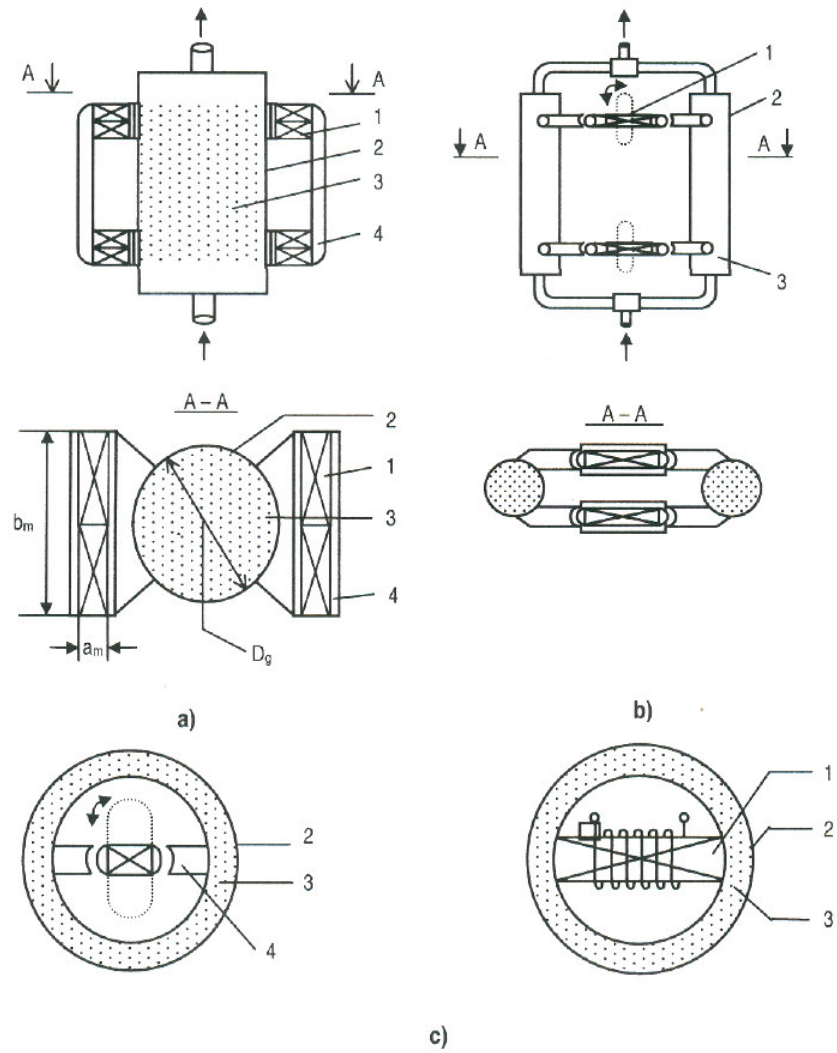
1- Bobin; 2-Sıvı geçiş kanalı; 3-Filtre elemanları; 4-Çekirdek  
a. Prensip şeması, b. Toroit şekilli MF

**Şekil 3.5.** Çekirdek tipi çok kutuplu manyetik filtreler

### 3.3.1.3 Mıknatıslı manyetik filtreler

Manyetik filtrelerin tasarımlarında ve yapımında çok sayıda bobinler kullanıldığından sargı için aşırı miktarda (bazı durumlarda tonlarca) iletken kullanmak gerekir. Aynı zamanda büyük güçteki MF'ler (30–100 kW) büyük elektrik şebeke gücünün olmasına ihtiyaç duyarlar. Diğer taraftan MF'ler geliştirilerek yanıcı ve patlayıcı özellikteki tehlikeli ortamların temizlenmesinde de kullanılabilir. Bu durumda elektrikli kısımların özel olarak koruma altına alınması gerekmektedir. Bu işlemler, ek kayıpların oluşmasına ve MF'nin yapısının zorlaşmasına neden olurlar.

Bu zorlukları kolaylaştırmak amacıyla MF'de, filtre elemanlarını mıknatıslamak için manyetik sistemi mıknatıstan veya mıknatıslardan oluşmuş bloklar şeklinde tasarlamak mümkündür (Şekil 3.6). Bu tip filtreler kısaca mıknatıslı manyetik filtreler adını alırlar.



1- Mıknatıslar; 2- gövde; 3-filtre elemanı;

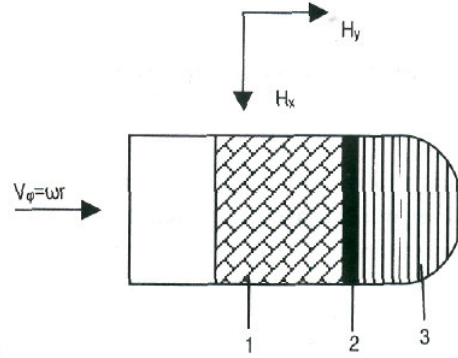
4- boyunduruk, (c)'deki bobin düz ve ters mıknatıslama yapmak için kullanılır

**Şekil 3.6.** Dış (a,b) ve iç (c) mıknatıslayıcı sistemli mıknatıslı MF

### 3.3.1.4 Manyetik santrifüj filtre

Bu tip manyetik filtrelerde parçacıkların tutulması için hem manyetik hem de merkezkaç kuvvetlerinin etkisi kullanılır. Manyetosantrifüj filtre tip separatörlerde, çalışma bölgesinde ya mıknatıslanan matris elemanları yerleştirilir ya da bu bölgede

manyetik ve merkezkaç kuvvetlerinin rekabeti oluşturulur, Şekil 3.7'de manyetosantrifüj seperatörün manyetik matrisle doldurulmuş ayırma bölgesinin prensip şeması gösterilmektedir (Abbasov 2002).



1-Manyetik matris, 2- Destekleyici ağ, 3- Manyetik olmayan özel destekleyici

**Şekil 3.7.** Manyeto santrifüj seperatörün manyetik dolgu elemanı ile doldurulmuş ayırma bölgesi

### 3.3.2 Süper iletken manyetik filtre

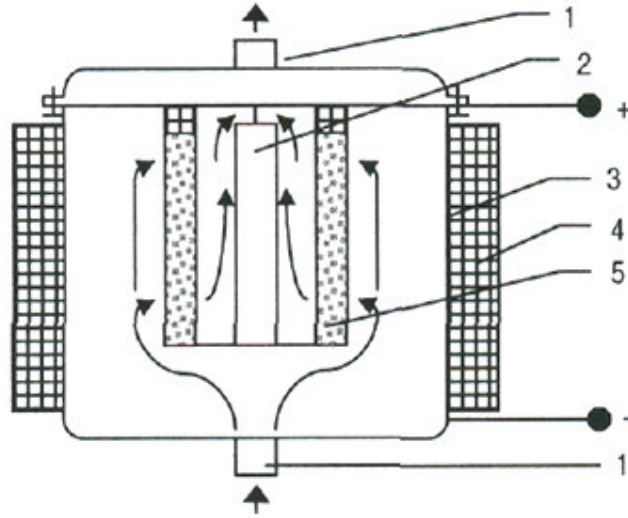
Çeşitli alanlarda manyetik alan etkisine tabi tutulan parçacıkların boyutları ve manyetik özellikleri çok küçüktür. Klasik manyetik filtrelerin bu tip sistemlere etkin uygulanmasında birçok sınırlamalar ortaya çıkmaktadır. Zira zayıf manyetik özellikli çok küçük parçacıkları filtrede tutabilmek için çok büyük manyetik alan yoğunluğu gerekmektedir. Klasik filtrelerin manyetik devresinin oluşturabileceği manyetik alan ise  $B \leq (2,0-2,2) T$  civarındadır. Bu nedenle manyetik filtrelerdeki klasik manyetik devrelerin kullanılmasının birçok dezavantajı vardır. Zira bu devrelerde manyetik sistem çabuk doyuma ulaşır ve kalıcı mıknatıslanmanın giderilmesi zorlaşır. Yapıları ağır, büyük hacimli olup enerji harcaması açısından avantajlı değildir. Buna göre çok zayıf manyetik özellikli küçük parçacıkları tutabilmek için yüksek alan yoğunluğuna sahip olan manyetik alanların oluşturulması gerekmektedir. Bu tip manyetik sistemleri süper iletken manyetikler kullanarak elde etmek mümkündür.

### 3.3.3 Filtre elemanı elektrik ve manyetik alanla komputlanmış manyetik filtreler

Endüstriyel sıvı ve gazların içerisinde manyetik özellikli parçacıklarla beraber birçok manyetik olmayan (*nonmanyetik*) parçacık ve maddeler de vardır. Bu maddelerin filtre gözeneklerinde yakalanması daha ziyade fiziko-kimyasal etkiyle olur.

*Nonmanyetik* ve zayıf manyetik parçacıkların manyetik filtrelerde tutulmasının diğer bir yöntemi ise onların elektriksel özelliklerini kullanmaktır. Bu amaçla filtre matrisinde temizlenen ortamda hem manyetik hem de elektrik alanların etkisinin oluşturulması gerekir.

Temizleme işleminin etkisini arttırmak için temizlenen ortama yüksek gradyentli manyetik alanla beraber elektrik alanının da uygulanması gerekir. Dolayısıyla manyetik filtrenin matrisi manyetik ve elektrik alanları ile komputlanmış olmalıdır (Şekil 3.8).



1-Giriş ve çıkış boruları, 2-Elektrot, 3-Filtre gövdesi, 4-Selenoit, 5-Dolgu elemanları

**Şekil 3.8.** Filtre elemanları elektrik ve manyetik alanlarla komputlanmış manyetik filtre

### 3.4 Manyetik Filtre Tasarımı ve Hesaplanması

Endüstriyel sıvı ve gazların mikron boyutlu manyetik parçacıklardan temizlenmesi için kullanılan manyetik filtreler düşük enerji sarf etmeli ama yüksek performans sağlamalıdır. Bunun için mıknatıslayıcı sistemin çok fazla efektif seçilmesi, filtreleme elemanları hariç manyetik devrelerin en düşük sayıda tutulması gereklidir. Bu nedenlerden dolayı, manyetik filtrelerin tasarımında aşağıdaki kriterlere dikkat edilmelidir.

- Filtre elemanları birbiri ile teğetleşebilen manyetik malzemelerden yapılmalıdır.
- Filtre elemanları paslanmayan manyetik özellikli malzemelerden yapılmalıdır.
- Filtre uzunluğu, filtre elemanlarının ebatları, elemanların filtrede yerleşim ve temizleme işleminin hızı gibi manyetik filtrenin teknolojik parametrelerine dikkat edilmelidir.
- Maliyeti mümkün olduğunca düşük olmalıdır.
- Filtrenin rejenerasyonu basit fakat etkin olmalıdır.

Bu koşulları sağlayabilmek için manyetik filtrenin parametreleri arasında bağıntılar elde edilmiştir. Bu parametreler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Manyetik filtre parametreleri

$D_g$	Gövdenin çapı
$D$	Selenoitin iç çapı
$D_d$	Selenoitin dış çapı
$IW$	Amper sarım
$W$	Sarım sayıları
$U$	Şebekenin gerilimi
$P$	Selenoitin gücü
$M$	Selenoitin kütlesi
$Q$	Filtrenin debisi
$H$	Manyetik alan şiddeti
$L$	Filtrenin uzunluğu
$V_f$	Temizlenen sıvının çıkış hızı

Manyetik filtrenin hesaplanmasında Abbasov 2002 literatüründen faydalanılmıştır.

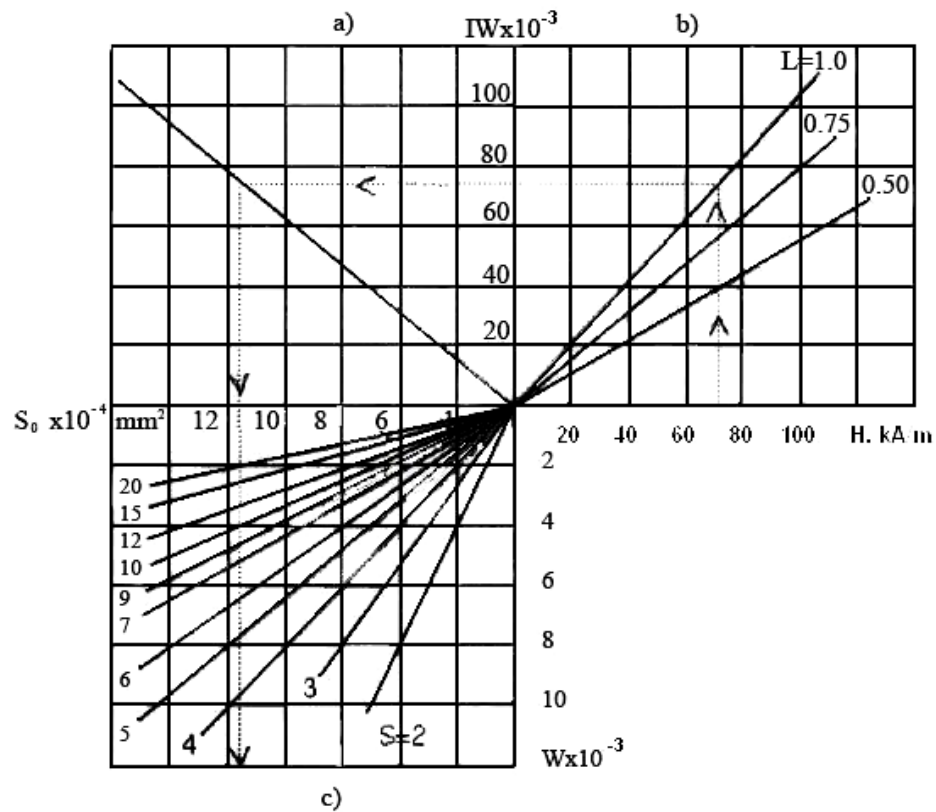
Selenoit tipli manyetik filtrenin debisi,  $Dg = D$  durumu için  $Q$  ve  $D$  denklem 3.1 ve 3.2 de ifade edildiği gibi olur.

$$Q = \frac{\pi D^2 V_f}{4} \quad (3.3)$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_f}} \text{ dir.} \quad (3.4)$$

Amper-sarım sayıları için  $IW=1,1 \cdot H \cdot L$  ile belirlenir.

Bu tür hesaplamaları kolaylıkla yapabilmek için Şekil 3.9'da gösterilen grafikten faydalanılmaktadır.



**Şekil 3.9** Bobinin dik kesitinin (a), amper sarımının (b) ve sarım sayılarının (c) manyetik alan şiddetine, bobinin uzunluğuna ve iletkenin çapına bağlılığı

Selenoitin sargularından geçen akım şiddeti:

$$I = JS_i = J \frac{\pi d_i^2}{4} \quad (3.5)$$

ifadesi ile belirlenir.

Burada  $j$  akım yoğunluğu,  $S_i$  - iletkenin kesiti ve  $d_i$ ; iletkenin çapıdır.

$$W = \frac{L(D_d - D)K_0}{2d_i^2} \quad (3.6)$$

ve selenoitin dik kesitinin alanı:

$$S_0 = \frac{(D_d - D)L}{2}, \quad (3.7)$$

$$S_0 = \frac{4IW}{\pi jK_0} \quad (3.8)$$

Uzunluğu  $L$ , dış çapı  $D_d$ , iç çapı  $D$  olan bir selenoitin sargısındaki sarım sayısı elde edilir.

$$W = \frac{\pi K_0 S_0}{4S_i} \quad (3.9)$$

Selenoitin omik direnci

$$R_b = \rho_i \frac{L_i}{S_i} = \frac{\rho_i}{4\rho\pi d_i^2 L_i} \quad (3.10)$$

Burada  $\rho_i$  iletkenin özgül direnci (bakır için  $\rho_i=1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ) ve  $L_i$  iletkenin toplam uzunluğudur.

$$L_i = \pi D_0 W \quad (3.11)$$

$$D_0 = (D_d + D)/2 \quad (3.12)$$

$L_i$  ve  $D_0$ ; 3.11 ve 3.12'deki ifade edildiği gibi olduğundan;



$$L_i = \frac{\pi^2 K_0 (D_d + D)(D_d - D)L}{16S_i} \quad (3.13)$$

elde edilir.

$$K = (D_d + D)(D_d - D)L \quad (3.14)$$

Burada  $K$ ; 3.14'te ifade edildiği gibi olduğundan  $L_i$  ve  $R_b$ ;

$$L_i = \frac{\pi^2 K_0 K}{16S_i}, \quad (3.15)$$

$$R_b = \frac{\pi^2 \rho_i K_0 K}{16S^2} \quad (3.16)$$

olur.

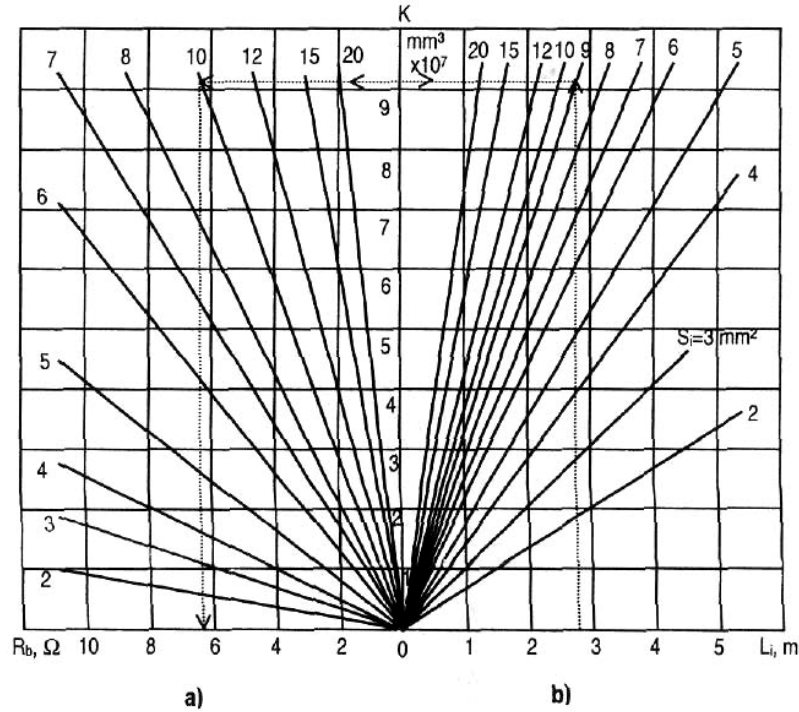
$D_d$  ve  $K$  için elde edilen formüller 3.17 ve 3.18'deki gibi ifade edilir.

$$D_d = \frac{2S_0}{L} + D \quad (3.17)$$

$$K = 2S_0 \left( \frac{2S_0}{L} + D \right) \quad (3.18)$$

Şekil 3.10'da

$L_i = f(K)$  ve  $R_b = f(K)$  nin çeşitli  $S_i$  değerleri için değişimleri verilmiştir. Burada  $p_j = 23 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ 'dir.



**Şekil 3.10** Bobinin dik kesitinin (a), amper sarımın (b) ve sarım sayılarının (c) manyetik alan şiddetine, bobinin uzunluğuna ve iletkenin çapına bağlılığı

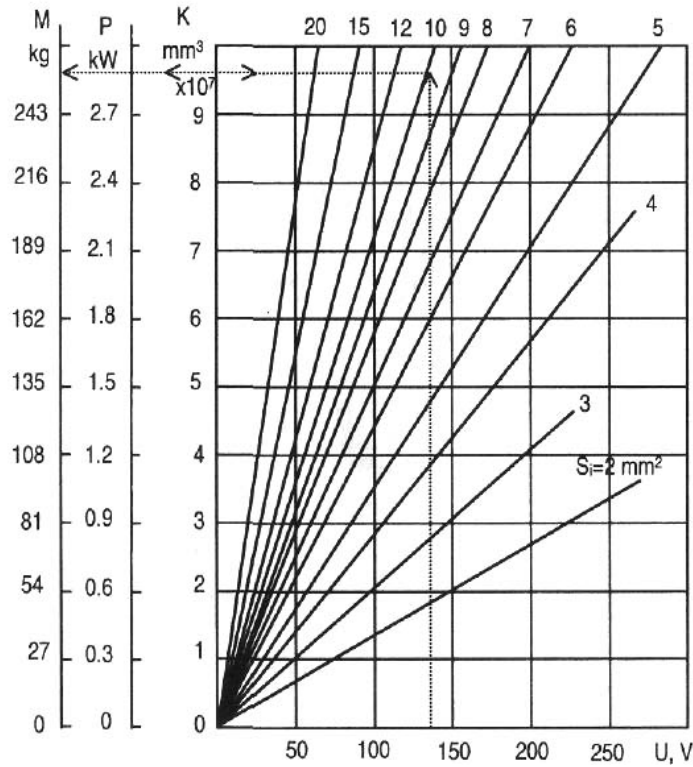
Selenoitin uçlarındaki gerilimi  $U$ , gücü  $P$  ve harcanan bakır iletkenin kütlesini belirleyebiliriz

$$U = IR_b = \frac{\pi^2 j \rho_i K_0 K}{16 S_i}, \quad (3.19)$$

$$P = I^2 R_b = \frac{\pi^2 j^2 \rho_i K_0 K}{16}, \quad (3.20)$$

$$M = L_i S_i \gamma_i = \frac{\pi^2 \gamma_i K_0 K}{16} \quad (3.21)$$

Burada  $\gamma_i$ , iletkenin özgül ağırlığıdır (bakır için  $\gamma_i = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ ). Bu bağıntılar  $K$ 'nın çeşitli değerleri için Şekil 3.11'de verilmiştir (Abbasov 2002).



**Şekil 3.11** Miknatıslayıcı bobinin gerilimi, gücü ve kütlesinin  $K$  ve  $S_i$ 'ye göre değişimi

Bu grafikten belli  $K$  ve  $S_i$  değerleri için  $U$ ,  $P$  ve  $M$  değerleri kolayca belirlenebilir.

$$K_0 = \frac{8,8H}{\pi j(D_d - D)} \text{ göz önüne alınırsa;}$$

$$L_i = \frac{0,55\pi H(D_d + D)L}{jS_i}, \quad (3.22)$$

$$U = \frac{0,55\pi\rho_i H(D_d + D)L}{S_i}, \quad (3.23)$$

$$P = 0,55\pi\rho_i H(D_d + D)L, \quad (3.24)$$

$$M = \frac{0,55\pi\gamma_i H(D_d + D)L}{j} \quad (3.25)$$

ifadeleri elde edilir.

Çok bölgeli manyetik filtrelerin esas parametrelerinin belirlenmesi; yukarıda gösterilen ve bir filtreleme bölgesine sahip olan filtrelerin hesaplanması metoduna benzer şekilde yapılabilir. Fakat bu durumda filtrenin debisine uygun olarak  $n$  bölgeli filtrenin bir bölgesinin çapı,

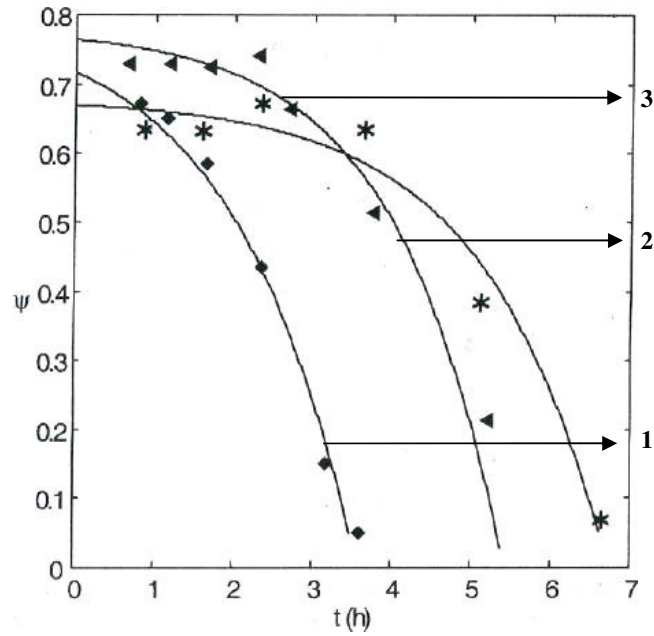
$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_f n}} \quad (3.26)$$

olur.

### 3.5 Manyetik Filtrelerde Performans-Zaman İlişkisi

Manyetik filtrelerin zamanla performansları düşmekte çok uzun süre çalıştırılmalarında performansı sıfır olana kadar düşebilmektedir. Doğal olarak bu durum pek çok parametreye bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu durumlar filtrelerin teknolojik parametreleri olarak ifade edilir. Teknolojik parametreler, filtre uzunluğu, filtre elemanlarının büyüklüğü ve tipi, sıvının akış hızı, filtreye uygulanan manyetik akı vb. belirlenmektedir.

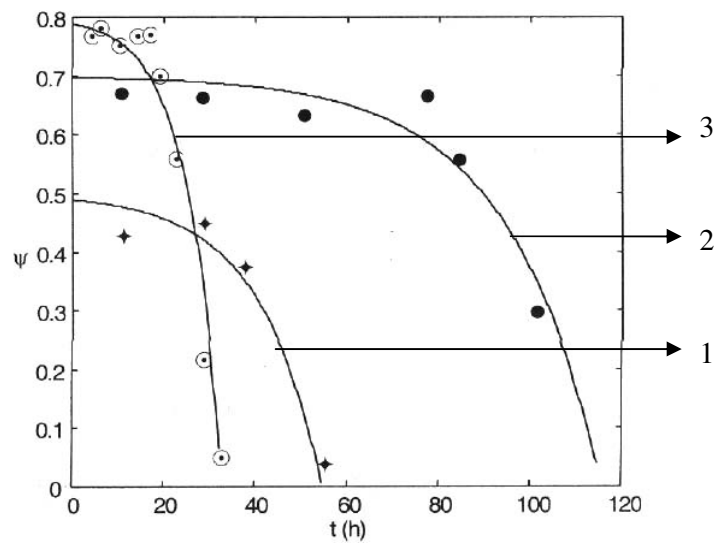
Şekil 3.12’de termik santral kondensatı ile yapılan çalışma sonucunda filtre performansı-filtreleme zamanına göre değişimi grafiği gösterilmiştir (Abbasov 1999, Herdem 1999, Herdem 2005).



1,2,3-Termik santral kondensatı.

Şekil 3.12 Filtre performansının ( $\psi$ ) filtreleme zamanına ( $t$ ) göre değişimi

Şekil 3.13'de de sıvı ve gaz amonyak kondensatları ile yapılan çalışma sonucunda filtre performansının filtreleme zamanına göre değişimi grafiği gösterilmiştir (Abbasov 2002).



1.sıvı amonyak 2, 3. gaz amonyak.

Şekil 3.13 Filtre performansının ( $\psi$ ) filtreleme zamanına ( $t$ ) göre değişimi

### 3.6 Bulgular

Manyetik filtreleme işlemi yapılan sistemlerde:

1. Sıvı ve gazların mikron ve submikron boyutlu manyetik parçacıklardan temizlenmesi işlemi, oldukça komplekstir, bilimsel araştırma ve tekniksel yapılandırma gerektirir.
2. Herhangi teknolojik sıvıların veya gazların temizlenmesi için kullanılacak MF'nin yapı tipinin seçilmesi temizlenen ortamın tipine, içerdiği karışımın konsantrasyonuna, bu karışımların manyetik özelliklerine ve boyutlarına bağlıdır.
3. Şu anda çeşitli sanayi alanlarında kullanılan MF'ler, esasen temelde manyetik ve mıknatıs tipi filtrelerdir.
4. Çeşitli yapılara sahip olan MF'den en yüksek performansa sahip olan yapılar Yüksek Gradyentli Manyetik Filtreler (HGMF) ve Süper iletken Manyetik Separatörlerdir. Bu tip manyetik filtre-separatörlerde, temizlenen ortamlardan hemen hemen tüm karışımları tutmak mümkün olabilmektedir.
5. Daha iyi sonuçlar elde etmek için filtreleme işleminden önce karışımların manyetik alanda işleme tabi tutulmasında yarar vardır (Abbasov 2002).

#### 4 YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

Yapay zeka (YZ), insan tarafından yapıldığında zeka olarak adlandırılan davranışların (akıllı davranışların) makine tarafından da yapılmasıdır. Yapay zekanın insan aklının nasıl çalıştığını gösteren bir kuram olduğu da söylenebilir (Russell 1995, Haykin 1998, Munakata 1998, Nilssons 1998).

YZ'nin amacı insanın zekasını bilgisayar aracılığı ile taklit etmek, bu anlamda belli bir ölçüde bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırabilmektir. Bu şekilde YZ çoğunlukla insanın düşünme yeteneğini, beynin çalışma modelini veya doğanın biyolojik evrimini modellemeye çalışan yöntemlerden oluşur (Haykin 1998, Munakata 1998, Nilssons 1998).

Bilgisayar teknolojisindeki gelişime paralel olarak özellikle son yirmi yılda hemen hemen her alanda karşımıza çıkan ve sezgisel olarak çözülebilen ya da çözülmesi matematik teknikler ile mümkün olmayan gerçek hayat problemlerini (Kanser teşhisi, EKG ve EEG grafiklerini yorumlama vb.) çözmeye yönelik teknikler YZ teknikleri olarak adlandırılır. Bunların başlıcaları şunlardır:

- a-) Bilgi tabanlı uzman sistem yaklaşımı
- b-) Yapay sinir ağları yaklaşımı
- c-) Bulanık mantık yaklaşımı
- d-) Geleneksel olmayan optimizasyon teknikleri
  - i-) Genetik algoritma
  - ii-) Benzetilmiş tavlama (*Simulated annealing*)
  - iii-) Hibrit algoritmalar
- e-) Esnek programlama (*Soft computing*)
- f-) Yapay bağışıklık sistemi yaklaşımı

Son yıllarda YZ tekniği, pek çok problemin analizinde başarı ile kullanılmış ve klasik programlamaya alternatif olmuştur. Başlangıçta çok farklı amaçlar (Tıp alanında hastalık teşhisi; uydu fotoğraflarının okunması ve belirlenmesi, strateji

belirleme gibi askeri amaçlı uygulamalarda, kontrol problemlerinde, endüstriyel uygulamalarda) için geliştirilen bu teknik günümüzde hemen her disiplinde kullanılır olmuştur. (Allahverdi 2002, Haykin 1998, Luger 2002).

Bulanık sistemler ve Yapay Sinir Ağları (YSA) sahip oldukları avantajlardan dolayı değişik bilimsel ve mühendislik uygulamalarında giderek daha cazip bir hale gelmişlerdir. Bunun temel sebebi, geleneksel çözüm yollarına kıyasla belirli bir kesinlik toleransına sahip olmaları ve parçalı doğrular ile çalışabilme yetenekleridir (Mendi 2002).

Bulanık Mantık (BM), denetim ve bilgi süreçlerinin birçoğu için güçlü bir problem çözme yöntemidir ve kesin olmayan bulanık bilgiden dikkate alınacak kadar basit bir şekilde kesin sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar (Zadeh 1965, Wang 1993).

YSA'nın en önemli özelliği öğrenebilme yeteneğidir. BM ve YSA'nın birbirlerini tamamlayıcı özelliklerinden faydalanarak birçok uygulama gerçekleştirilmiştir (Wang 1997, Chen ve Chen 1994, Buja ve Todesco 1994).

Bu çalışmada BM kullanılarak, endüstriyel sıvının hızı ve filtrenin girişindeki konsantrasyon oranına bağlı olarak filtre bobinine uygulanan akım dolayısıyla filtrenin manyetik akısının kontrolü gerçekleştirildi. Aynı zamanda filtrenin çıkış konsantrasyon oranına bağlı olarak, belirli bir oranda, paralel olarak bağlı manyetik filtrelerin, biri endüstriyel sıvıyı temizlerken diğzerinin parçacıklardan temizlenmesini sağlayacak bir bilgisayar kontrolü yapıldı Gerçekleştirilen manyetik filtre ile yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen veriler kullanılarak YSA ile MF performansı için bir model oluşturuldu.

## **4.1 Bulanık Mantık Yaklaşımı**

### **4.1.1 Bulanık mantık**

Bir olay veya bir sistem miktarı karakteristiklerle sunulmayınca bu olayın veya sistemin iyi anlaşıldığı sayılamaz olması modern bilimin temel prensiplerinden



biridir. Bu açıdan bakıldığında bilimsel bilginin özünü teşkil eden bileşenlerin çoğuna, bu bileşenlerin davranışları hakkında miktarı enformasyon almağa olanak tanıyan ve çeşitli sistemlerin matematik modellerini oluşturmak için gereken prensip ve yöntemler topluluğu gibi bakılabilir (Chedid ve ark. 1999, Baykal ve Beyan 2004).

Bilgisayarların mühendislik, tıp vb. pekçok alanda kullanılmaya başlanması ile bilgisayarlı yöntemler daha hızlı yaygınlaşmaya başladı. Burada bilgisayarların mekanik, fizik, kimya ve elektromanyetizma kanunları ile belirlenen mekanik sistemlere uygulanışı çok verimli olmuştur ve olmaktadır. Maalesef, aynı şeyi *humanistik* sistemler hakkında söyleyememekteyiz (Allahverdi 2006).

Bilgisayarların *humanistik* sistemlere uygulanmasındaki başarısızlık, hesaplamalardaki yüksek hassasiyet isteğinin ve bunun yüksek hızla yapılması isteğinin uyuşmazlığından ileri geldiği ifade edilmektedir. Diğer bir deyimle, sistemin karmaşıklığı ve bu karmaşıklığı analiz etmek için kullanılan hassasiyet ters orantılıdır. Buradan, *humanistik* sistemlerin davranışı hakkında önemli sonuçlar alabilmek için hesaplamalardaki yüksek hassasiyet ve kesinlikten kaçınmak gerektiği sonucuna varılabilir. Bu yüzden *humanistik* hesaplamalarda çok da kesin olmayan kendi tabiatı itibarı ile tahmini olan diğer yöntemlerin kullanılmasına da yol vermek gerekmektedir (Allahverdi 2006, Elmas 2003).

Çok büyük karmaşıklık karşısında hassasiyeti kurban ederken, değerleri sayılar değil, sözler veya cümleler olan dilsel değişkenleri kullanmak imkânının öğrenilmesi bu durumda tabiidir. Sayısal değişkenleri değil dilsel değişkenleri kullanmak bu değişkenlerin daha somut olması ile ilgilidir. Örneğin; “Ahmet uzun boyludur” ifadesi “Ahmet’ in boyu 1m 85cm’dir” ifadesinden daha az somuttur. Bu durumda uzun kelimesi boy uzunluğu değişkeninin bir dilsel değeri olarak ele alınabilir. Başka bir örneğe bakalım. “Ahmet gençtir” ve “Ahmet’ in yaşı 25’tir” ifadelerinde gençtir dilsel değerdir. Bu değer ikinci ifadedeki 25 sayısı ile aynı rolü oynamaktadır. Aynı şeyleri çok genç, genç olmayan, çok çok genç, çok da genç olmayan vs. dilsel değerleri hakkında da söylenebilir. Bu durum da bu dilsel değerlerin de arkasında net olmayan bir sayısal değer mevcuttur (Şen 2001).

Hesaplamaların böyle yapılabileceği ilk defa 1965 yılında Azeri kökenli ABD’li bilim adamı Lotfi Ali Asker-Zadeh tarafından yayınlanmıştır. “Bulanık

Kümeler” (BK) olarak adlanan bu makalede o, matematiğin, dil ve insan zekasını ilişkilendirebileceğini göstermiş ve bunun için bulanık kümeler teorisini teklif etmiştir (Zadeh 1965). Zadeh birçok kavramın dilsel olarak geleneksel matematiğe göre daha iyi belirlenebildiğini ve bulanık mantığın ve onun bulanık kümelerdeki ifadelerinin gerçek hayatın daha iyi modelini oluşturduğunu göstermiştir.

Bulanık mantık teorisini ilk defa 1972 yılında İngiltere’de Ebrahim Mamdani, bir buhar makinesi için kontroller tasarlayarak kullandı. Bundan sonra Danimarka’da çimento sanayisindeki uygulama bu yöntemin avantajlarını gösterdi. Bundan sonra bulanık mantığın en çok uygulandığı ülke Japonya oldu. Japon bilim adamları ve mühendisleri bulanık mantığı metroda, otomatik tren kontrolü, hisse senedi portföyü, asansör vs. birçok alanda kullanmışlar ve bundan büyük ekonomik kazançlar elde etmişler. Bugün Japonya’da bulanık mantık kullanılmayan beyaz eşya çeşidi yoktur (Allahverdi 2002, Sarıtaş 2003).

#### 4.1.2 Bulanık küme

Geleneksel küme teorisinde kullanılan küme kavramı bir nesnenin bir kümenin elemanı olması “1” yada olmaması “0” gibi iki seçenekli bir mantığa dayanmaktadır. Geleneksel küme teorisinde bu ikisinin arası yoktur. Belirsizlik içeren bir problemin çözümü güçtür (Nguyan 1996).

Klasik küme kuramında, bir  $X$  kümesindeki  $A$  alt kümesi kendisine ait karakteristik fonksiyonu olan  $\mu_A$  ile ifade edilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } x \in A \\ 0 & \text{Eğer } x \notin A \end{cases} \quad (4.1)$$

Karakteristik fonksiyon,  $X$ ’in elemanlarını  $\{0,1\}$  kümesine dönüştürür. Bu dönüşüm  $X$ ’in her elemanı için bir sıralı ikili kümesiyle ifade edilebilir. “0” değeri kümeye ait olmayı, “1” değeri ise kümeye aitliği gösterir.

$$\mu_A : X \rightarrow \{0,1\}, \quad x \in A$$

şeklindeki bir önermenin doğruluğu  $(x, \mu_A(x))$  sıralı ikisiyle belirlenir. Eğer sıralı ikilinin ikinci elemanı 1 ise önerme doğru, eğer bu değer 0 ise önerme yanlıştır.

Bulanık küme kavramında, kümedeki her bir birey, klasik çift değerli küme kuramlarında olduğu gibi üye ya da üye değil olarak değil bir dereceye kadar üye olarak görülmektedir. Bulanık küme de değişik üyelik derecesinde öğelere sahip olan bir fonksiyondur.

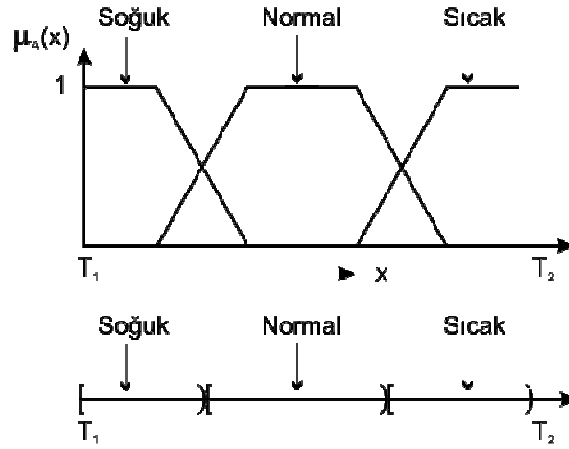
Bu teoride nesnelerin bir kümeye ne kadar ait olduğu derecelendirilmiştir. Kümeye ait üyelik dereceleri ile verilir.

Öğeler bulanık kümeye kısmi derecede aittir. Klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon,  $\mu_A: E \rightarrow \{0,1\}$ , bulanık kümelerde yerini,  $\mu_A: E \rightarrow [0,1]$  olarak gösterilen üyelik fonksiyonuna bırakır.

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu denir.  $X$  eksenü üyeleri gösterirken,  $y$  eksenü üyelik derecelerini gösterir.  $A$  bulanık küme,  $\mu_A(x)$  de üyelik derecesi olmak üzere  $A = \{\mu_A(x), x\}$  olarak yazılabilir (Nguyan 1996, Nguyan 2003).

#### 4.1.2.1 Üyelik fonksiyonu

$[T_1, T_2]$  aralığında sıcaklığın sunumu bulanık ve klasik kümeler kullanılarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir. İlk durumda  $[T_1, T_2] \rightarrow [0,1]$  üyelik fonksiyonları “soğuk”, “normal” “sıcak” dilsel değerler olarak tanımlanıyor. İkinci durumda ise aralıklar klasik küme tarafından değişkenleri tanımlamada kullanılmaktadır (Şen 2001).



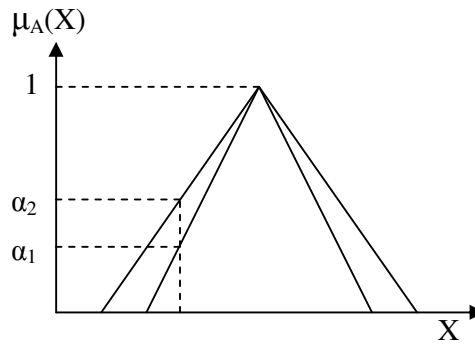
**Şekil 4.1** Sıcak, Normal ve Soğuk dilsel ifadelerinin üyelik fonksiyonu (Şen 2001)

Eğer  $A$  bulanık kümesinin üyelik derecesi her bir  $X$  değerine karşılık gerçek sayı aralığına karşılık geliyorsa bu tür bulanık kümelere aralık-değerli bulanık kümeler denir.

$\mu_A: X \rightarrow \varepsilon [0,1]$  olmak üzere

$$a = \mu_A(x_1^{a_1}, x_1^{a_2}) / x_1 + \dots + \mu_A(x_n^{a_1}, x_n^{a_2}) / x_n \quad (4.2)$$

aralık değerli  $A$  Bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu Şekil 4.2'deki gibidir.

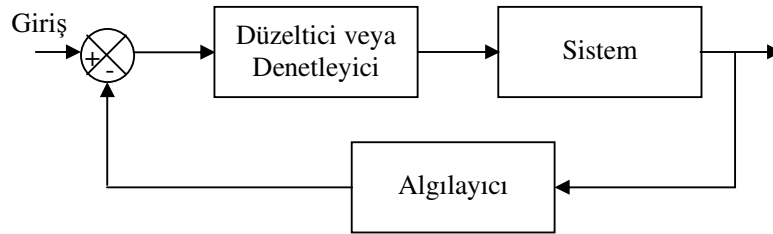


**Şekil 4.2** Aralık değerli üyelik fonksiyonu (Şen 2001)

#### 4.1.2.2 Bulanık mantık denetleyici sistemler

Bir denetleyici sistem, başka bir fiziksel sistemin tepkisini veya davranışını denetleyen, düzelteren, fiziksel elemanlardan oluşmaktadır. Denetim sistemleri genel olarak açık döngülü ve kapalı döngülü/geri beslemeli olarak iki tiptir. Açık döngülü denetim sistemlerinde denetim hareketi sistem çıkışından bağımsızdır, kapalı döngülü sistemlerde ise denetim hareketi sistem çıkışına bağlı olarak değişebilmektedir (Allahverdi ve ark. 2007). Kapalı döngülü denetim sistemlerine örnek olarak tost makinesi ve otomatik çamaşır makinesi verilebilir. Tost makinesinde ısı miktarı kullanıcı tarafından ayarlanır, otomatik çamaşır makinesinde ise suyun ısısı veya makinenin devir sayısı kullanıcı tarafından seçilir. Her iki örnekte de denetim işlemi çıkış değerine bağlı olarak değişmemektedir. Geri beslemeli veya kapalı döngü denetim sistemlerine diğer bir örnek olarak, bir odanın ısınısını ayarlayan termostat denetimi ve otomatik pilot denetimi verilebilir. Termostat denetiminde ısıtma ve soğutma ünitesinin çalışması, oda ısınısının istenen değerin altında veya üstünde olmasına bağlıdır. Otomatik pilot denetiminde ise düzeltme işlemi pilot kabinindeki cihazlar tarafından ölçülen irtifa değişimine göre yapılır. Herhangi bir fiziksel değişimin denetimi için öncelikle onun ölçülmesi gerekmektedir.

Denetimi yapılan sinyalin ölçülmesi için algılayıcılar kullanılır. Kapalı döngülü denetim sistemlerinde giriş sinyal değerlerine, çıkış veya sistemin sonuç değerleri etki eder. Bu denetim sistemlerinde yeterli tepki elde edebilmek için döngü içinde ek olarak düzeltici veya denetleyici birimine gerek duyulur. Kapalı döngülü denetim sistemlerinin genel olarak gösterilişi Şekil 4.3'deki gibidir (Elmas 2003).



**Şekil 4.3** Kapalı döngülü denetim sistemi (Elmas 2003).

Denetleyici sistemleri bazen de düzeltici veya izleyici olarak iki kısımda incelenir. Denetleyici sistemi fiziksel bir değişkeni sabit bir değerde tutuyorsa bu sistem düzeltici olarak adlandırılır. Eğer denetim sistemi zamana bağlı olarak değişen değerleri takip ediyorsa izleyici denetleyici olarak adlandırılır. Oda ısı denetimi veya otomatik pilot denetimi düzeltici denetleyicilere, uçağı otomatik olarak bir noktaya yumuşak indirme denetimi ise izleyici denetleyicilere örnek verilebilir.

Denetimi yapılan fiziksel sistemin çıkışı veya tepkisi hata sinyali tarafından ayarlanır. Hata sinyali, istenen referans değer ile sistemin şu andaki çıkışı (algılayıcı tarafından ölçülen değer) arasındaki farka eşittir (Elmas 2003).

#### **4.1.3 Bulanık sistemler**

Bulanık kümeler ve bulanık mantık teorisinin en etkin uygulama alanı kontrol sistemleridir. Geleneksel kontrol sistemleri bulanık teorisinin yardımıyla bulanık kontrol sistemlerine dönüştürülebilir ve böyle sistemlerin uygulanması birçok avantajlar elde etmeye olanak verir (Zadeh 1992, Wang 1997, Sarıtaş ve ark. 2005).

Genelde, bulanık sistemler bilgiye dayalı veya kurala dayalı sistemlerdir. Yani bir bulanık sistemin temelinde "Eğer- O halde" kuralları vardır (Wang 1997, Allahverdi ve ark. 2007, Sarıtaş ve ark. 2007) .

Burada çok yüksek, yüksek, normal, düşük, çok düşük gibi dilsel değerler kullanılır ve bu dilsel değerlerin uygun üyelik dereceleri mevcuttur.

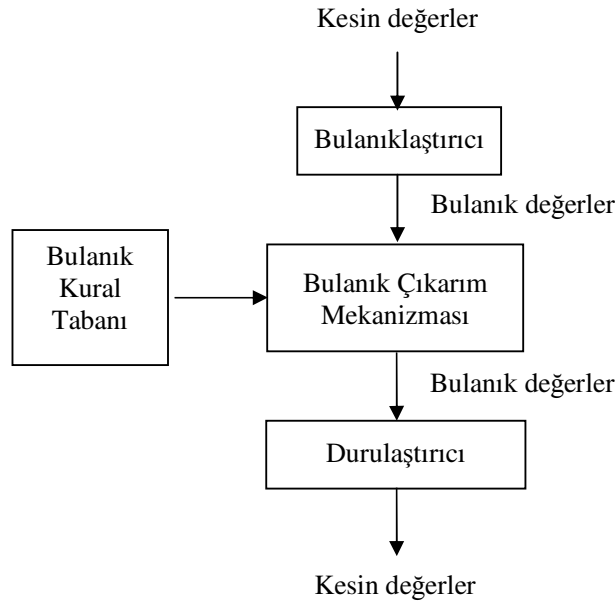
Bir bulanık sistem tasarlanmasına karar verildikten sonra ilk yapılacak işlem, eğer o-halde kurallar tablosunu elde etmektir. Bu kurallar, genelde uzmandan yararlanılarak oluşturulur (Bay 2004, Sarıtaş 2003, Bay 2003, Allahverdi 2002, Tang ve ark. 2001, Ross 1995, Zadeh 1992).

#### **4.1.4 Bulanık uzman sistemin tasarımı ve uygulaması**

Bu kavramın kullanılmasıyla ortaya çıkan en yaygın uygulamaların başında bulanık mantık tabanlı kontrol mekanizmaları gelmektedir. Bulanık mantık kontrol

sistemleri bilinen PID kontrol tasarımlarında olduğu gibi sistemin tam bir model bilgisini gerektirmez. Bu bilgi yerine uzman olarak adlandırılan insanın deneyimini ve ustalığını koymaktadır. Uzman bilgisinden ve tecrübesinden ve insanın keskin olmayan duyuşsal verilerinden yararlanarak bulanık sistem gerçekleştirilmeye çalışılır (Şen 2001, Sarıtaş ve ark. 2007). Bunun için birçok tasarım metodu da halen geliştirilmiş durumdadır ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

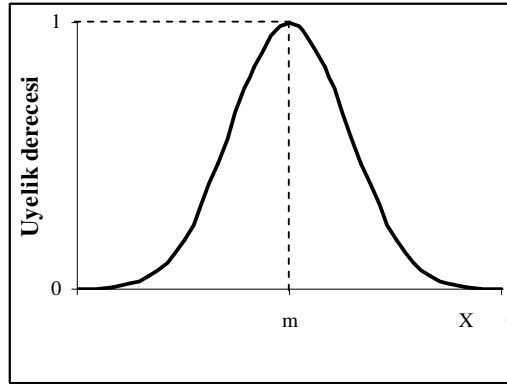
Bulanık mantık kullanılarak geliştirilen bulanık kontrol için temel yapı Şekil 4.4'te gösterilen bulanık uzman sistem mekanizmasıdır (Wang 1993, Sarıtaş 2003).



**Şekil 4.4** Bulanık uzman sistem yapısı

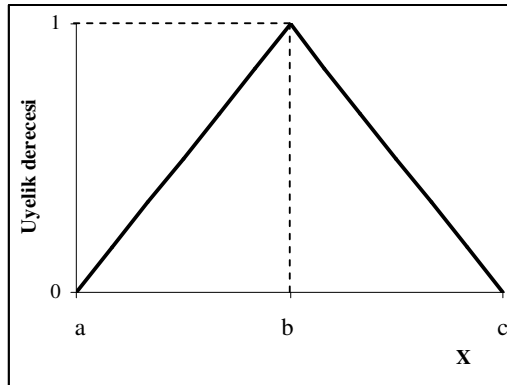
#### 4.1.4.1 Bulanıklaştırıcı

Kesin değerlere sahip giriş ve çıkış parametreleri bulanık değerlere üyelik fonksiyonu olarak dönüştürülür. Bu üyelik fonksiyonları çözülecek probleme göre farklılık arz edebilir. Genel olarak çan eğrisi, üçgen ve yamuk (sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7) üyelik fonksiyonları bulanıklaştırma metodu olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.5 Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

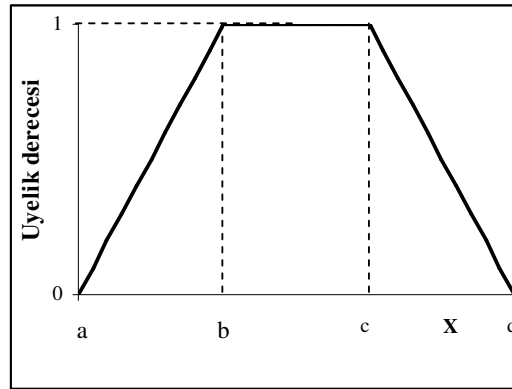
$$\mu_A(X) = e^{-a(x-m)^2} \quad a > 0, m \in R \quad (4.3)$$



Şekil 4.6 Üçgen üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x) = \mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(x-b) & \text{eğer } a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (4.4)$$





Şekil 4.7 Yamuk üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x) = \mu_A(x, a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c < x \leq d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (4.5)$$

#### 4.1.4.2 Bulanık kurallar tabanı

Bir bulanık kural, bulanık bir “Eğer- O halde” kuralıdır.

Örneğin,

“Eğer oda sıcaklığı  $T \geq 20^0 \text{ C}$  ise, O halde oda sıcaklığı büyüktür” kuralı kesin kura;

“Eğer oda sıcaklığı  $T < 20^0 \text{ C}$  ise, O halde kazan kalorifer sıcaklığını artır” kuralı bulanık bir kuraldır.

Görüldüğü gibi büyük ve artır değerleri bulanıktır ve uygun üyelik dereceleri ile belirlenirler. Aynı süreci temsil eden bulanık kurallar topluluğu bulanık kurallar tabanını (*Fuzzy rules base*) oluşturur. Bir bulanık kurallar tabanında birbirine bağlı olan kurallar mevcuttur ve böyle bağıllık sistemin girişine verilen gerçeklerden yola çıkarak bir sonuca varmaya olanak vermektedir (Wang 1997).

M tane bulanık kural olduğunu,

$$A_i^l \subset U_i, B^l \subset V, x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in U$$

$y \in V$  olduğunu varsayarak bir bulanık kuralın genel yapısını aşağıdaki gibi belirleyebiliriz:

$$Ku^l \text{ Eğer } x_1 \text{ } A_1^l \text{ dir ve...ve } x_n \text{ } A_n^l \text{ dir ise O halde } y \text{ } B^l \text{ 'dir.}$$

Burada  $l=1,2,\dots,M$  ifadesi birkaç değişik tip bulanık kuralı içerdiğinden dolayı yasal (*kanonik*) bulanık Eğer- O halde kuralı olarak adlanır.

#### 4.1.4.3 Bulanık çıkarım mekanizması

Çıkarım mekanizması yani kural yorumlayıcısı, işçi bellek adı verilen veri tabanındaki verileri ve bilgi tabanında bulunan kuralları kontrol ederek, işçi belleğe yeni verilerin eklenmesi görevini yerine getirip bunların bir dizi içerisinde sunulması ve bu kurallar içerisinde hangisinin olacağına karar verilmesini sağlayan sistemdir. Yani bir nevi yönetim görevini de üstlenmiştir.

Çıkarım mekanizması, yukarıdaki olaylara bağlı kalarak kendine göre yeni çıkarımlar yapabilmektedir. Aynı zamanda bu çıkarımları yönetebilme özelliğinin de var olması ayrı bir avantajdır (Allahverdi 2003, Saritas 2003, Donescu ve ark. 1996).

Bilindiği gibi bilgi tabanındaki kurallara ulaşma imkânı mevcuttur. Çıkarım mekanizmasında ise böyle bir şey mevcut değildir. Yani kurallar gizlidir.

Çıkarım mekanizmasındaki yönetim fonksiyonunu; karşılaştırma, seçim, yürüme ve eylem şeklinde yerine getirir.

##### 4.1.4.3.a Kompozisyona dayalı çıkarım

Bu yöntemde bulanık kurallar tabanındaki tüm kurallar  $U \times V$  de tek(*single*) bulanık bağıntı şeklinde düzenlenir. Sonradan bu bağıntı tek bir bulanık “Eğer-O

halde” kuralı olarak ele alınır. Kurallar kümesinin ne anlama geldiğini kestirmek için yaklaşık lojik operatörler kullanılır (Wang 1997).

#### 4.1.4.3.b Kişisel kurala dayalı çıkarım

Bu yöntemde bulanık kural tabanındaki her bir kural bir tane çıkış bulanık kümesi belirlemektedir ve tüm bulanık çıkarım mekanizması M tane kişisel bulanık kümelerin bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon birleşme ve kesişme ile elde edilebilir. Literatürde birçok çıkarım mekanizması vardır. Bunlardan bazıları; Çarpım çıkarım mekanizması, Minimum çıkarım mekanizması vb.dir. Bu çalışmada kullanılan çıkarım mekanizması *Mamdani* çıkarım mekanizmasıdır. Matematiksel ifadesi 4.6 ve 4.7’deki gibidir.

M tane kural  $UxV$  de birtek  $Q_M$  bulanık bağıntı şeklinde ele alınabilir.

$$Q_M = \bigcup_{l=1}^M Ku^{(l)} \quad (4.6)$$

S-norm operatörü ile

$$Q_M(x, y) = \mu_{Ku^{(1)}}(x, y) + \dots + \mu_{Ku^{(M)}}(x, y) \quad (4.7)$$

Burada “+” S-norm operatörüdür ve bu ifade “*mamdani* çıkarım mekanizması”dır (Wang 1997).

#### 4.1.4.4 Durulaştırıcı

Bulanık değerlerin kesin değerlere dönüştürülmesi yani bulanık  $B'CV$  kümesinden kesin bir  $y^v \in V$  noktasına gömülme süreci “durulaştırıcı” olarak adlandırılır. Burada  $V \subset R$  bulanık çıkarım mekanizmasının çıkışıdır.  $B'$  özel yollarla

elde edildiğinden dolayı ona en iyi denk gelen noktayı seçmek için birkaç yöntem vardır.

Durulaştırıcı için de aşağıdaki üç kriter istenmektedir.

- Akla yakınlık (*plausibility*).  $y^*$  noktasının  $B'$ 'nü temsil etmesi sezgisel (*intuitive*) yolla belirlenir. Örneğin bu nokta yaklaşık olarak  $B'$  desteğinin ortasında yerleşebilir ve ya  $B'$  üyeliğinin en yüksek derecesini alabilir.

- Hesaplama basitliği. Bu kriter gerçek zaman ölçüğünde çalışan kontrol sistemleri için çok önemlidir.

- Devamlılık (*continuity*)  $B'$  deki küçük bir değişiklik  $y^*$  de büyük değişikliğe neden olmamalıdır.

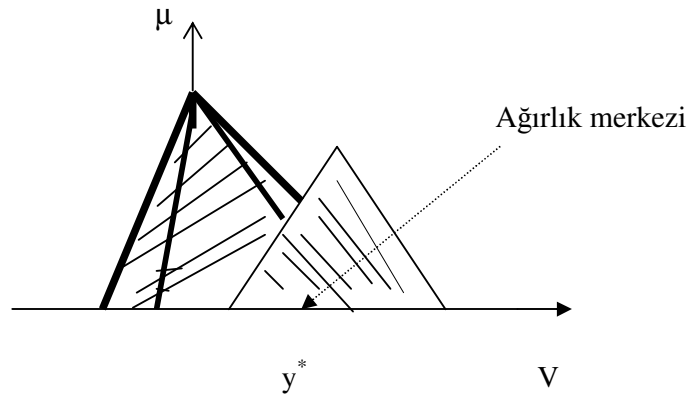
Yukarda anlatılan çıkarım mekanizmaları yardımı ile  $B'$  bulanık kümesinin elde edilmiş olduğunu varsayıyoruz. Bu durumda; maksimum durulaştırıcı, ortamın maksimumu durulaştırıcı ve ağırlık merkezi durulaştırıcılarından söz edilebilir.

Literatürlerde bu konularda oldukça fazla bilgi olduğundan sadece burada kullanılan ağırlık merkezci durulaştırıcıdan bahsedilmiştir.

Bu tip durulaştırıcı  $y^*$  noktasını  $B'$  nün üyelik fonksiyonu ile örten alanın ortası olarak belirtir (Denklem 4.8).

$$y^* = \frac{\int_v y \mu_{B'}(y) dy}{\int_v \mu_{B'}(y) dy} \quad (4.8)$$

Burada  $\int_v$  geleneksel integral sembolüdür. Şekil 4.8'de bu işlem grafiksel olarak gösterilmektedir (Zadeh 1965, Wang 1993, Allahverdi 2003).



Şekil 4.8 Ağırlık merkezli durulaştırıcı

## 4.2 Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

### 4.2.1 Yapay sinir ağı

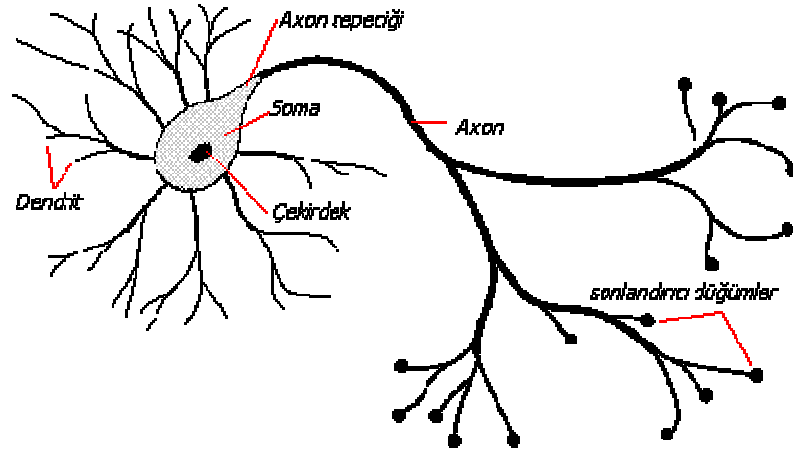
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Öztemel 2003).

YSA ile ilgili çalışmalar insan beynini modellemek ve nasıl çalıştığını anlamak amacıyla başlamıştır. İnsan beynini çalışma fonksiyonuna benzetme isteği YSA modellerine esin kaynağı olmuştur. Beyin, birbirine değişik etki seviyeleri ile bağlantılı binlerce nörondan oluşmaktadır. YSA modellerinin de temelini birbirine ağırlık bağlantıları ile bağlanan nöron modelleri oluşturmaktadır. YSA sonuçta bir bilgi işleme modeli olarak karşımıza çıkar (Haykin 1998).

YSA sistemlerine ilginin bu denli yoğun olmasının ve mühendislik uygulamalarında geniş bir yer bulmasının sebebi, klasik yöntemlerle çözülemeyen veya çözümü çok karmaşık olan problemlere başarıyla uygulanmış olması ve klasik metotlara bir alternatif oluşturmasıdır (Ansett ve Kreider 1993).

#### 4.2.2 Biyolojik nöronun yapısı

İnsan beyni,  $10^{12}$  kadar nörondan oluşur ve her bir nöron yaklaşık 10000 farklı nöronla bağlantılıdır. Nöron, bir çekirdekten kendisine bağlı *dentrit* ve aksonlardan oluşur. Şekil 4.9'da biyolojik bir nöronun yapısı verilmiştir. Her nöron, *dentritleri* aracılığıyla diğer nöronlardan elektrokimyasal girişler alır. Bu girişlerin elektriksel toplamı belli bir eşik değerini aşarsa, nöron aktive olur ve aksonlarından çıkış sinyalleri üretir. Böylece aksonlara aktarılan elektrokimyasal sinyaller, bağlantı halinde olan diğer nöronların *dentritlerine* giriş olarak aktarılmış olur. Bütün beyin buna benzer birbiri ile bağlantılı nöronlardan oluşur ve bu nöronlar elektrokimyasal sinyaller yardımıyla iletişim halindedir. Biyolojik nöron basit bir işlem yapıyor gibi görünse de beyin, bu işlemler sayesinde oldukça karmaşık görünen problemleri kolaylıkla çözebilmektedir (Yalçıntaş ve Akkurt 2005).



Şekil 4.9. Biyolojik nöronun yapısı

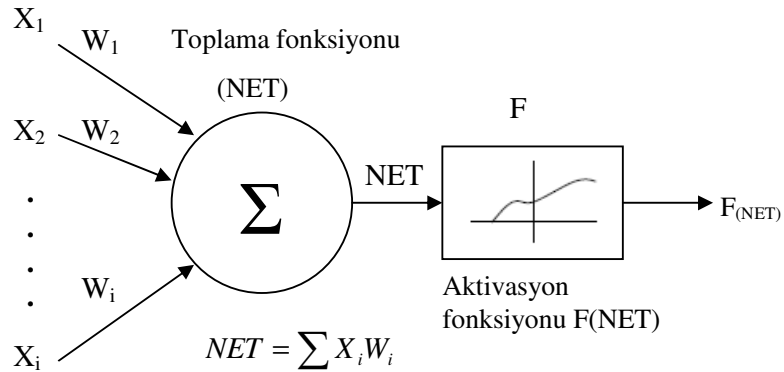
Biyolojik nöronun çalışma prensibi, yapay sinir ağları çalışma modeline temel oluşturmuştur. Fakat yapay sinir ağları modelinde yapılan sürekli araştırma ve geliştirmeler, beynin oluşturduğu karmaşık yapıyı modellemekten henüz çok uzaktır. Buna rağmen YSA'lardan, görüntü tanıma, geçmiş bilgilere dayanarak ileriye yönelik tahmin gibi problemlerde oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu tür işlevler,

insan beyninin günlük, sıradan ve sürekli çözdüğü fakat klasik bilgisayar mantığı çerçevesinde çözümü oldukça zor problemlerdir (Allahverdi 2002, Breekweg ve ark 2000).

YSA'lar, herhangi bir problemin girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiler lineer olsun veya olmasın öğrenerek çözümler üretebilme özelliğine sahiptirler.

### 4.2.3 Yapay sinir hücresi

YSA'ları oluşturan en küçük bilgi işlem birimi, yapay sinir hücresidir. Şekil 3.10'da  $i$  adet girişi ve tek çıkışı olan bir yapay sinir hücresi verilmiştir. Şekil 3.10'daki yapay sinir hücresinde  $X_i$  sinir girişlerini,  $wx_i$  girişler ile sinir hücresi arasındaki ağırlık katsayılarını ve  $F$  aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir. Aktivasyon fonksiyonu, sinir hücresinin toplamdan sonraki çıkışını bir işlemden geçirdikten sonra hücre çıkışını  $F(NET)$  oluşturur. Genellikle aktivasyon fonksiyonu nonlineer bir fonksiyondan oluşur (Karna ve ark. 1989)



Şekil 4.10. Yapay sinir hücresinin yapısı

Sinir girişlerinin toplamını ifade eden NET fonksiyonu;

$$NET = \sum_{i=1}^n X_i w_i - \theta_i \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $\theta_i$  eşik değeridir. Sinir çıkışı oluşturan  $F_{(NET)}$  fonksiyonu ise,

$$F_{(NET)} = F\left(\sum_{i=1}^n X_i w_i - \theta_i\right) \quad (4.10)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasında bazı benzerlikler vardır. Bu benzerlikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sisteminin benzerlikleri

<b>Biyolojik sinir sistemi</b>	<b>Yapay sinir sistemi</b>
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

YSA’nın çizelgede bahsedilen özellikleri, karmaşık problemleri çözebilmeye yeteneğini göstermektedir.

#### 4.2.4 YSA’nın özellikleri

YSA’lar, uygulanan ağ modeline göre değişik karakteristik özellikler göstermelerine karşın temel birkaç ortak özelliğe sahiptirler.

Birinci özellik; YSA’larda sistemin paralelliği ve toplamsal işlevin yapısal olarak dağılımlılığıdır (Haykin 1998). YSA’lar birçok nöronun meydana gelmesi ve bu nöronlar eş zamanlı olarak çalışarak karmaşık işlevleri yerine getirir. Diğer bir deyişle karmaşık işlevler birçok nöronun eş zamanlı çalışması ile meydana getirilir. Süreç içerisinde bu nöronlardan her hangi biri işlevini yitirse dahi sistem güven sınırları içerisinde çalışmasına devam edebilir.



İkinci özellik ise genelleme yeteneği, diğer bir deyişle ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri çıkarsaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de, anlamlı yanıtlar üretebilmesidir (Efe ve Kaynak 2004).

Üçüncü olarak; ağ fonksiyonları non-linear olabilmektedir. Yapı üzerinde dağılmış belli tipteki non-linear alt birimler özellikle, istenen eşleştirmenin denetim ya da tanımlama işlemlerinde olduğu gibi non-linear olması durumunda işlevin doğru biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak mümkün kılarlar.

Dördüncü özellik ise; sayısal ortamda tasarlanan YSA'ların, donanımsal gerçekleştirilebilirlikleridir. Bu özellik beklide YSA'ların günlük hayatta daha da fazla yaşamımızın içine girebileceğinin göstergesidir.

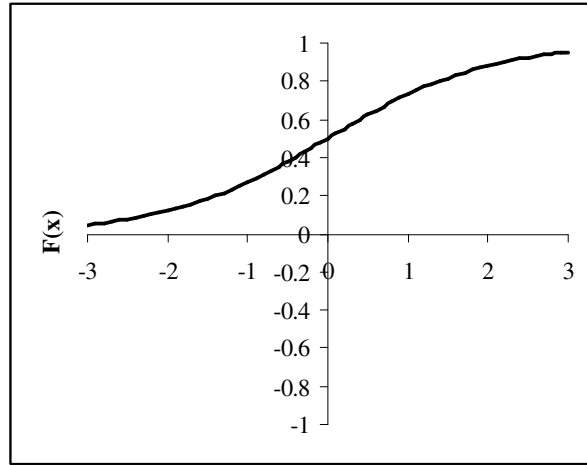
#### 4.2.5 Aktivasyon fonksiyonları

YSA, *nonlinear* aktivasyon fonksiyonları kullanmadan kompleks ve *nonlinear* problemleri çözemez. Aktivasyon fonksiyonları, girişlerin veya problemde istenilen çıkışların özelliklerine göre seçilebilir. Hangi problemlerde hangi fonksiyonun kullanılacağı, YSA'nın çözmeye çalışacağı problemin şartlarına bağlıdır ve etkin bir şekilde deneme yanılma yoluyla tespit edilebilir (Hagan 1997).

##### 4.2.5.1 Sigmoid (*logsig(x)*) aktivasyon fonksiyonu

Sigmoid fonksiyonu, sadece pozitif değerler üretir. Matematiksel ifadesi denklem 4.11'de, üyelik fonksiyonu Şekil 4.11'de verilmiştir.

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4.11)$$

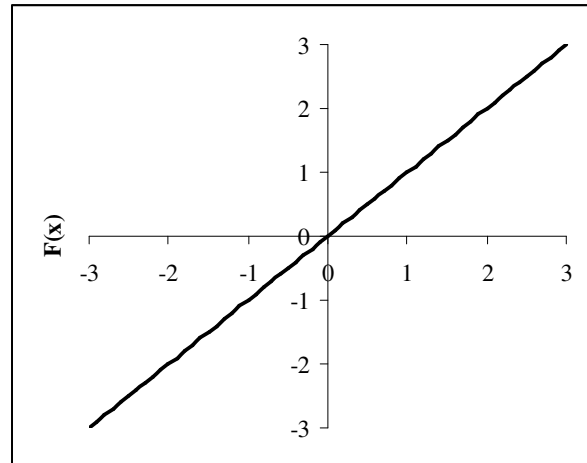


Şekil 4.11. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu grafiksel yapısı

#### 4.2.5.1.a Lineer ( $lin(x)$ )

Eğer YSA, lineer aktivasyon fonksiyonu kullanıyorsa ağ, lineer işlem özellikleri gösterir ve lineer problemleri çözebilir. Matematiksel ifadesi denklem 4.12'de, üyelik fonksiyonu Şekil 4.12'te verilmiştir

$$F(x) = x \quad (4.12)$$

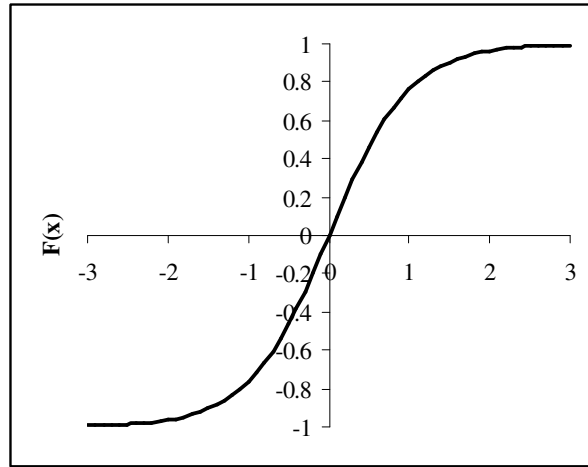


Şekil 4.12. Lineer aktivasyon fonksiyonu grafiksel yapısı

#### 4.2.5.1.b Tanjant hiperbolik (*tansig(x)*)

Tanjant hiperbolik fonksiyon ise hem pozitif hem de negatif değerler üretir. Genellikle çok katmanlı YSA'larda logaritmik *sigmoid* veya tanjant hiperbolik fonksiyonları kullanılmaktadır. Matematiksel ifadesi denklem 4.13'te, üyelik fonksiyonu Şekil 4.13'te verilmiştir

$$F(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (4.13)$$

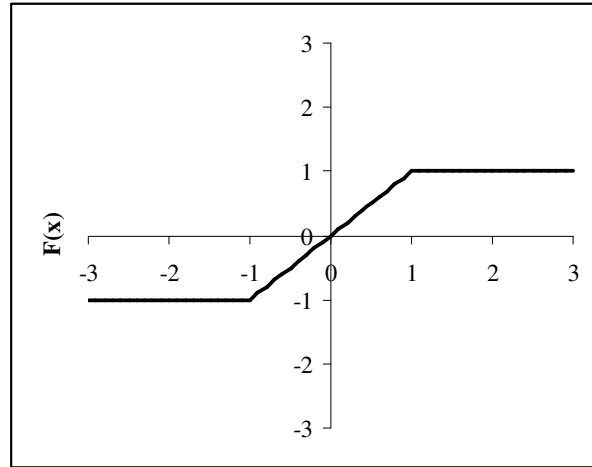


Şekil 4.13. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu grafiksel yapısı

#### 4.2.5.1.c Doyum fonksiyonu (*sat(x)*)

Doyum fonksiyonu, mantıksal işlemler veya mantıksal sınıflandırma gerektiren problemlerde kullanılmaktadır. Matematiksel ifadesi denklem 4.14'te, üyelik fonksiyonu Şekil 4.14'te verilmiştir.

$$F(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 1 \\ x & -1 \leq x \leq +1 \\ -1 & x \leq -1 \end{cases} \quad (4.14)$$

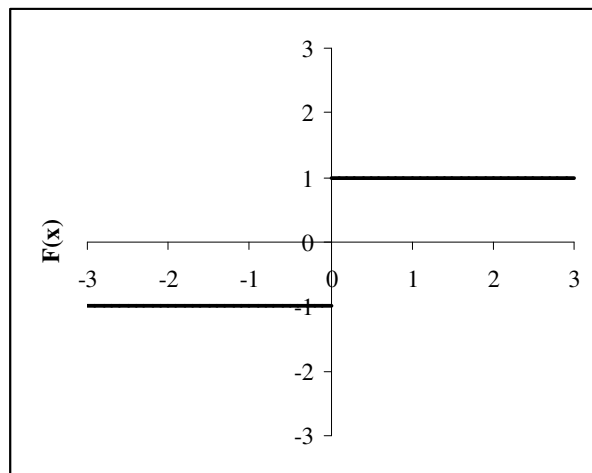


**Şekil 4.14.** Doyum aktivasyon fonksiyonu grafiksel yapısı

#### 4.2.5.1.d Keskin Sınırlayıcı ( $signum(x)$ )

Keskin sınırlayıcı fonksiyonu da doyum fonksiyonu gibi mantıksal işlemler veya mantıksal sınıflandırma gerektiren problemlerde kullanılmaktadır. Matematiksel ifadesi denklem 4.15'te, üyelik fonksiyonu Şekil 4.15'te verilmiştir.

$$F(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x \leq 0 \end{cases} \quad (4.15)$$



**Şekil 4.15.** Doyum aktivasyon fonksiyonu grafiksel yapısı

#### 4.2.6 YSA ile geleneksel algoritmaların karşılaştırılması

YSA'lar makina öğrenmesi gerçekleştirebilirler. Yapay sinir ağlarının temel işlevi zaten bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler.

Bilgi işleme yöntemleri geleneksel programlamadan farklıdır. Bu nedenle geleneksel programlamanın getirdiği birçok olumsuzluk ortadan kaldırılabilir

Bilgiler ağın tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları ya da dosyalarda belli bir düzende tutulmaz, ağın tamamına yayılarak değerler ile ölçülen ağ bağlantılarında saklanmaktadır. Nöronlardan bazılarının işlevini yitirmesi, anlamlı bilginin kaybolmasına neden olmaz.

Örnekleri kullanarak öğrenirler. YSA'nın öğrenebilmesi için örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağa gösterilerek istenen çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir. Ağın başarısı, seçilen örnekler ile doğru orantılıdır, ağa olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağ yanlış çıktılar üretebilir.

Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. YSA'lar eğitimleri sırasında kendilerine verilen örneklerden genellemeler çıkarırlar ve bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilirler.

Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. YSA'ların en başarılı oldukları alanlar, algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarıları kanıtlanmıştır.

Örüntü (*pattern*) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. YSA'lar kendilerine örnekler halinde verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Ayrıca kendisine verilen örneklerin kümelenmesi ile, bir sonraki verinin hangi kümeye dahil olacağına karar verilmesi konusunda kullanılabilirler.

Örüntü tamamlama yapabilirler. Ağda eksik bilgileri içeren örüntüler verildiğinde eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarılıdırlar.

Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. YSA'lar online olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler.

Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Bu durum bir

performans kaybı yaratmaz, performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir.

Hata toleransına sahiptirler. YSA'ların eksik bilgilerle çalışabilmeleri ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları hatalara karşı toleranslı yapar.

Dereceli bozulma (*Graceful degradation*) gösterirler. Bir ağ, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağlar problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmazlar.

Dağıtık belleğe sahiptirler. YSA'larda bilgi ağa dağılmış bir şekilde tutulur. Hücrelerin bağlantı ve ağırlık dereceleri, ağın bilgisini gösterir. Bu nedenle tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur.

Burada çok temel bazı avantajlardan bahsedilmekle beraber, YSA'ların daha pek çok avantajı vardır.

YSA'ların, pek çok avantajın yanında bazı dezavantajları da vardır. Belli başlı dezavantajları;

Donanım bağımlıdır. YSA'ların en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır. YSA'ların en önemli özellikleri ve var oluş nedenlerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneği, paralel çalışan işlemciler ile performans gösterir.

Uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir.

Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Bu değerlerin belirlenmesi için belirli bir standart olmamakla birlikte her problem için farklı bir yaklaşım söz konusu olabilmektedir.

Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir. YSA'lar nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler. Problemler YSA'lara tanıtılmadan önce nümerik değerlere çevrilmek zorundadırlar. Burada belirlenecek gösterim mekanizması ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Bu da kullanıcının yeteneğine bağlıdır.

Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine ilişkin belli bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlandığı anlamına gelmektedir. Burada optimum neticeler veren bir

mekanizma henüz yoktur ve YSA ile ilgili araştırmaların önemli bir kolunu oluşturmaktadır.

Ağın davranışlarının açıklanamamaktadır. Bu sorun YSA'ların en önemli sorunudur. YSA bir probleme çözümlü ürettiği zaman, bunun neden ve nasıl olduğuna ilişkin bir ipucu vermez. Bu durum ağa olan güveni azaltıcı bir unsurdur.

Çizelge 4.2'de geleneksel algoritmalar ile YSA'larının karşılaştırılması verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** YSA'lar ile geleneksel algoritmalar

<b>Geleneksel Algoritmalar</b>	<b>Yapay Sinir Ağları</b>
Çıkışlar, koyulan kurallara girişlerin uygulanması ile elde edilir.	Öğrenme esnasında giriş çıkış bilgileri verilerek, kurallar koyulur.
Hesaplama; merkezi, eş zamanlı ve ardışıldır.	Hesaplama; toplu, eş zamansız ve öğrenmeden sonra paraleldir
Bellek paketlenmiş ve hazır bilgi depolanmıştır	Bellek ayrılmış ve ağa yayılmıştır. Dahilidir
Hata toleransı yoktur	Hata toleransı vardır
Nispeten hızlıdır	Yavaş ve donanıma bağımlıdır
Bilgiler ve algoritmalar kesindir	Deneyimden yararlanır

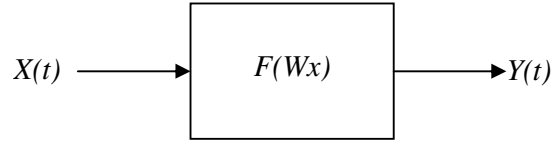
#### 4.2.7 YSA'ların yapılarına göre sınıflandırılması

YSA'lar, içyapısındaki bağlantılar açısından incelendiğinde ileri beslemeli ve geri beslemeli YSA olmak üzere ikiye ayrılabilir.

##### 4.2.7.1 İleri beslemeli yapay sinir ağları

YSA'lar çok katmanlı işlemsel birimlerden oluşur. Dış ortamdan alınan veriler girişe uygulanır ve giriş katmanında işleme girer, bilgi akış yönünde hiçbir değişikliğe uğratılmadan orta katmanlara iletilir. Bu katmanlarda işleme giren bilgi

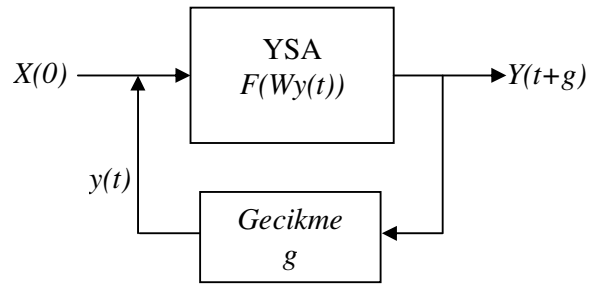
ileri yönde çıkış katmanına iletilir (Şekil 4.16). Bilginin girişten çıkışa doğru ileri yönde iletilmesi çalışma prensibine dayalı YSA'lara ileri beslemeli YSA denir.



Şekil 4.16. İleri beslemeli ağlar için blok diyagramı

#### 4.2.7.2 Geri beslemeli yapay sinir ağları

İleri beslemeli YSA'ların tersine geri beslemeli YSA'nın, ağ yapısında bir veya daha fazla işlem elemanında geri besleme bağlantısı bulunur. Geri besleme işlemi, bilgiyi zaman gecikmesine uğratarak geri besler. Geri besleme bağlantıları işlem elemanları arasında olabileceği gibi katmanlar arasında da olabilir. Bir katmanın çıkışı, bir önceki katmanın girişine veya ağın çıkış katmanı, giriş katmanına geri beslenir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA'nın anlık çıkışı, hem o anki hem de önceki girişlerin etkisini yansıtır. Geri beslemeli YSA'lar, zaman serileri analizlerinde, tahmin problemlerinde sıkça kullanılan bir ağ modelidir ve geri besleme bağlantı yapısından kaynaklanan kararlılık sorunları üretebilir. Geri beslemeli YSA'lar, ileri beslemeli ağlara göre daha yavaş işlerler ve çalıştıkları donanımlarda daha fazla bellek gerektirirler. En çok bilinen tipleri *Hopfield* ağı, hücresel yapay sinir ağı, SOM, Elman ve Jordan ağlarıdır. Şekil 4.17'de basit bir geri beslemeli YSA modeli verilmiştir (Öztemel 2003, Haykin 1998).



Şekil 4.17. Geri beslemeli ağlar için blok diyagramı



#### 4.2.8 YSA'ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması

Öğrenebilmek, zekanın temel özelliklerinden birisidir. Öğrenmeyi kesin olarak tanımlamak, formüle etmek oldukça karmaşık ve zordur. Öğrenme olayı, YSA bağlamında ele alınacak olursa, kesin olarak belirlenmiş bir problemin, YSA tarafından belli kurallar yardımıyla verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için, yapısını veya ağıın işlem elemanlarını bağlayan ağırlıkların değiştirilmesi olarak görülebilir (Elmas 2003, Öztemel 2003).

Ağ, genelde mevcut eğitim setindeki verileri kullanarak işlem elemanlarını bağlayan ağırlık katsayılarını öğrenir. Ağıın öğrenme performansı, tekrarlanan ağırlık katsayıları güncellemesi ile artar. Bilginin kurallar şeklinde tanımlandığı klasik uzman sistemlerinin tersine YSA, girişlerine ve çıkışlarına gösterilen örnekten kendi kurallarını oluşturur. YSA, ağırlık katsayılarını belli bir kurala göre düzeltir. Bu kurala öğrenme algoritması denir. Eğitici, eğitici ve takviyeli öğrenme şekilleri olmak üzere üç çeşit öğrenme çeşidi vardır.

## 5 FİLTRE TASARIMI

Bölüm 3'te filtre tasarımında belirtilen koşullara ve dikkat edilmesi gereken parametrelere göre selenoit tip bir manyetik filtre tasarlanmıştır. Filtre tasarımı;

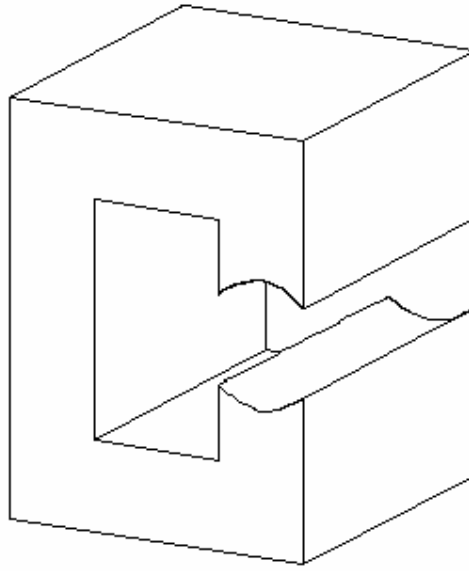
1. Manyetik nüve tasarımı,
2. Filtre matrisi tasarımı,
3. Filtre bobini tasarımı

olmak üzere üç ana bölümde gerçekleştirilmiştir.

### 5.1 Manyetik Nüve Tasarımı

Filtrenin manyetik nüvesi, AutoCAD sürüm 2006 programında Şekil 5.1'de görüldüğü gibi tasarlandı. Bu tasarımda denklem 3.1 ve denklem 3.2.'den faydalanıldı ve  $H=20\text{kA/m}$ ,  $l=150\text{ mm}$ ,  $NI= 1,8\text{ kAsarım}$ ,  $N=450\text{ sarım}$ ,  $I=4\text{ A}$ ,  $R=5\ \Omega$  ve  $D=2,3\text{ mm}^\emptyset$  değerleri kullanıldı.

DC akım kullanılacağından gövde için  $\mu_r=1045$  olan yekpare demir kullanıldı. Şekil 5.1'de gösterilen tasarım yapıldı. Perspektif ve katı modeli gösterilen manyetik nüvenin teknik resmi çizildi Yekpare demir, hesaplanan değerlere ve Şekil 5.2'deki teknik resme göre Şekil 5.3'de gösterildiği gibi frezede işlenerek, Şekil 5.4'te gösterilen manyetik nüve elde edildi.

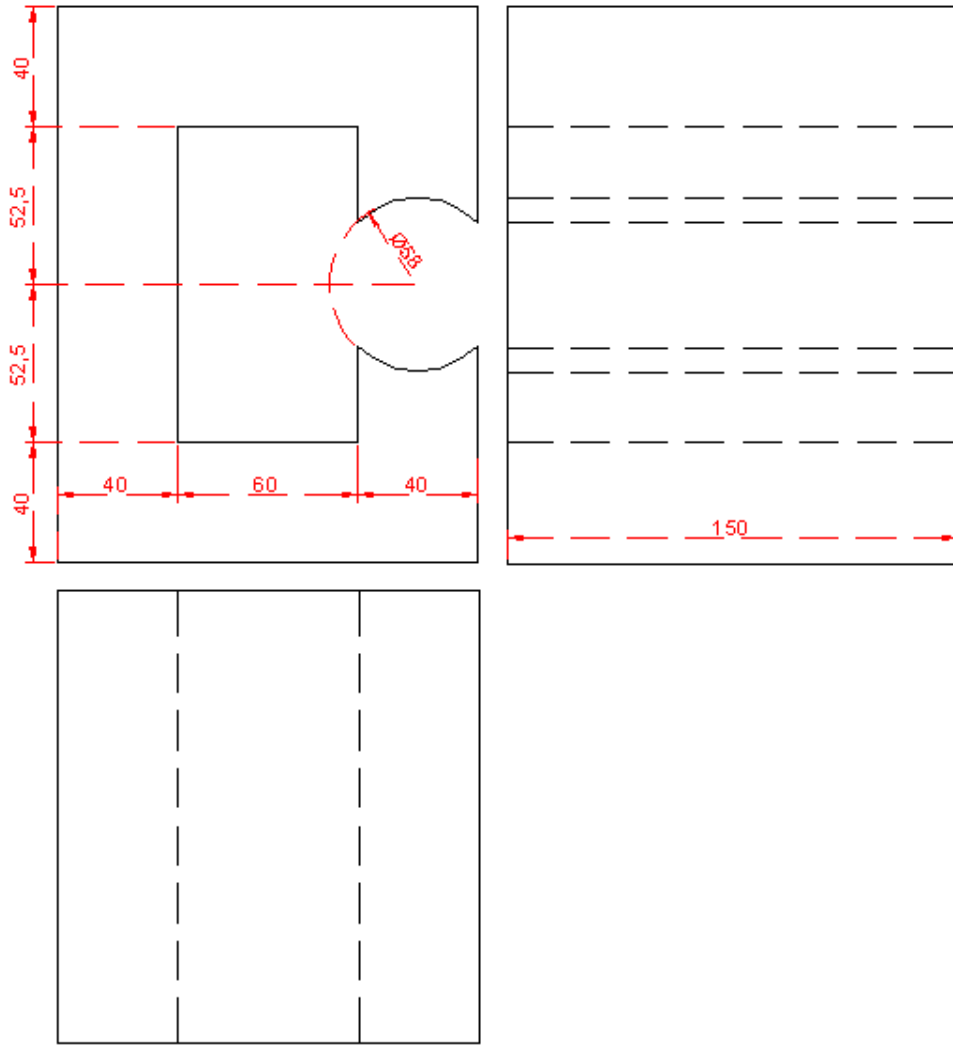


a. Perspektif görünüşü



b. Katı model görünüşü

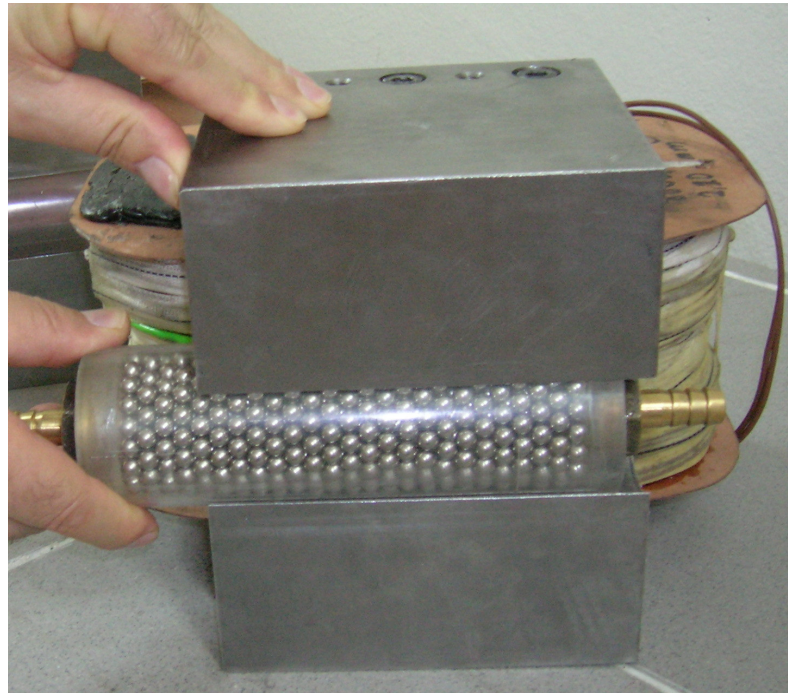
**Şekil 5.1.** AutoCAD programı ile tasarlanan manyetik nüve



Şekil 5.2. Manyetik nüve teknik resmi (üç görünüş)



Şekil 5.3 Nüvenin frezede işlenmesi



Şekil 5.4 Filtre matrisi, bobini ve manyetik nüve

Şekil 5.5'te ölçüleri verilen ve Şekil 5.6'da gösterilen manyetik nüve için;  
Boşluklara kadar olan manyetik nüvenin ortalama uzunluğu

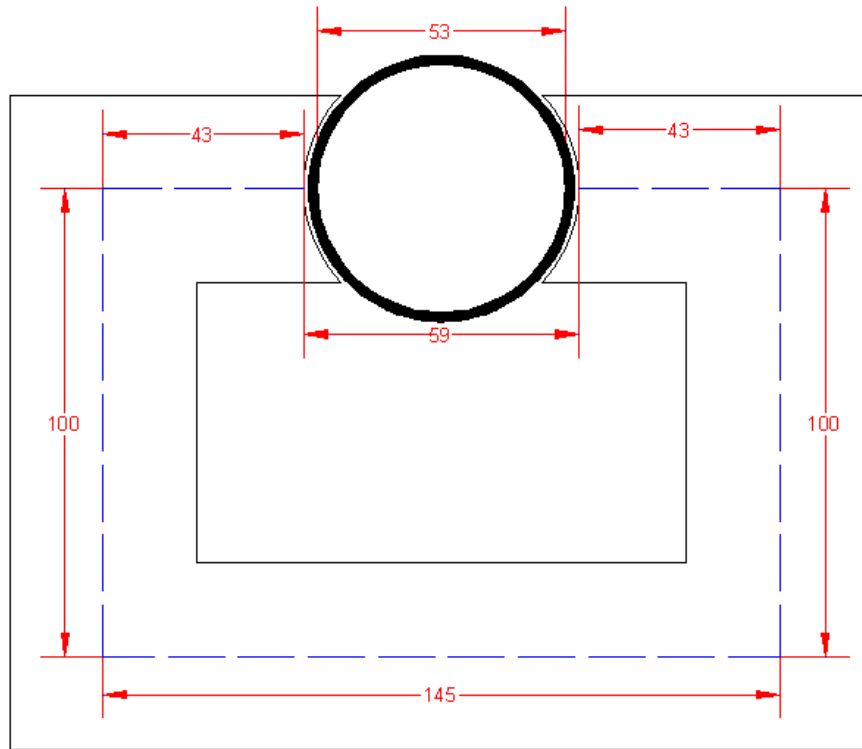
$$l_1=431 \text{ mm}, \mu_r=557, A_1= 40 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Mikanın uzunluğu (mika ile hava boşluğu aynı kabul edilmiştir.)

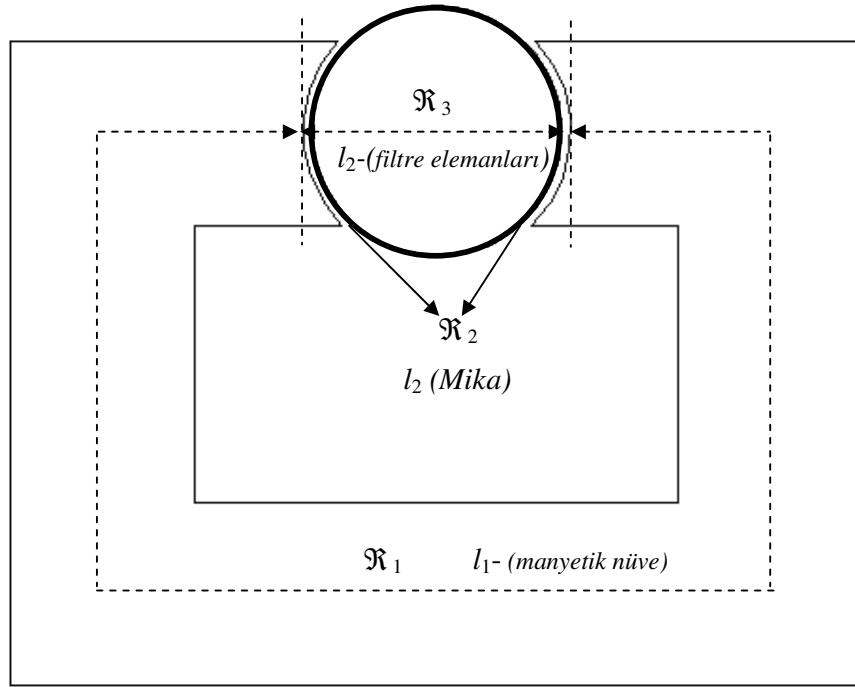
$$l_2=6 \text{ mm}, \mu_r=1, A_2 = 40 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Filtre elemanlarının uzunluğu

$$l_3=53 \text{ mm}, \mu_r=100, A_3 = 40 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

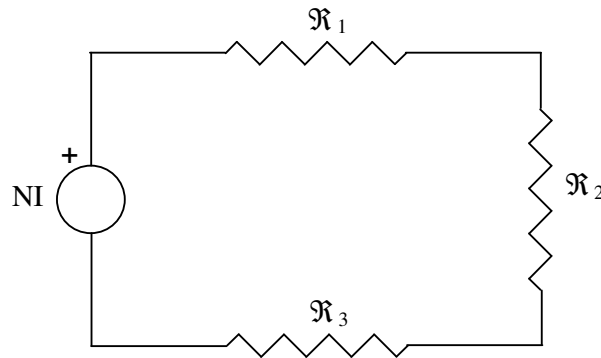


Şekil 5.5 Manyetik nüve ölçüleri



Şekil 5.6 Manyetik nüve, filtre matrisi ve relüktansları

Bunlara göre Şekil 5.7'deki elektriksel eşdeğer elde edilmiştir.



Şekil 5.7 Manyetik nüve elektriksel eşdeğeri

Elektriksel eşdeğerden *relüktanslar* için denklem 5.1 kullanılır.

$$\mathfrak{R}_x = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_x \cdot A_x} \quad (5.1)$$

x, relüktanslar için sıra numarasıdır. Buna göre;

$$\mathfrak{R}_1 = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_{r_1} \cdot A_1} = \frac{431 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 557 \cdot 40 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 1,03 \cdot 10^5 \quad 1/H$$

$$\mathfrak{R}_2 = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_{r_2} \cdot A_2} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 40 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 7,96 \cdot 10^5 \quad 1/H$$

$$\mathfrak{R}_3 = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_{r_3} \cdot A_3} = \frac{53 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 40 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 7,03 \cdot 10^4 \quad 1/H$$

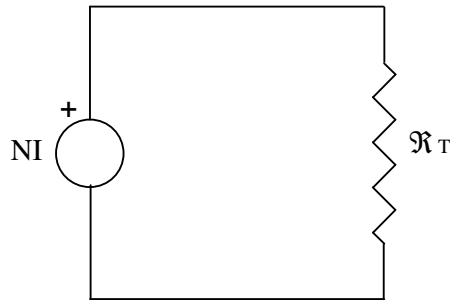
Relüktans değerleri elde edildi.

$$\mathfrak{R}_T = \mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_3 \quad 1/H \quad (5.2)$$

Toplam eşdeğer relüktans değeri Şekil 5.8'deki eşdeğer devreden ve denklem 5.2'den

$$\mathfrak{R}_T = \mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_3 = 1,03 \cdot 10^5 + 7,96 \cdot 10^5 + 7,03 \cdot 10^4 = 9,6831 \cdot 10^5 \quad 1/H$$

olarak elde edilir.



Şekil 5.8 Manyetik nüvenin toplam elektriksel eşdeğeri

$$\Phi = \frac{NI}{\mathfrak{R}_T} \quad (5.3)$$

Manyetik akı için denklem 5.3'ten

$$\Phi = \frac{NI}{R_T} = \frac{4,02 \cdot 450}{9,6831 \cdot 10^5} = 1,86 \cdot 10^{-3} \quad Wb$$



değeri elde edildi.

$$B_1 = \frac{\Phi}{A_x} \quad (5.4)$$

Manyetik geçirgenlik ise denklem 5.4'ten

$$B_1 = \frac{\Phi}{A_1} = \frac{1,86 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 0,31 \text{ Wb/m}^2$$

elde edildi. Elde edilen bu değer tasarlanan bu filtrenin düşük akımlarda kullanılması için uygundur. Diğer bir ifadeyle tasarlanan MF düşük akımlarda uygun performans değerlerinde kullanılabilir anlamına gelmektedir.

Literatürlerde ifade edilen hesaplama yöntemiyle MF hesabı yapılmıştır. Tasarlanan selenoit tipli bu manyetik filtrenin debisi,  $Dg = D$  durumu ve  $Q = 5 \text{ m}^3/h$  ve  $V_f=280 \text{ l/h}$  olarak alındığında denklem 3.4'ten

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{\pi \cdot 280}} = 0,151 \text{ m olur.}$$

Amper-sarım sayıları için denklem 5.5 kullanılarak,  $H=20 \text{ kA/m}$  ve  $L=0,150756 \text{ m}$  için

$$IW=1,1HL \quad (5.5)$$

$$IW=1,1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,151 = 3,316625 \cdot 10^3 \text{ A}$$

olarak hesaplandı.

Hesaplamanın doğruluğu Şekil 3.10'da gösterilen grafikten elde edilen değerle de sağlandı.

Selenotin sargılarından geçen akım şiddeti  $j=2 \text{ A/m}^2$  için denklem 3.5'ten,

$$I = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 2,3^2}{4} = 4,02 \text{ A olur. Sarım sayısı,}$$

Sarım sayısı ise denklem 3.6'dan;

$$W = \frac{150,756 \cdot (90 - 40) \cdot 0,6}{2 \cdot 2,3^2} = 428 \text{ sarım}$$

olarak hesaplandı. Selenoitin dik kesitinin alanı denklem 3.7'den:

$$S_0 = \frac{4 \cdot 3,32 \cdot 10^3}{\pi \cdot 2 \cdot 0,6} = 3,52 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Sarım sayısı,  $K_\theta=0,6$  için denklem 3.9'dan

$$W = \frac{\pi \cdot 0,6 \cdot 2,346 \cdot 10^3}{4 \cdot 2,0096} = 431 \text{ sarım bulundu..}$$

Denklem 3.14'den  $K = 130 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0,150756 = 0,975$  hesaplandı.

Burada  $K$ ; denklem 3.14'de ifade edildiği gibi olduğundan iletkenin toplam uzunluğu ( $L_i$ ) denklem 3.15'ten ve selenoitin omik direnci ( $R_b$ ) bakır için  $\rho_i=1,7 \cdot 10^{-8}$   $\Omega m$  için denklem 3.16'dan

$$L_i = \frac{\pi^2 \cdot 0,6 \cdot 0,975}{16 \cdot 4,01 \cdot 10^{-6}} = 87,13 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$R_b = \frac{\pi^2 0,99 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 0,975}{16 \cdot 4,01} = 87 \text{ } \Omega \text{ olur. Denklem 3.17'den } D_d;$$

$$D_d = \frac{2 \cdot 3,32 \cdot 10^3}{0,151} + 40 \cdot 10^{-2} = 0,84 \text{ m}$$

$$K = 2 \cdot 3,52 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{2 \cdot 3,52 \cdot 10^3}{151 \cdot 10^3} + 40 \right) = 0,028 \text{ m}^3$$

elde edildi. Ayrıca  $S_0$ ,  $L$ ,  $D$  için  $D_d$  ve  $K$  değerleri, Şekil 3.10'dan da kolaylıkla bulunabilir.

Selenoitin uçlarındaki gerilim ( $U$ ), güç ( $P$ ) ve harcanan bakır iletkenin kütlesi ( $M$ ) denklem 3.16, 3.17 ve 3.18 kullanılarak belirlendi. Burada  $\gamma$ ; iletkenin özgül ağırlığıdır (bakır için  $\gamma_i=8,9 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ ).

$$U = IR_b = 4,02 \cdot 87 = 365 \text{ V ,}$$

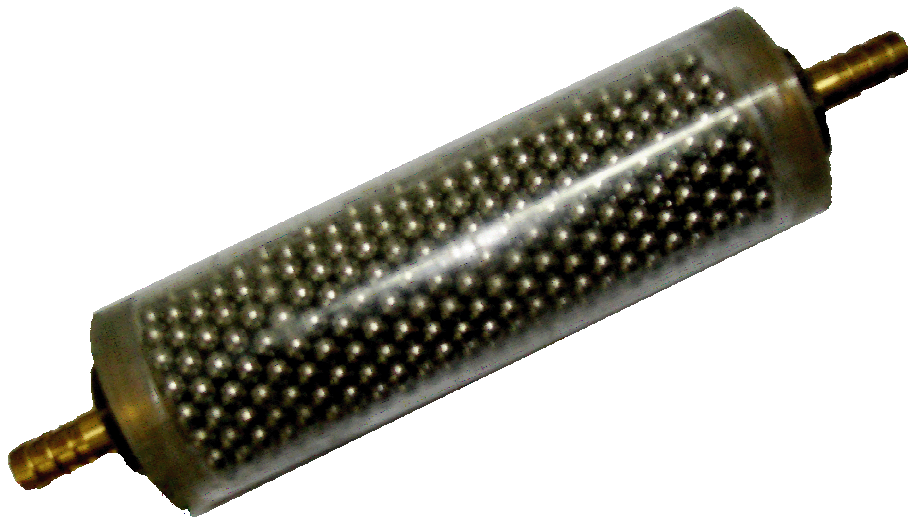
$$P = I^2 R_b = 1.4 \text{ kW} ,$$

$$M = L_i S_i \gamma_i = 87,13 \cdot 10^3 \cdot 2,0096 \cdot 8,9 \cdot 10^{-6} = 15,50 \text{ kg}$$

olarak bulundu.

## 5.2 Filtre Matrisi Tasarımı

Filtre matrisi olarak 6 mm, 8 mm ve 14 mm çaplarında demir (St1040) küreler kullanılmıştır. Filtre matrisi için 57 mm çapında 150 mm uzunluğunda ve 2 mm kalınlığında mika boru kullanılmıştır. Filtre matrisinin her iki tarafına 2 mm kalınlığında ortası delinerek küreleri tutan süzgeçler sabitlenmiş, giriş ve çıkışlarına sarı pirinçten ½" parmak musluk ucu monte edilmiştir. Gerçekleştirilen filtre matrisi Şekil 5.9'da görüldüğü gibi tamamlanmıştır.



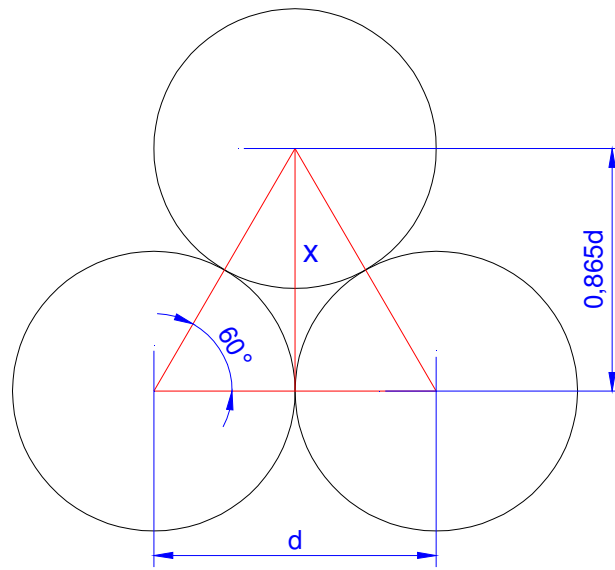
Şekil 5.9 Gerçekleştirilen filtre matrisi

### 5.3 Filtre Bobini Tasarımı

Filtre bobini için hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre:

- Bobin teli çapı = 2,30 mm,
- Sarın sayısı = 450 sarım,
- Omik direnci = 1,3 ohm,
- Endüktansı = 28 mH).

değerleri elde edilmiştir. Bobinin makarası 2 mm fiberden yapılmıştır. Makara kalınlığı da dikkate alınarak filtre bobini katman sayısı Şekil 5.10'da gösterilen şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 5.10 Filtre bobini telleri yerleşimi

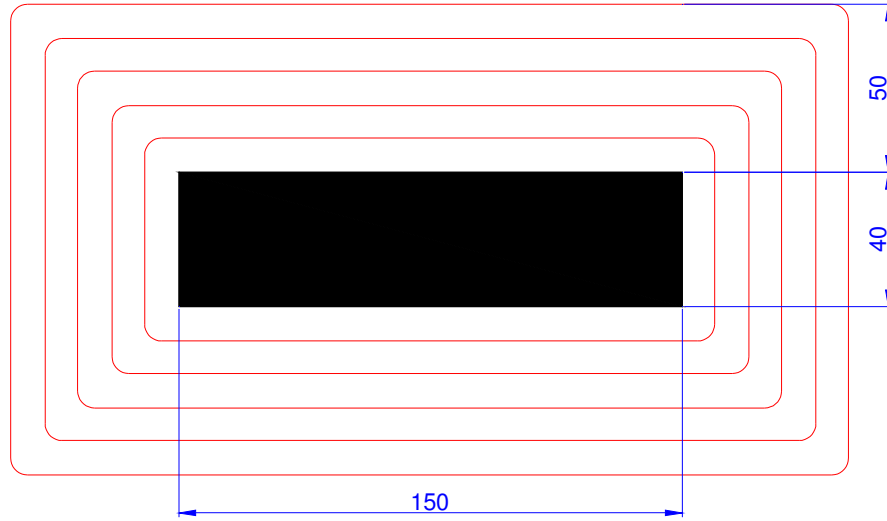
Şekil 5.10'da görüldüğü gibi bobin teli merkezleri arasında bir eşkenar üçgen oluşmaktadır.

$$\tan(60) = \frac{x}{d/2} \quad (5.6)$$

Denklem 5.6'da  $\tan(60)=1,73$  olduğundan katmanlar arasındaki mesafe yaklaşık olarak 5.7'deki değer olur.

$$x = 0,865 \cdot d \quad (5.7)$$

Denklem 5.7'ye göre yaklaşık 25 katlık bir sarım olmaktadır.



**Şekil 5.11** Bobin sarımı ve katlarının gösterimi

Şekil 5.11'de gösterildiği gibi ortalama tel hesabı ile bir turda kaç metre tel kullanılacağı hesaplanmıştır. Buna göre bir turda

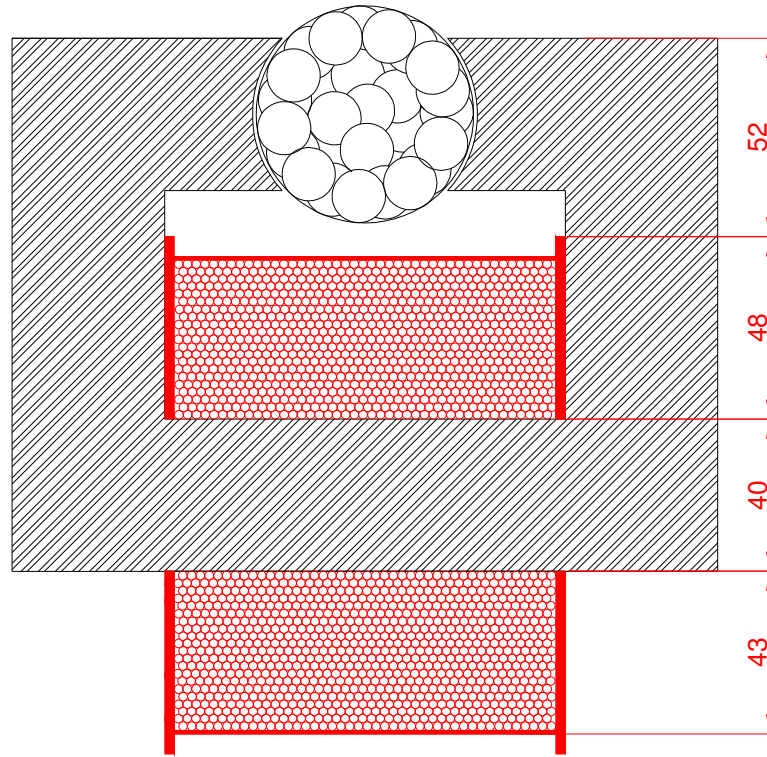
$$l_{\text{Tur}} = 2 \times 90 + 2 \times 200 = 580 \text{ mm}$$

bobin teli hesaplanmıştır. Bir filtre bobini için toplam;

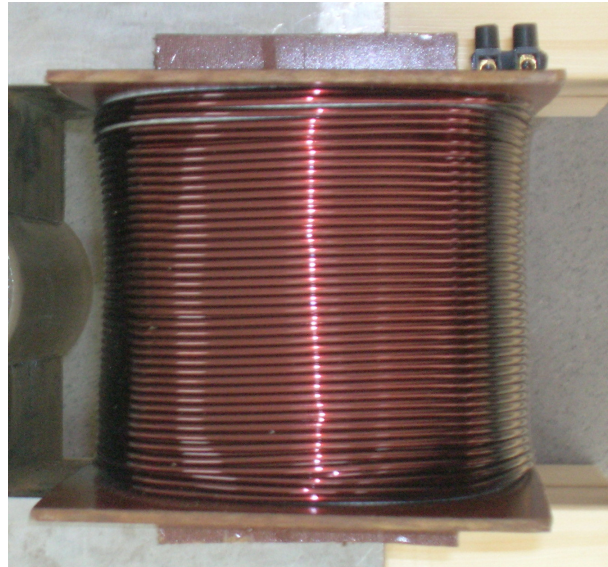
$$l_{\text{Top}} = 25 \times 580 = 14500 \text{ mm bobin teli kullanılmıştır.}$$

Bu hesaplamalara göre nüve üzerinde bobinin kapladığı alan Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

Hesaplamalara göre filtre bobini Şekil 5.13'te gösterildiği gerçekleştirilmiştir. İki adet filtre bobini kullanıldığından özdeş olarak aynı filtre bobininden iki adet sarımı yapılarak tamamlanmıştır.



**Şekil 5.12.** Filtrenin kesitinin görünümü



**Şekil 5.13.** Filtre bobini

## 6 KONTROL SİSTEMİNİN DONANIMSAL BİLEŞENLERİ

### 6.1 Akı Ölçer

Deneilerin gerçekleştirilmesinde “FW BELL 5180” Manyetik akı metre kullanılmıştır (Şekil 6.1). Akı ölçer, manyetik akı ölçümü ve bilgisayara aktarımında sensör olarak kullanılmıştır.

5180 serisi *Hall Effect* taşınabilir akı ölçer, manyetik alan ölçüm cihazları üreticisinin son dizaynını temsil etmektedir. Dinamik Prob doğrulama özelliği sayesinde %1,1’lik temel doğruluk oranı ile 0 kG dan 30 kG a ölçüm yapılmasını mümkün kılar. Cihazların uygulama kapasiteleri aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi kullanımı fonksiyonelleştirmenin yanında kolaylaştırıcı özellikler getirmektedir. 5180 modeli alan ölçümlerini *Gauss (G)*, *Tesla(T)* veya Amper/Metre cinsinden yapabilmenin yanında Analog çıkış ve USB arabirim özelliklerini sunar. Teknik özellikleri çizelge 6.1’de verilmiştir (WEB1 2008).



Şekil 6.1. *Hall Effect Portable* Akımetre

**Çizelge 6.1** Akı metrenin Teknik Özellikleri

<b>Temel Doğruluk</b>	%1,1		
<b>Frekans Bant Genişliği</b>	DC-30kHz		
<b>Örnekleme</b>	Ekran 4 örnek/saniye, Analog Çıkış 100000 örnek/saniye		
<b>Kademeler</b>			
<b>-Çok düşük</b>	1G	<b>-Orta</b>	3kG
<b>-Düşük</b>	300G	<b>-Yüksek</b>	30kG
<b>Çözünürlük</b>			
<b>-Çok düşük</b>	1mG	<b>-Orta</b>	1.0G
<b>-Düşük</b>	0.1G	<b>-Yüksek</b>	10G
<b>Ekran</b>	3½ digit LCD		
<b>Fonksiyon</b>	Gauss, Tesla, Amper/Metre		
<b>Analog Çıkış</b>	±3V (Tam Skala)		
<b>İletişim Arabirimi</b>	USB arabirimi		
<b>Boyutlar</b>	175mm x 100mm x 36mm		
<b>Standart Donanım</b>	STD18-0404 (10cm <i>Transverse Prob</i> ), Sıfırlama Çemberi		

### 6.1.1 Akımetrenin genel ve teknik özellikleri

- Standart Prob (10cm Transverse Prob)
- Otomatik Sıfırlama
- True RMS ölçüm
- Auto Range
- Analog Çıkış ( ±3V )
- USB İletişim Arabirimi (1 örnek/saniye)
- Bilgisayara veri aktarmak için yazılıma sahiptir

Akımetrenin teknik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

### 6.2 Parçacık Konsantrasyonu Sensörü

Bu çalışmada kullanılacak piyasada hazır satılan bir sensör bulunamadığından aşağıda ayrıntı ve özellikleri verilen sensör tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.



Filtre matrisi giriş ve çıkışında kullanılmak üzere iki adet parçacık sensörüne gerek duyulmuştur. Parçacık sensörü için içinden sıvı ve süspansiyon geçtiğinde sıvının içerisindeki manyetik parçacık miktarını ölçmek ve bu ölçülen değerleri kontrolöre göndermek gerekmektedir. Bunun için hem *kapasitif* hem de *endüktif* özelliklerden yararlanılarak birkaç tip sensör tasarlanarak denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda en uygun ve en iyi sonuç elde edilen sensör *endüktif* parçacık sensörü olarak tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve kullanılmıştır.

### 6.2.1 Parçacık konsantrasyonu sensörü bobinleri

Manyetik olmayan cam bir tüpün üzerine 4.51 mH ve  $58\Omega$ 'luk bir dirence sahip olan 0,10 mm çaplı 1500 sarımlık emaye yalıtımlı telden bobinler sarılmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Sensör bobinleri

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi toplam 12 adet özdeş bobin cam borular üzerine sarılmıştır. Bu cam borular üçerli grup şeklinde ve iki taraflarına da küçük giriş çıkış hazneleri olacak şekilde mikadan oluşturulan bölmelere tutturulmuştur. Bu

bölmelerin iki tarafına da  $\frac{1}{2}$  parmak musluk sabitlenmiştir. Şekil 6.3'deki gibi oluşturulan sensör elemanlarından özdeş olarak dört adet yapılmıştır. Her bir elemandaki bobinler ise birbirlerine seri bağlanmış ve sensör elemanları tamamlanmıştır.



**Şekil 6.3.** Parçacık ölçer için oluşturulan birim

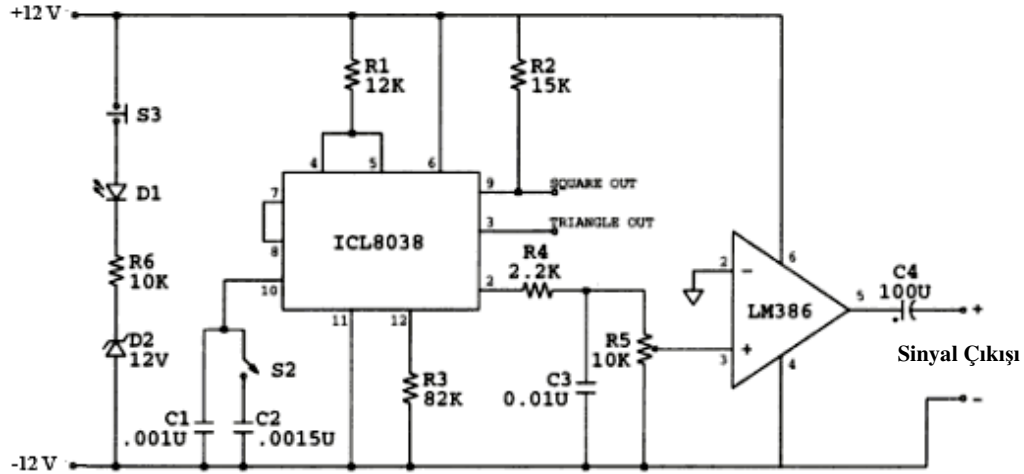
İki adet oluşturulan özdeş parçacık sensörleri, Şekil 6.4'te görüldüğü gibi biri filtrelerin girişine, diğeri ise çıkışına bağlandı. Böylece sistemin giriş ve çıkış konsantrasyonlarının sürekli olarak ölçülmesi ve sistemin kontrolü sağlanmış oldu.



**Şekil 6.4.** Parçacık ölçer için oluşturulan birim

### 6.2.2 Yüksek frekanslı sinüs güç kaynağı

Sensör bobinlerine yüksek frekanslı sinüs gerilimi uygulanması için sinüs üreteç yapılmıştır. Bunun için ICL8038 entegresi kullanılmıştır.

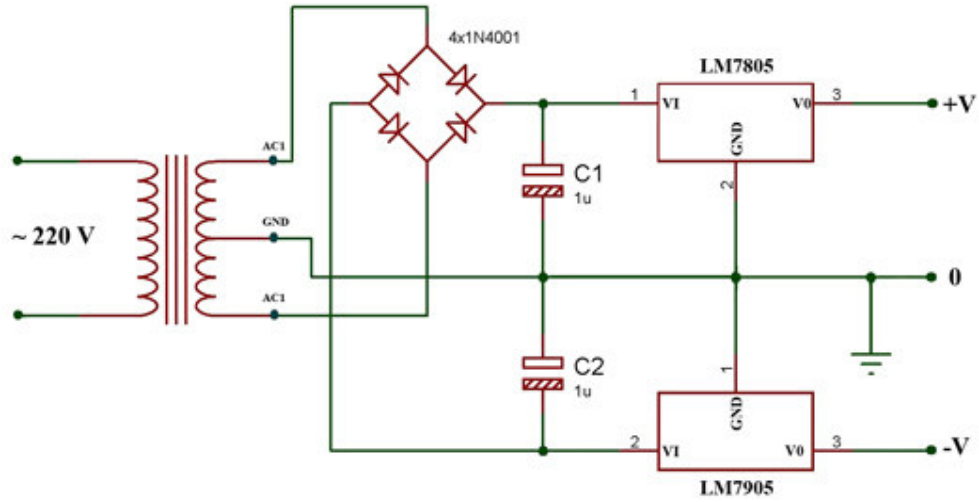


Şekil 6.5. Sinüs sinyal üretmek için kullanılan devre şeması

8038 entegresi ile yüksek frekanslı bir AC üretici için Şekil 6.5'teki 20 Hz ile 20 kHz'lik osilatör devresi oluşturulmuştur. Şematik devrenin baskı devresi yapılmıştır. Baskı devresine elemanlar yerleştirilerek devre çalıştırılmıştır. Potansiyometreler ile ayarları yapılarak 17 kHz 1,2 V'luk bir AC üreteç elde edilmiştir.

### 6.2.3 Simetrik güç kaynağı

Devrenin simetrik beslenmesi için Şekil 6.6'daki devre gerçekleştirilmiştir. Baskı devresi çıkarılmış, malzemeler çıkarılan plaket üzerine yerleştirilerek çalışır hale getirilmiştir.

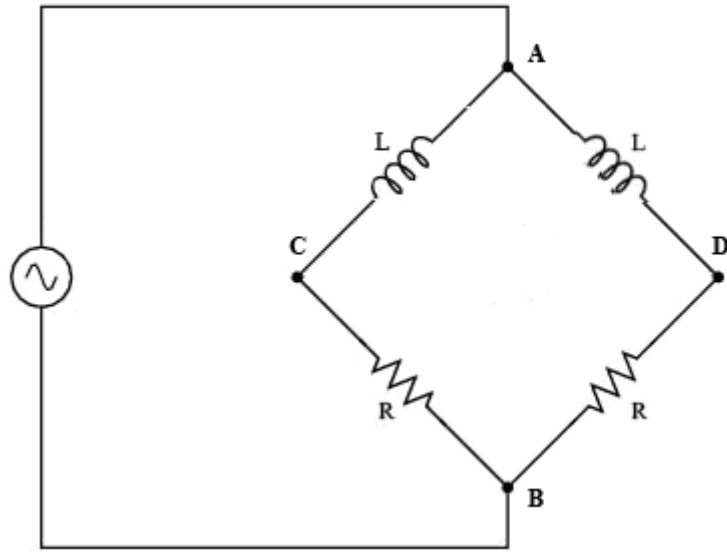


Şekil 6.6.  $\pm 12$  V simetrik güç kaynağı şematik devre

#### 6.2.4 Temel AC köprü

Bobin ve dirençler ile oluşturulan Şekil 6.7'daki köprünün C-D uçları arasındaki gerilim farkı denge durumunda "0" 'dır. Herhangi bir şekilde bobinlerin birinde endüktans değişimi sonucunda denge bozulacağından bu iki uç arasında bir gerilim farkı oluşmaktadır. Bu yapıya temel AC köprüsü denilmektedir. Geliştirilecek olan parçacık sensörü için bu köprü kullanılmıştır.

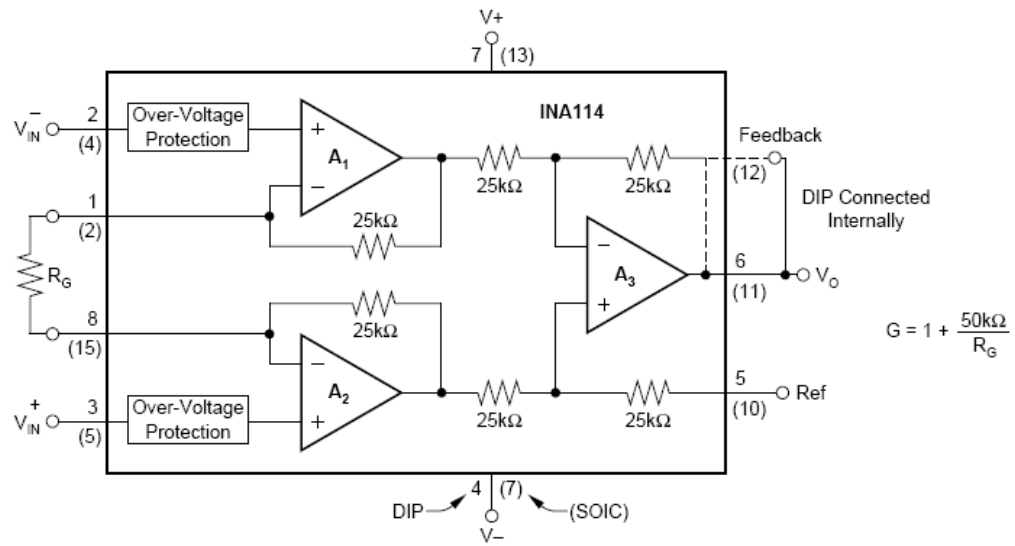
Şekilde görülen devrede  $U=1,2$  V (17 kHz),  $R=330 \Omega$  hassas dirençler ve  $L=4,51$  mH ( $R=58 \Omega$ )'lik parçacık sensörü bobinleri bağlanmıştır. Bobinin biri, içinden sıvı geçecek düzeneğe bağlanmış olup diğeri serbest olarak bırakılmıştır. Böylece cam tüp içersinden sıvı geçerken içerdiği manyetik özellikli parçacıklardan dolayı *endüktansı* değişecektir. Böylece C-D arasında bir gerilim farkı oluşacaktır. Oluşan bu gerilim farkı *enstrümantasyon* yükselteç kullanılarak yükseltilmiştir.



Şekil 6.7. Temel AC köprüsü

### 6.2.5 Enstrümantasyon yükselteçli devre

Parçacık konsantrasyon ölçme birimi için Şekil 6.8’de gösterilen INA114 *enstrümantasyon* yükselteç elemanı kullanılarak köprüde oluşan gerilim farkı yükseltildi.

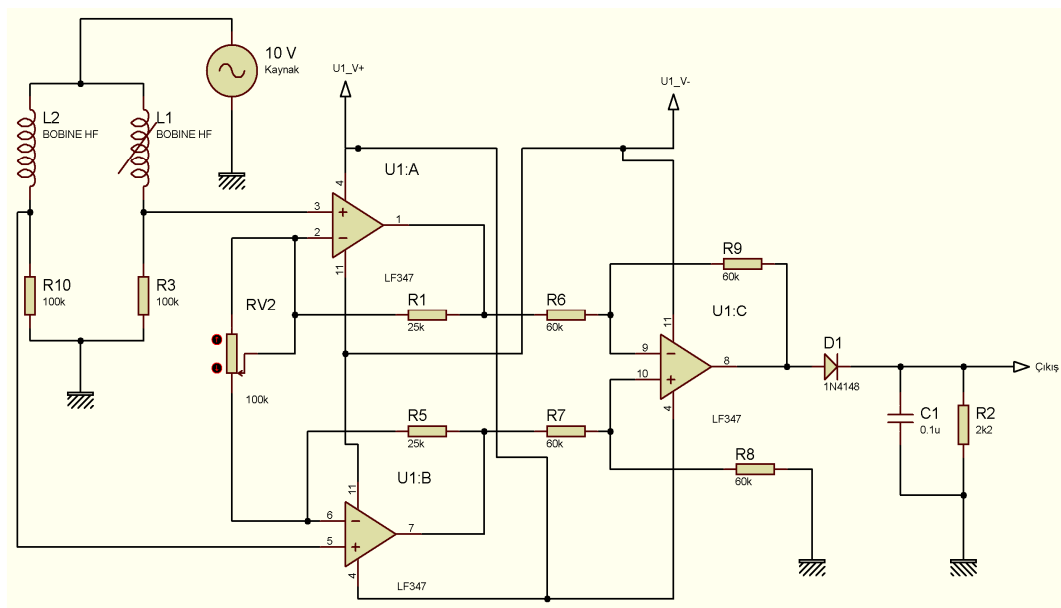


Şekil 6.8. INA114'ün iç şeması

Bu yapı *enstrümantasyon* yükselteçlerde kullanılmaktadır.  $R_G$  direncinin ayarlanması ile kazanç, istenilen seviyede gerilim elde edilmesini sağlamaktadır. Kullanılan temel AC köprüsündeki C, D uçları Şekil 6.8'deki  $V_{in}$  uçlarına bağlanmıştır.

Yükseltelen gerilim farkı yarım dalga doğrultmaç ile doğrultulmuştur. Devrenin baskı devresi çıkarılıp devre elemanları yerleştirilmiştir.

Şekil 6.9'daki devre şeması ile test edilerek sistemin çalışması kontrol edilmiştir.



Şekil 6.9. Konsantrasyon ölçme birimi için oluşturulan devre şeması

INA114'ün temel özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Çizelge 6.3'te verilen kazanç ve kazanç direnci değerlerine göre devrede uygun ve hassas dirençler kullanılmıştır.

**Çizelge 6.2** INA114'ün özellikleri

Parametre	Şartlar	INA114AP, AU			Birimler
<b>Giriş</b>					
Initial	TA = +25°C TA = TMIN to TMAX VS = ±2.25V to ±18V		±25 + 30/G	±125 + 500/G	µV
vs Temperature			±0.25 + 5/G	±1 + 10/G	µV/°C
vs Power Supply			0.5 + 2/G	3 + 10/G	µV/V
Long-Term Stability			±0.2 + 0.5/G		µV/mo
Impedance, Differential			1010    6		Ω    pF
<b>Gürültü Gerilimi, RTI</b>					
f = 10Hz	G = 1000, RS = 0Ω		15		nV/√Hz
f = 100Hz			11		nV/√Hz
f = 1kHz			11		nV/√Hz
<b>Kazanç</b>					
Gain Equation			1 + (50kΩ/RG)		V/V
Gain Error	G = 1		±0.01	*	%
	G = 10		±0.02	±0.5	%
	G = 100		±0.05	±0.7	%
	G = 1000		±0.5	±2	%
Gain vs Temperature	G = 1		±2	±10	ppm/°C
50kΩ Resistance(1)			±25	*	ppm/°C
Nonlinearity	G = 1		±0.0001	±0.002	% of FSR
	G = 10		±0.0005	±0.004	% of FSR
	G = 100		±0.0005	±0.004	% of FSR
	G = 1000		±0.002	±0.02	% of FSR
<b>Çıkış Parametresi</b>					
Voltage	IO = 5mA, TMIN to TMAX VS = ±11.4V, RL = 2kΩ VS = ±2.25V, RL = 2kΩ	±13.5	±13.7		V
		±10	±10.5		V
		±1	±1.5		V
Load Capacitance Stability			1000		pF
Short Circuit Current			+20/-15		mA
<b>Frekans cevabı</b>					
Bandwidth, -3dB	G = 1		1		MHz
	G = 10		100		kHz
	G = 100		10		kHz
	G = 1000		1		kHz
Slew Rate	VO = ±10V, G = 10	0.3	0.6		V/µs
Settling Time, 0.01%	G = 1		18		µs
	G = 10		20		µs
	G = 100		120		µs
	G = 1000		1100		µs
Overload Recovery	50% Overdrive		20		µs
<b>Güç kaynağı</b>					
Voltage Range		±2.25	±15	±18	V
Current	VIN = 0V		±2.2	±3	mA

**Çizelge 6.3** INA114 kazanç ve kazanç direnci

İstenen Kazanç	$R_G$ ( $\Omega$ )	En yakın %1 $R_G$ ( $\Omega$ )
1	-	-
2	50,00k	49,9k
5	12,50k	12,4k
10	5,556k	5,62k
20	2,632k	2,61k
50	1,02k	1,02k
100	505,1	511
200	251,3	249
500	100,2	100
1000	50,05	49,9
2000	25,01	24,9
5000	10,00	10
10000	5,001	4,99

### 6.2.6 Parçacık konsantrasyonu sensörünün kalibrasyonu

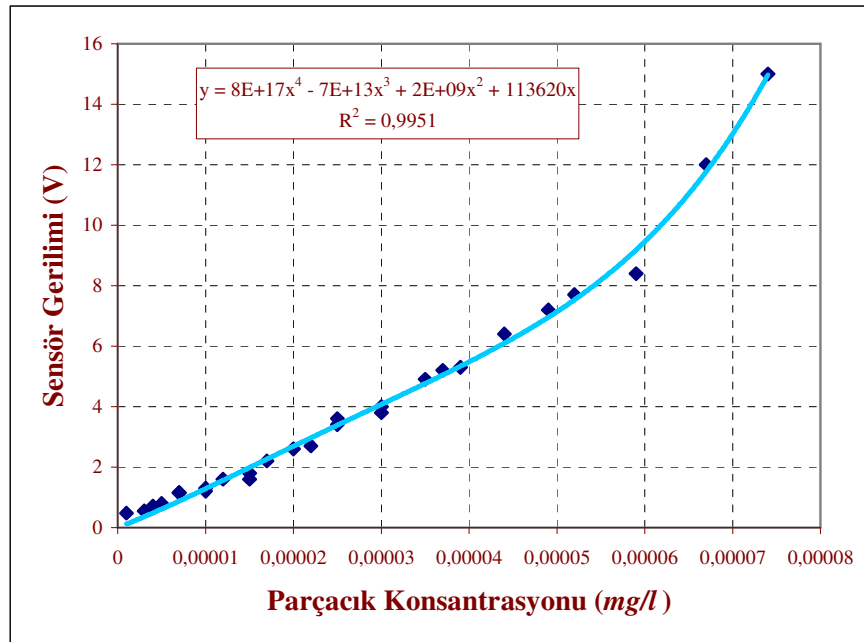
Hassas terazi ile yapılan demir tozu ölçümleri ile 1 mg-1g arasında demir tozları ince ve yalıtkan PVC içersine yine yalıtkan bir yapıştırıcı yardımıyla yapıştırılmıştır. Her birinin üzerine içerdikleri demir tozu miktarları silinmeyen kalem ile yazılmıştır. Böylece belli miktarlardaki demir tozları kalibrasyon için hazırlanmıştır. Bu demir tozları ile tasarlanan konsantrasyon ölçme biriminin (parçacık sensörü) deneyleri yapılmıştır. Buna göre 0-15 V arasında gerilim çıkışı elde edilmiştir. Devrenin baskı devresi de gerçekleştirilmiş ve devre çalışır hale getirilmiştir.

Gerçekleştirilen devre ile deneyler yapılmış ve elde edilen veriler, Çizelge 6.4'de verilmiştir. Parçacık sensörünün konsantrasyon miktarına göre ürettiği gerilim farkı grafiği Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



**Çizelge 6.4.** Parçacık konsantrasyon kalibrasyon değerleri

	<b>Parçacık miktarı (mg)</b>	<b>Konsantrasyon (mg/l)</b>	<b>Sensör gerilimi (V)</b>
1	0.0166	0.000001	0.48
2	0.0333	0.000003	0.55
3	0.0498	0.000004	0.70
4	0.0660	0.000005	0.79
5	0.0666	0.000005	0.78
6	0.0999	0.000007	1.15
7	0.1000	0.000007	1.15
8	0.1320	0.000010	1.20
9	0.1330	0.000010	1.30
10	0.1660	0.000012	1.60
11	0.1980	0.000015	1.60
12	0.2000	0.000015	1.80
13	0.2330	0.000017	2.20
14	0.2660	0.000020	2.60
15	0.3000	0.000022	2.70
16	0.3320	0.000025	3.40
17	0.3330	0.000025	3.60
18	0.3990	0.000030	3.80
19	0.4000	0.000030	4.00
20	0.4660	0.000035	4.90
21	0.4980	0.000037	5.20
22	0.5320	0.000039	5.30
23	0.6000	0.000044	6.40
24	0.6660	0.000049	7.20
25	0.6990	0.000052	7.70
26	0.7980	0.000059	8.40
27	0.9000	0.000067	12.00
28	0.9990	0.000074	15.00



Şekil 6.10. Parçacık sensörü çalışma grafiği

Kalibre edilen sensör için grafikten bir eğri uydurulmuş ve 6.1 ampirik formülü elde edilmiştir.

$$y = 1E+18x^4 - 2E+14x^3 + 7E+09x^2 + 11940x + 0.5538 \quad (6.1)$$

### 6.3 Akış metre

Projenin gerçekleştirilmesinde “ISOIL INDUSTRIA S.P.A.” firmasının geliştirdiği ML110 modeli manyetik akış ölçer, sıvının akış hızı sensörü olarak kullanılmıştır (Şekil 6.11). Özellikleri aşağıda verilmiştir (WEB2, 2008).



**Şekil 6.11.** Akış metre

### 6.3.1 Akışmetrenin genel ve teknik özellikleri

Ürün adı: Elektromanyetik akış metre

Dönüştürücü modeli: ML110 (HV, LV sürümleri)

Güvenlik: EN61010, dielektrik dayanımı = 4 kV, kurulum kategorisi II, IP67

EN55011 (150 kHz – 30 MHz): Grup 1, Sınıf B

EN55011 (30 MHz – 1GHz): Grup 1, Sınıf B

IEC 1000-4-2: 6 kV CD, 8 kV AD

IEC 1000-4-3 (f = 80 MHz – 1 GHz, 3 m anten, AM modülasyon 1kHz 80%):

10 V/m

IEC 1000-4-3 (f = 900MHz, 3 m anten, AM modülasyon 200 Hz 100%): 10

V/m

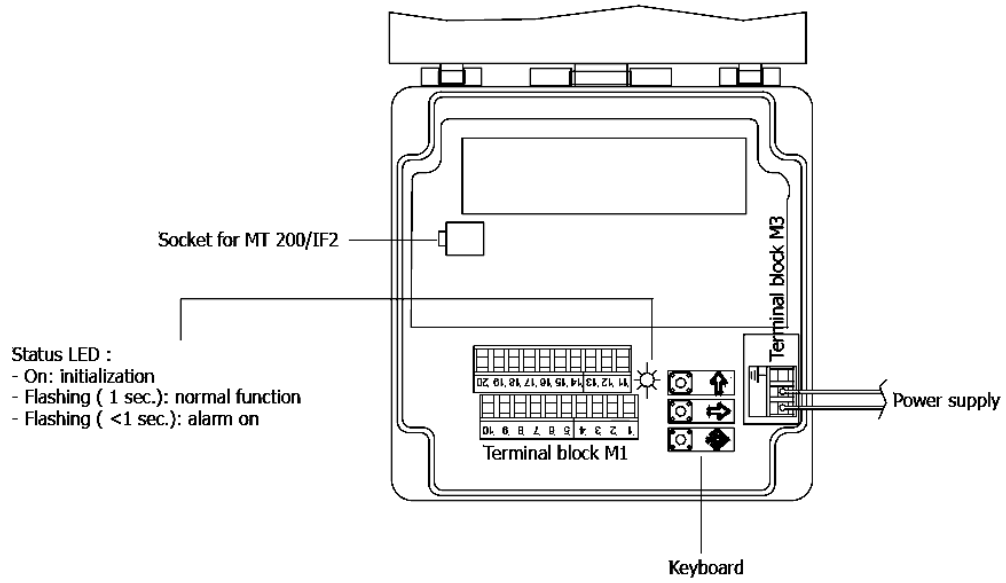
IEC 1000-4-4: 4 kV tüm portlarda

IEC 1000-4-5: (2kV difransiyel / 4kV ortak mod) ana kaynak portunda

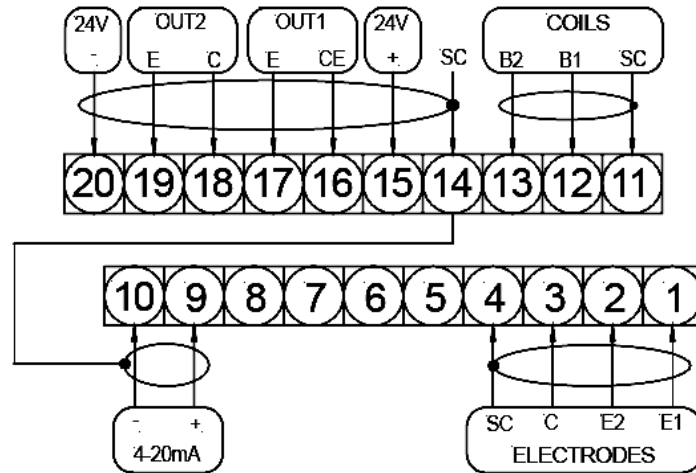
IEC 1000-4-6 (f = 150 kHz – 80 MHz, AM modülasyon 1 kHz 80%): 10 V

### 6.3.2 Akış metrenin yapısı

Akış metre dönüştürücü iç görünüşü Şekil 6.12’de, klemens bağlantısı Şekil 6.13’te gösterilmiştir.



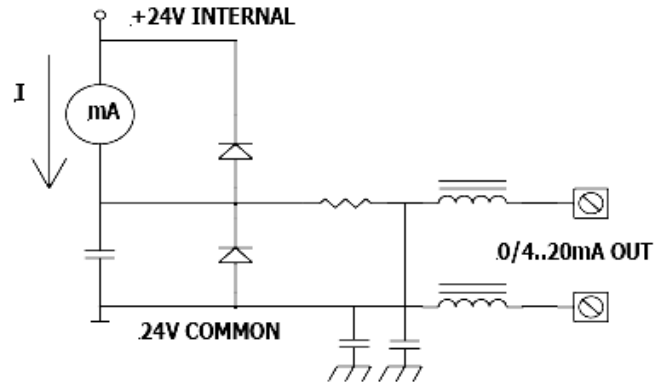
Şekil 6.12 Dönüştürücünün iç görünüşü



Şekil 6.13 Klemens bağlantıları

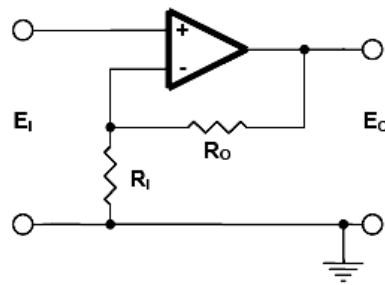
Şekil 6.14'te bağlantısı verilen analog (0–4/20 mA) çıkışın teknik özellikleri:

- İzoleli çıkışa sahiptir.
- Maksimum yük  $1000 \Omega$ 'dur.
- Yüksüz maksimum gerilim  $27 V$ 'tur.
- Yenileme frekansı bağlanan sensör örnekleme frekansı ile aynıdır.
- $30 V$  DC gerilim üzerinde korumaya sahiptir.



Şekil 6.14. Analog çıkış bağlantısı

Analog çıkışı yükseltmek için denklem 6.2 ile hesaplamalar yapılmıştır. Uygun direnç değerleri ile Şekil 6.15'deki devre kullanılarak terslemeyen yükselteç ile yükseltilmiştir. Koaksiyel kablo ile bağlantıları yapılarak BNC2100 DAQ kartında I.0.5 giriş kanalına bağlanmıştır.



Şekil 6.15. Terslemeyen yükselteç devresi

$$E_0 = \left(1 + \frac{R_0}{R_1}\right) \cdot E_1 \quad (6.2)$$

## 6.4 PCI-6036E DAQ kartı

Filtrenin kontrolü aşamalarından biri olan bilgisayarla kontrol kısmında veri toplama kartı kullanılmıştır. Uygun iletişim hızı, yeterli analog, dijital giriş ve çıkış sayıları araştırılmış ve National Instrument (NI) firmasının üretmiş olduğu PCI 6036E modelinde DAQ kartı kullanılmıştır (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 PCI 6036E DAQ kartı görüntüsü

### 6.4.1 Teknik özellikleri

Teknik özellikleri Çizelge 6.5’de verilmiştir.

**Çizelge 6.5** PCI 6036E DAQ kartı teknik özellikleri

Terminal Adı	Terminal Tipi	Giriş/Çıkış Empedansı	Koruma (V) On/Off	Kaynak (mA at V)	Yüze (mA at V)	Yükselme zamanı (ns)	Bias
AI <0..15>	AI	100 GΩ in paralel with 100 pF	25/15	-	-	-	±200 pA
AI SENSE	AI	100 GΩ in paralel with 100 pF	25/15	-	-	-	±200 pA
AI GND	-	-	-	-	-	-	-
AO 0*	AO	0,1Ω	Short-circuit to ground	5 at 10	5 at -10	-	-
AO 1*	AO	0,1Ω	Short-circuit to ground	5 at 10	5 at -10	-	-
AO GND	-	-	-	-	-	-	-
D GND	-	-	-	-	-	-	-
+5 V	-	0,1Ω	Short-circuit to ground	1 A fused	-	-	-
P0. <0..7>	DIO	-	Vcc+0,5	13 at (Vcc-0,4)	24 at 0,4	1,1	50 kΩ pu
AI HOLD COMP	DO	-	-	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
EXT STROBE*	DO	-	-	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 0/ (AI START TRIG*)	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 1/ (AI REF TRIG)	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 2/ (AI CONV CLK)*	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 3/ CTR 1 SOURCE	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 4/ CTR 1 GATE	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
CTR 1 OUT	DO	-	-	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 5/ (AO SAMP CLK)*	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 6/ (AO SATRT TRIG)	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 7/ (AI SAMP CLK)	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 8/ CTR 0 SOURCE	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
PFI 9/ CTR 0 GATE	DIO	-	Vcc+0,5	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
CTR 0 OUT	DO	-	-	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
FREQ OUT	DO	-	-	3,5 at (Vcc-0,4)	5 at 0,4	1,5	50 kΩ pu
AI = Analog Giriş DIO=Dijital Giriş/Çıkış pu=yukarı çekmek AO=Analog Çıkış DO=Digital Çıkış							

Analog Giriş Kanal Sayısı: 16 tek sonlu veya 8 diferansiyel (yazılım tarafından her bir kanal seçilebilir.)

A/D tipi dönüştürücü (ADC) : Ardışıl yaklaşım

Çözünürlük: 16 bit, 1–65536

Maksimum örnekleme oranı: 200 kS/s garanti edilmiş

Giriş sinyal aralığı Çizelge 6.6’da verilmiştir.

**Çizelge 6.6** Giriş sinyal oranları

<b>Aralık (Yazılım-Seçilebilir)</b>	<b>Bipolar giriş aralığı</b>
20 V	±10 V
10 V	±5 V
1 V	±500 mV
100 mV	±50 mV

Giriş bağı : DC

Maksimum çalışma gerilimi (sinyal+ortak mod) : Her bir giriş ±11V olmalıdır.

Aşırı gerilim koruması Çizelge 6.7’de verilmiştir.

**Çizelge 6.7** Aşırı gerilim koruması

<b>Sinyal</b>	<b>Güç açıkken (V)</b>	<b>Güç kapalıken (V)</b>
AI<0...15> AI SENSE	±25	±15

FIFO tampon büyüklüğü

NI PCI-6036E: 512 S

DMA (Sadece bilgisayar)

Kanallar: 1

Veri kaynakları/gidecek yerler: Analog giriş, analog çıkış, sayıcı/zamanlayıcı 0 veya sayıcı/zamanlayıcı 1

Veri transferleri: Interrupts, I/O programlama

Konfigürasyon bellek büyüklüğü: 512 kelime



### 6.4.2 Transfer özellikleri

- İntegral *nonlinearity* (INL) :  $\pm 1.5$  LSB typ,  $\pm 3.0$  LSB max
- Diferansiyel *nonlinearity* (DNL) :  $\pm 0.5$  LSB typ,  $\pm 1.0$  LSB max
- Kayıpsız kodlar : 16 bits
- Kalibrasyondan sonra *Pregain* hatası :  $\pm 1.0$   $\mu$ V max
- Kalibrasyondan önce *Pregain* hatası :  $\pm 28.8$  mV max
- Kalibrasyondan sonra *Postgain* hatası :  $\pm 157$   $\mu$ V max
- Kalibrasyondan önce *Postgain* hatası :  $\pm 40$  mV max
- Kalibrasyondan sonra (kazanç = 1) :  $\pm 74$  ppm
- Kalibrasyondan önce :  $\pm 18,900$  ppm
- Kazanç  $\neq$  kazanç hatası olarak 1
- Kazançta 0 ayarlama =  $1 \pm 200$  ppm

### 6.4.3 Yükselteç özellikleri

- Giriş empedansı
- Normal açma: 100 pF ile paralel olarak 100 G $\Omega$
- Kapama: 820  $\Omega$
- Aşırı yük: 820  $\Omega$
- Giriş bias akımı :  $\pm 200$  pA
- Giriş dengeleme akımı :  $\pm 100$  pA
- Giriş-çıkış gürültü oranı Çizelge 6.8'de verilmiştir.

**Çizelge 6.8** Giriş-çıkış gürültü oranı (CMRR), DC - 60 Hz

Gerilim	Bipolar
20 V	85 dB
10 V	85 dB
1 V	96 dB
100 mV	96 dB

#### 6.4.4 Dijital I/O

Kanal sayısı: 8 giriş/çıkış

Uyumluluk: 5 V TTL/CMOS

Açma durumu : .Giriş (yüksek empedans),50 k $\Omega$ ,+5 VDC

Veri aktarımı: Programlanmış I/O

Aktarma oranı (1 kelime = 8 bit)1: 50 kword/s, tip

Sürekli güçlendirilebilir oranı: 1–10 kword/s, tip

Zamanlama kanal sayısı

*Up/down counter/timers* : 2

Frekans skalası : 1

Frekans skalası: 4 bit

Temel *clocks* uyumluluğu

*Up/down counter/timers* : 20 MHz, 100 kHz

Frekans aralığı: 10 MHz, 100 kHz

Temel *clock* doğruluğu :  $\pm 0.01\%$

Maksimum harici kaynak frekansı: *up/down counter/timers* : 20 MHz

Harici kaynak seçimi : PFI <0..9>, RTSI <0..6> analog *trigger*, yazılım-seçilebilir

Harici kapı seçimi: PFI <0..9>, RTSI <0..6> analog *trigger*, yazılım-seçilebilir

Minimum kaynak pals süresi: 10 ns

Minimum kapı pals süresi: 10 ns

Veri transferi: PCI *up/down counter/timer* : DMA2 (*scatter-gather*), *interrupts*, programlanmış I/O

Frekans büyüklüğü: Programlanmış I/O

Analog giriş : Başlama, referans, ve durdurulmuş tetikleme, örnek *clock*

Analog çıkış: Başlama, durdurulmuş tetikleme, örnek *clock*

Harici kaynaklar : PFI <0..9>, RTSI <0..6>

Cevap: Yükselen veya düşen kenar

Pals genişliği: 10 ns

### 6.4.5 Kalibrasyon

Tavsiye edilen ısıtma zamanı : 15 dakika

Aralık: 1 yıl

Harici kalibrasyon referansı: 6 ve 10 V arasında

Onbord kalibrasyon referansı

Seviye: 5.000 V ( $\pm 3,5$  mV) (tüm işlem ısısı, gerçek değer, EEPROM'da depolanan gerçek değer)

Isı katsayısı :  $\pm 5,0$  ppm/ $^{\circ}$ C max

Uzun süre sabitliliği :  $\pm 15,0$  ppm/

### 6.4.6 Güç gereksinimi ve fiziksel özellikleri

0.9 A : +5 VDC ( $\pm 5\%$ )

1 A : +4.65 to +5.25 VDC

Ağırlık: 114 g

I/O konektör: 68-erkek pin SCSI-II ty-ip VHDCI

Maksimum çalışma gerilimi:

Kanal-Toprak :  $\pm 11$  V,

Kanal-Kanal :  $\pm 11$  V

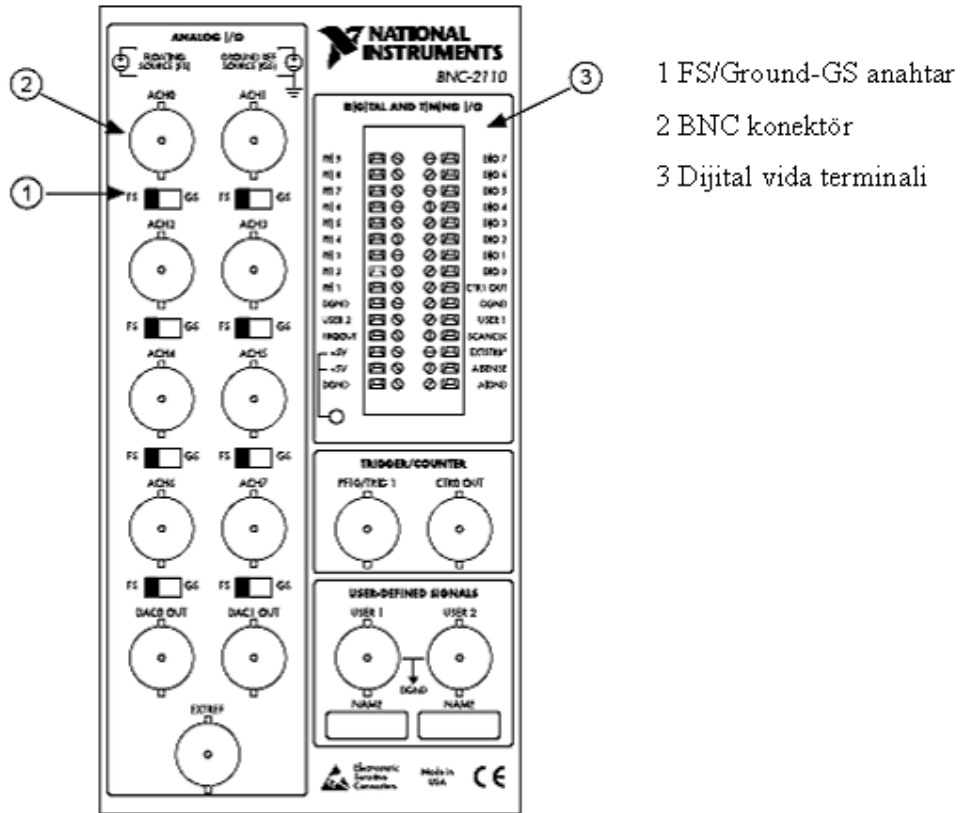
İşlem Sıcaklığı: 0 – 55  $^{\circ}$ C

Bellek Sıcaklığı : -20 to 70  $^{\circ}$ C

Nispi nem: 10 – 90%, yoğuşmasız

## 6.5 BNC 2100 Pro Kit

Analog ve dijital I/O için NI PCI 6036E DAQ kartı ile uyumlu BNC 2100 arabirimi filtre kontrol devremizde, bilgisayar ile DAQ kartı iletişimde kullanılmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.17 BNC 2100 panelin ön görünüşü

### 6.5.1 Teknik ve fiziksel özellikleri

Bağlantı Yeri: 15 BNC konektör (8 analog giriş konektörü, 2 analog çıkış konektörü, 1 sayıcı, 1 trigger, 2 kullanıcı tanımlı ve 1 harici referans)

Vidalı terminal: 30-pin

### 6.5.2 Fiziksel özellikler

Ebatları: 19.05 – 10.48 – 3.51 cm (7,5 – 4.125 – 1,38 inc.)

I/O konektör: 68-erkek konektörlü

BNC konektörler: 15

Vidalı terminal: 30

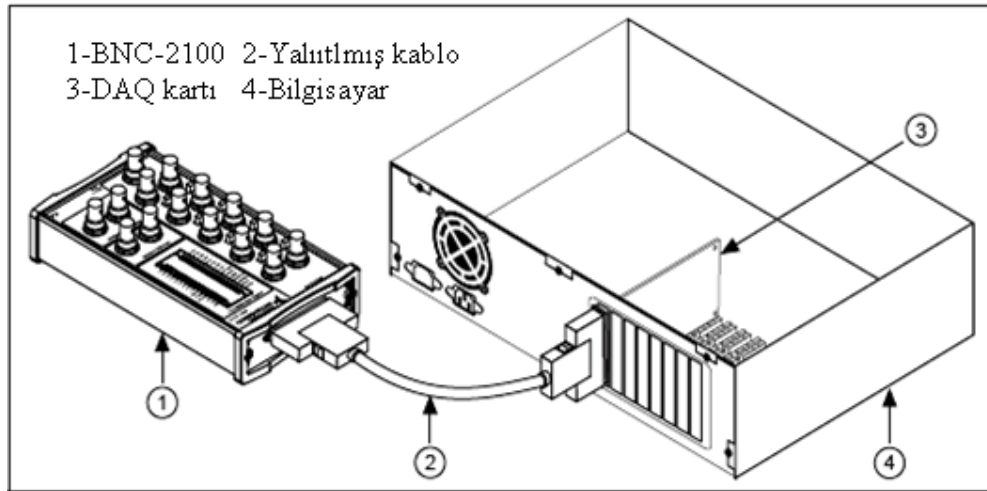
### 6.5.3 Çevresel özellikler

İşlem ısısı: 0° - 70° C

Bellek ısısı : -55° - 125° C

Nispi nem: 5% - 90% yoğuşmasız

Şekil 6.17'deki BNC 2100 konnektör ile NI firmasının üretmiş olduğu PCI 6036E DAQ kartı bağlantısı Şekil 6.18'de gösterilmiştir.

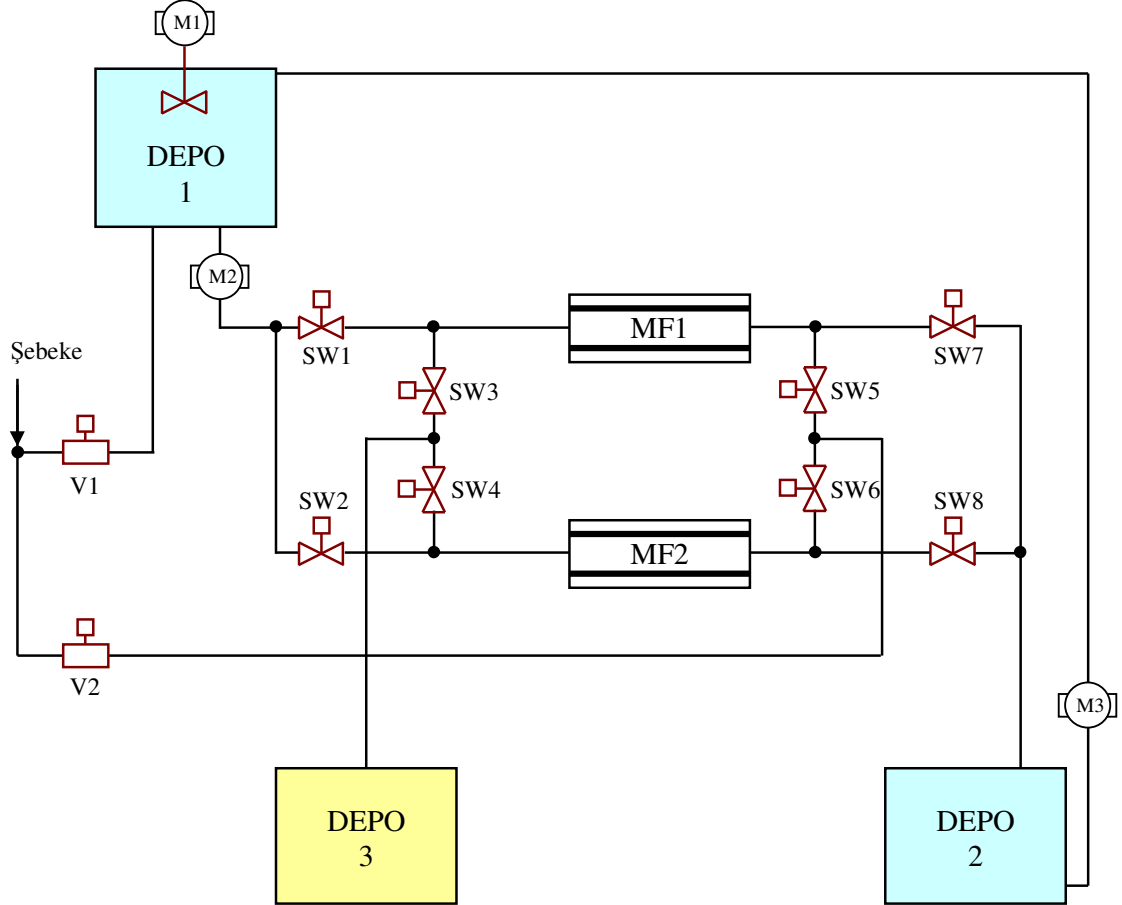


Şekil 6.18 BNC 2100 konnektörünün DAQ kartına bağlantısı

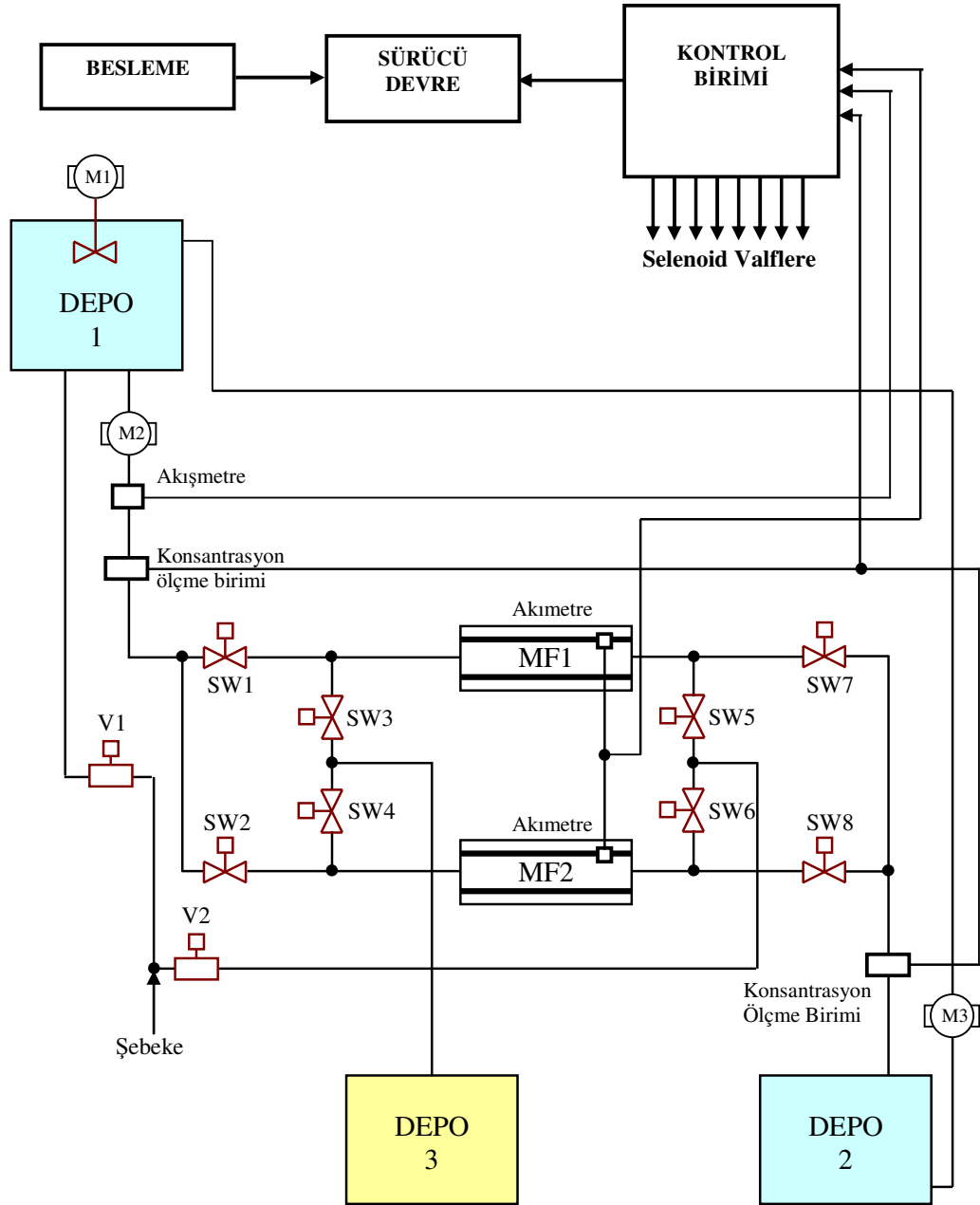
## 6.6 Kontrol Sistemi

Güç kaynağı, gövde, bobin, manyetik filtre elemanı, süspansiyon karıştırıcı, pompa, kontrol sensörleri, taşıyıcı borular, vanalar ve depolayıcılar kullanılan filtrenin akış diyagramı Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de verilmiştir.

Otomatik kontrol için bilgisayar ve çevre birimleri de eklenerek sistem Şekil 6.20'deki şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.19. Oluşturulan filtrenin akış şeması

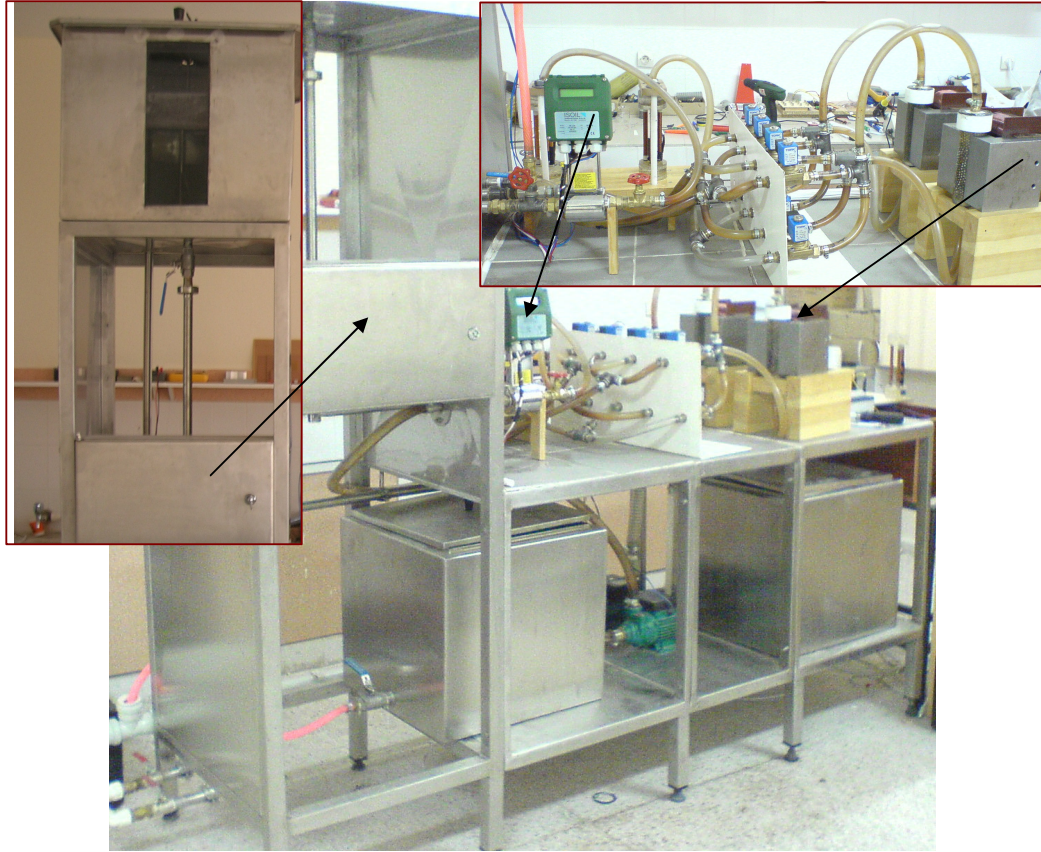


**Şekil 6.20.** Kontrol sistemi tasarımı taslak şeması

Hazırlanan süspansiyon depo 1'den, pompa ve taşıyıcı borular yardımıyla manyetik filtreden geçirilerek diğer depo 2'ye dolduruldu. Giriş ve çıkış konsantrasyonları sürekli olarak ölçülerek filtre performansı belirlendi. Manyetik filtrenin çalışma rejimi sensörler ve bilgisayar yardımıyla sürekli kontrol edildi.

Sistem, filtrenin rejenerasyon işleminin ne zaman yapılması gerektiğini bildirerek bu işlemi otomatik olarak gerçekleştirecek şekilde tamamlandı.

Öncelikle sistem için bir deney düzeneği tasarlandı ve gerçekleştirildi. Bu düzende 3 adet depo 2 adet pompa 1 adet karıştırıcı 8 adet selenoit valf ve bunların bağlantısı için yeterli miktarda bağlantı elemanları temin edildi (Şekil 6.21).



**Şekil 6.21.** Gerçekleştirilen deney düzeneği

Paslanmaz çelikten ana gövde ve depolar yaptırılmıştır. Filtre içerisinden geçecek olan kondensat hızını ayarlayabilmek için baypas sistemi bağlantısı yapıldı.

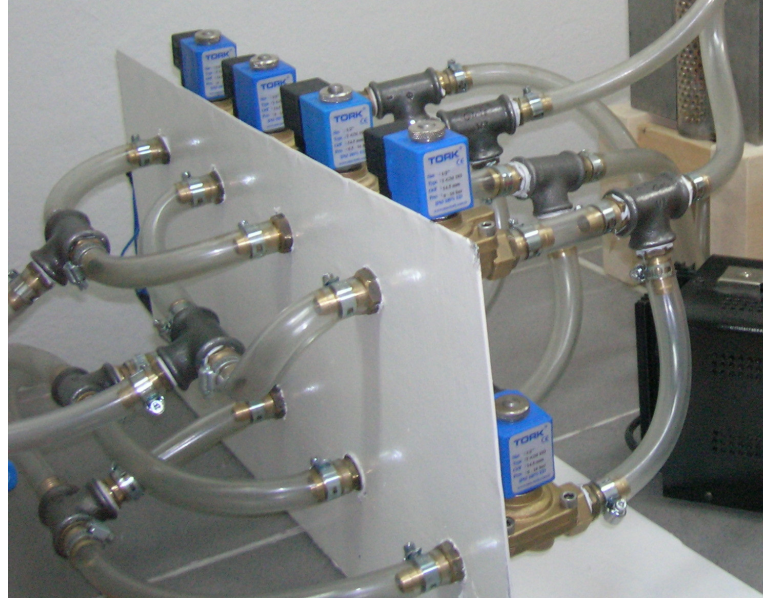
Depo 1 içerisine karıştırıcı yerleştirildi. Yerleştirilen karıştırıcı, motor kontrolü iki kademeli olarak kontrol birimine bağlantısı yapıldı.

Depo 2 ve Depo 3'te seviye göstergeleri giriş ve çıkış bağlantı yerleri yapıldı. Depolardan kapalı çevrim veya açık çevrim olarak çalışabilecek şekilde bağlantıları yapılmıştır. Pompa ile Depo 2'den temizlenmiş sıvı Depo 1'e tekrar gönderilmesi

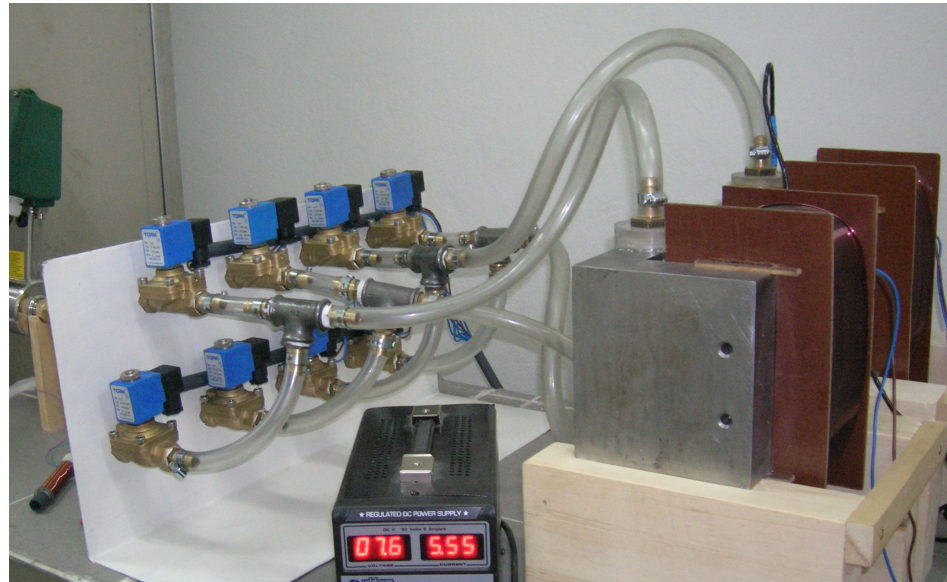


sağlanmıştır. Depo 2’de temizlenen filtreden elde edilen manyetik parçacıkların toplanarak çevre açısından kirliliğe yol açmaması için kontrol altına alındı.

Ana gövde deney masası üzeri asite dayanıklı fayansla kaplatılmıştır (Şekil 6.21). Selenoit valfler; 3 mm kalınlığında saç üzerine monte edilmiş, elektriksel bağlantıları yapılarak kumanda klemenslerine bağlanmıştır (Şekil 6.22, Şekil 6.23).

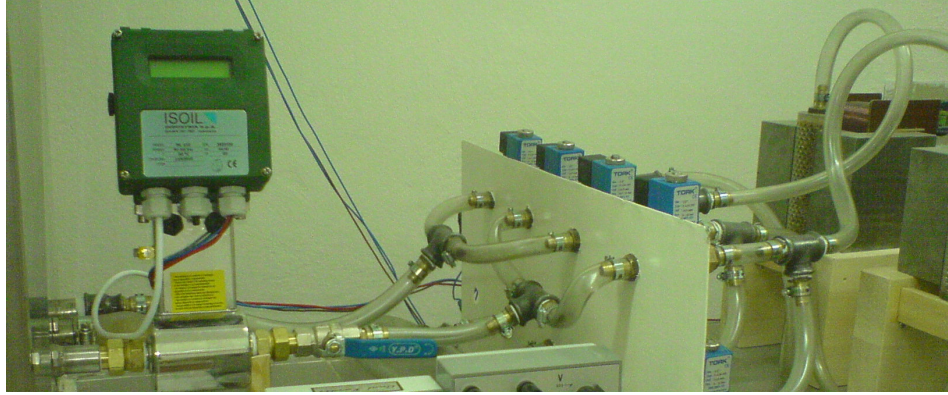


Şekil 6.22. Selenoit valfler ve bağlantıları



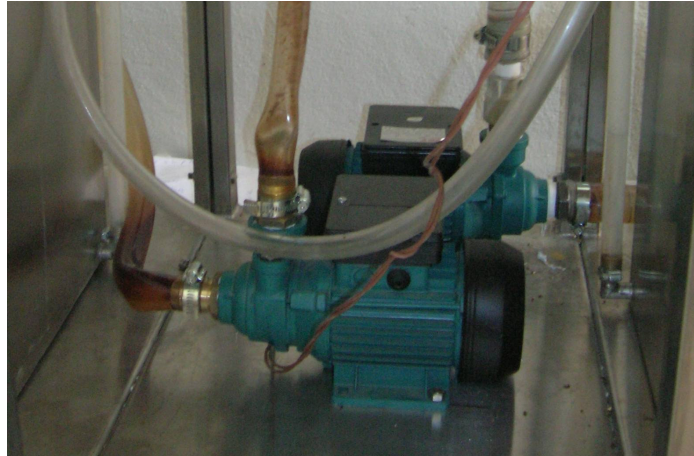
Şekil 6.23. Selenoit valfler ve filtre bobin bağlantıları

Akış metre sistemin ana girişine bağlandı (Şekil 6.24). Akış metreden Bilgisayara veri girişi için *koaksiyel* kablo ve BNC ile DAQ kartına bağlantı yapıldı ve çalıştırıldı.



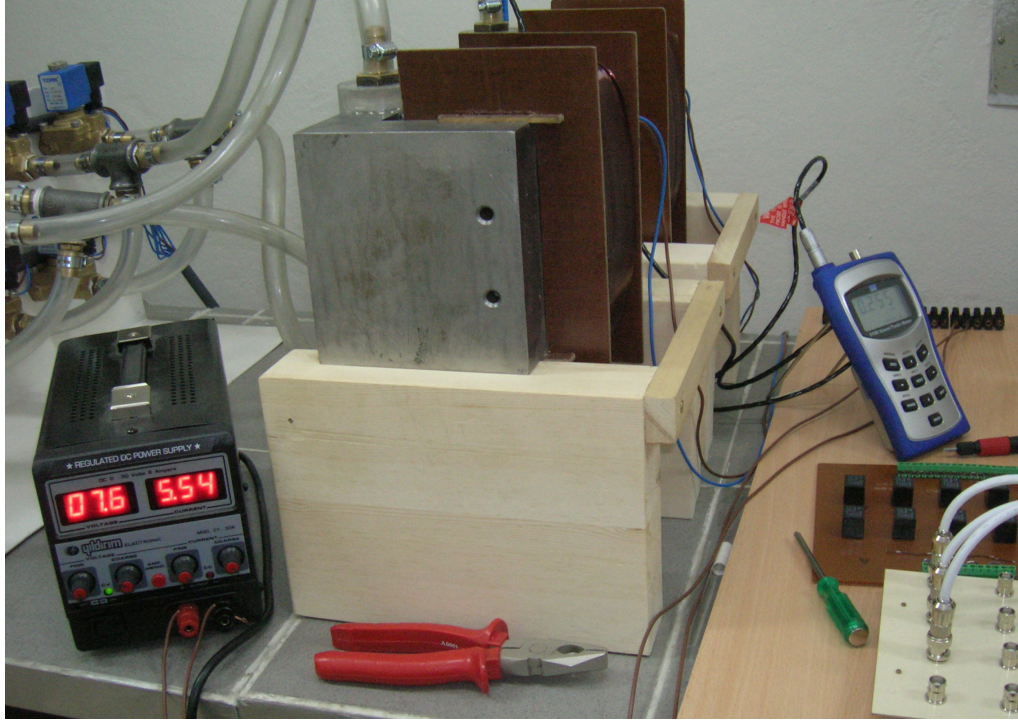
**Şekil 6.24.** Akış metre ve bağlantıları

Sistemde; biri Depo 2'den Depo 1'e temiz suyun tekrar dönüşü diğeri ise sisteme Depo 1'den suyun verilmesi için iki adet pompa kullanıldı. Pompalar 220 V ve 1 fazlı AC motorlar olarak seçildi (Şekil 6.25).



**Şekil 6.25.** Pompa bağlantıları

Bobini sarılan ve matrisi yapılan manyetik filtrenin bobinine enerji verilerek, bobinin çalışması değişik akımlarla test edildi (Şekil 6.26).



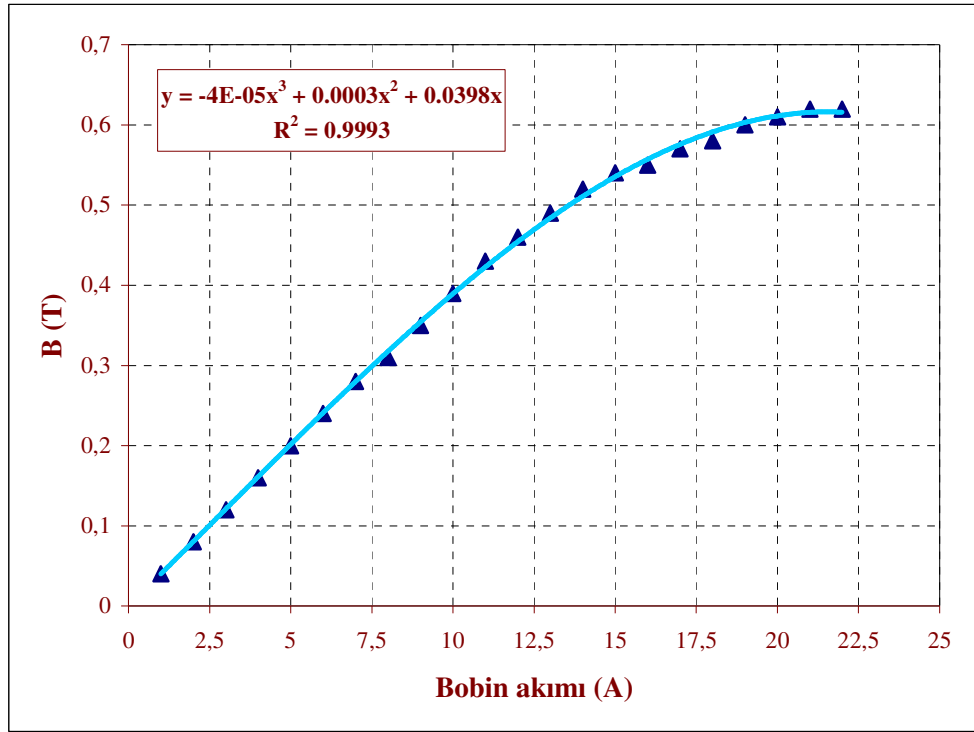
**Şekil 6.26.** Manyetik nüve üzerinde manyetik akının ölçümü

Filtre bobini testleri yapılırken aynı anda filtre gövdesindeki manyetik akı yoğunlukları da ölçülerek elde edilmiştir. Elde edilen Çizelge 6.9'da verilmiştir.

**Çizelge 6.9.** Bobin akım ve manyetik akı yoğunlukları

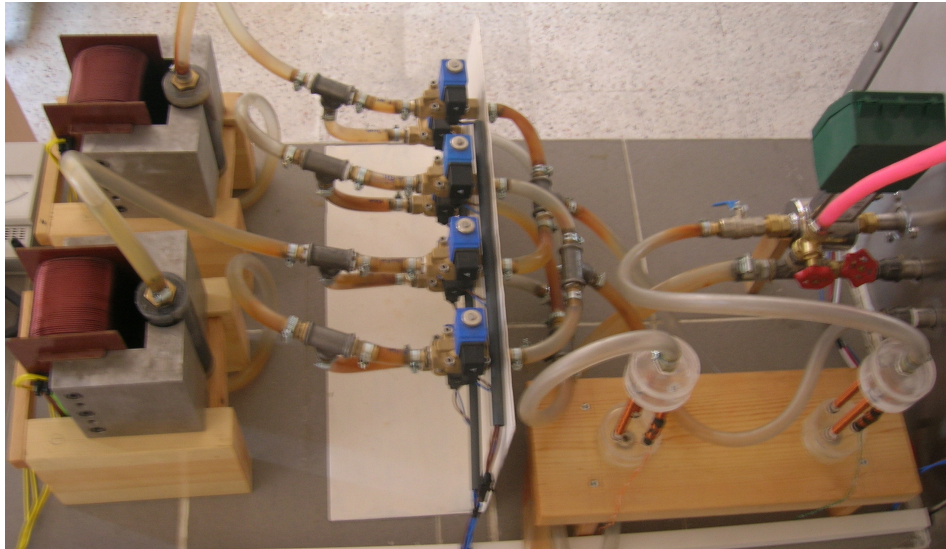
Sıra No	Akım (A)	Manyetik Akı Yoğunluğu (T)
1	1,00	0,04
2	2,00	0,08
3	3,00	0,12
4	4,00	0,16
5	5,00	0,20
6	6,00	0,24
7	7,00	0,28
8	8,00	0,31
9	9,00	0,35
10	10,00	0,39
11	11,00	0,43
12	12,00	0,46
13	13,00	0,49
14	14,00	0,52
15	15,00	0,54
16	16,00	0,55
17	17,00	0,57
18	18,00	0,58
19	19,00	0,60
20	20,00	0,61
21	21,00	0,62
22	22,00	0,62

Filtre bobinine uygulanan akım arttıkça, filtre gövdesindeki manyetik akı yoğunluğu da artmaktadır. Filtre bobini akımı ile filtre gövdesindeki manyetik akı ilişkisi elde edilen veriler Şekil 6.27'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.27. Bobin akımı-Manyetik akı yoğunluğu

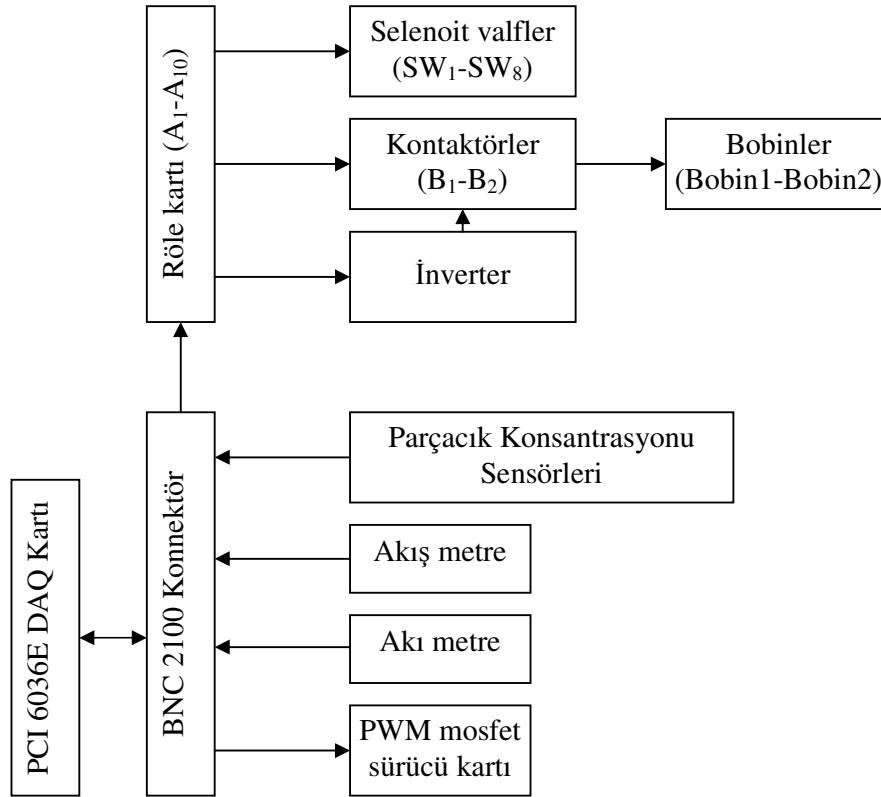
MF giriş ve çıkışındaki parçacık kontrantrasyonlarını ölçmek için oluşturulan sensörler Şekil 6.28’de görüldüğü gibi sisteme bağlandı.



Şekil 6.28. Parçacık konsantrasyonu ölçme birimi ve sisteme bağlantısı

Akış metre, Akı metre, Parçacık konsantrasyon sensörlerinden *koaksiyel* kablo ile veriler BNC2100 ara birimi ile DAQ 6036E kartına bağlandı ve bilgisayara aktarılarak kontrol yazılımında kullanıldı.

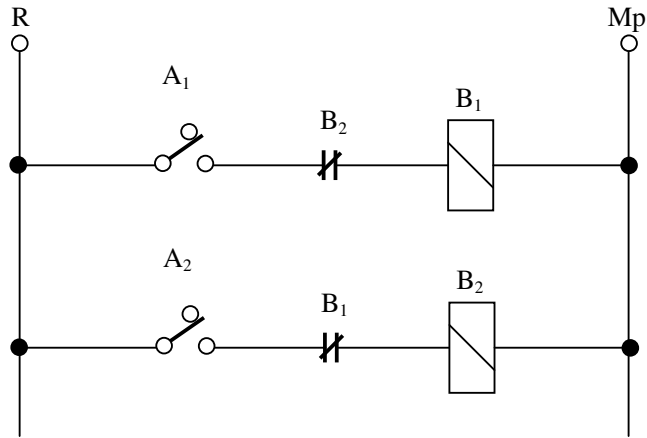
BNC 2100 aracılığı ile PWM kontrolü için yazılımdan elde edilen PWM referans gerilimi kontrol birimine BNC ile aktarıldı. Böylece kontrol için gerekli sensör ve diğer bağlantılar Şekil 6.30'de tasarlandığı gibi gerçekleştirildi.



Şekil 6.29. Kontrol birimi bağlantı şeması

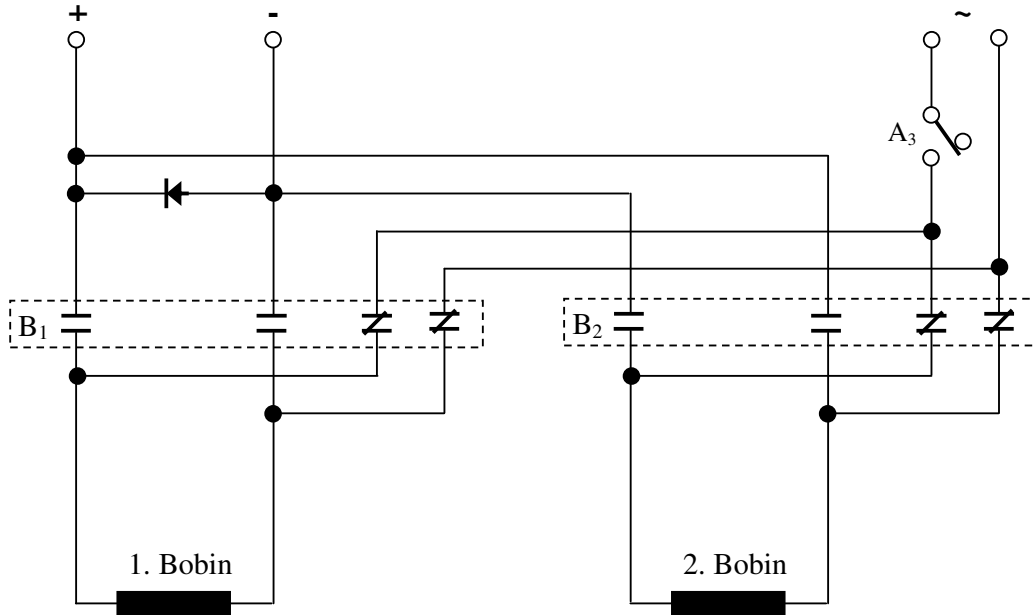
### 6.6.1 Endüstriyel sıvı temizleme kontrolü

Endüstriyel sıvıların temizlenmesinde kullanılan manyetik filtreler, sırasıyla performansı düşen filtrenin temizlenmesi bu arada diğerinin sıvı temizliğine devam etmesi ve bu rejimin sürekli olması sağlandı. Bunun için kontrol biriminde bobinlerin beslemesi için 2 adet kontaktör kullanıldı ve kontaktörlerin bağlantıları Şekil 6.30 ve Şekil 6.31'deki gibi gerçekleştirildi.



Şekil 6.30. Kumanda devre şeması

Burada  $A_1$  ve  $A_2$  kontaktörleri kumanda eden rölelerdir ve bilgisayardan gelen sinyaller ile kontrol edilmektedir. Hangi filtrenin çalışacağı yazılımla kontrol edilmekte ve uygun çalışma rejimine göre kontrol bu kontaktörler ile sağlanmaktadır.

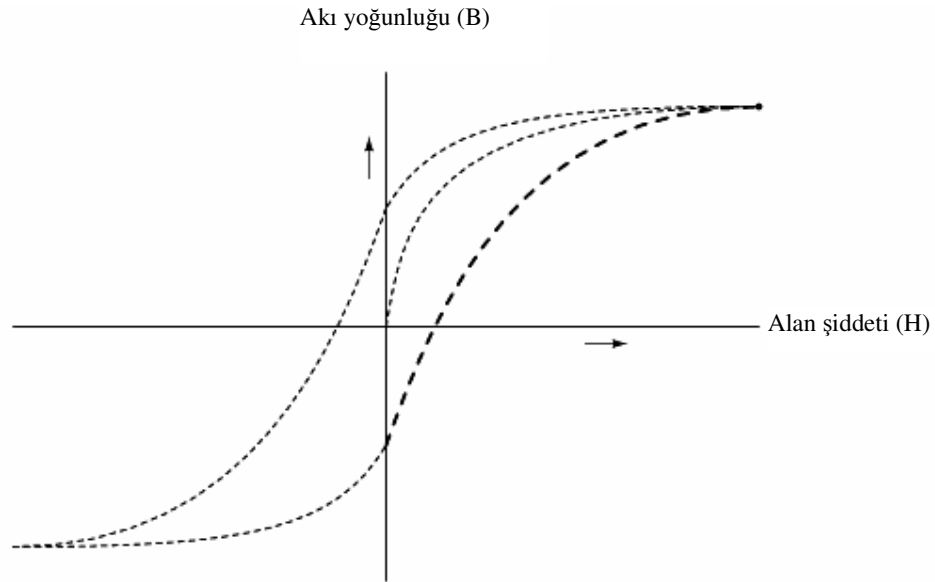


Şekil 6.31. Güç bağlantı şeması

Şekil 6.31’de görülen A3, 1. ve 2. bobinin çalışma rejimlerine göre 20 Hz’lik düşük frekanslı AC uygulanmasını kontrol eden röledir ve yine bilgisayar yazılımı ile sadece 35 dakika çalışacak şekilde yazılımla sınırlandırılmıştır. Bu 35 dakikalık süre, denemeler sonucu en uygun filtre matrisi temizlenme süresi olarak elde edilmiştir.

### 6.6.2 Filtre matrisi temizleme kontrolü

Filtre matrisi temizlenmesi için ikinci filtrenin sıvı temizlemeye başlaması sürecinde diğer filtre gövdesinde artık mıknatısiyet kalacağından (Şekil 6.32) inverter ile 20 Hz’lik bir AC elde edilerek filtre bobinine uygulandı. Böylece artık mıknatısiyetin etkisinin sıfır olduğu bölgeler elde edilerek filtre içersindeki manyetik parçacıkların temizlenmesi sağlandı.

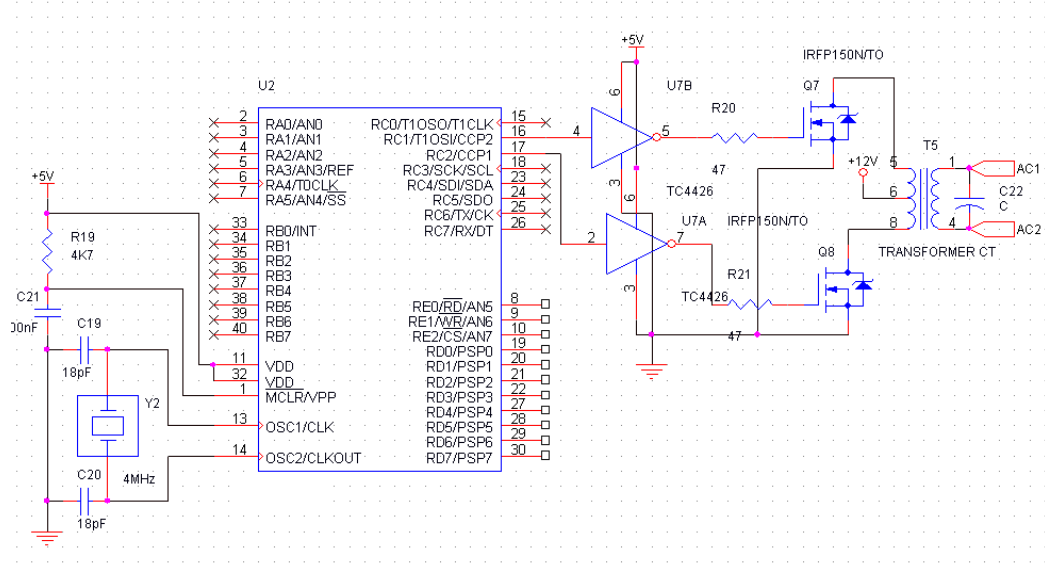


Şekil 6.32. Histerisiz eğrisi

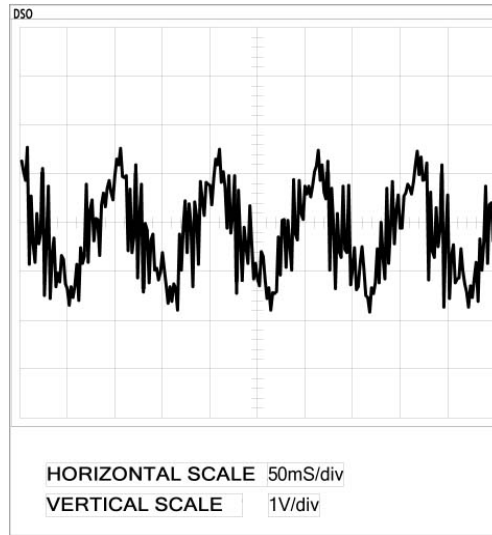


### 6.6.2.1 İnverter devresi

İnverter için Şekil 6.33'deki devre tasarlandı ve gerçekleştirildi. Baskı devresi çıkarıldı ve eleman yerleşimi yapıldı. Şekil 6.34'te elde edilen AC geriliminin sinyali gösterilmektedir.



Şekil 6.33. İnverter devresi

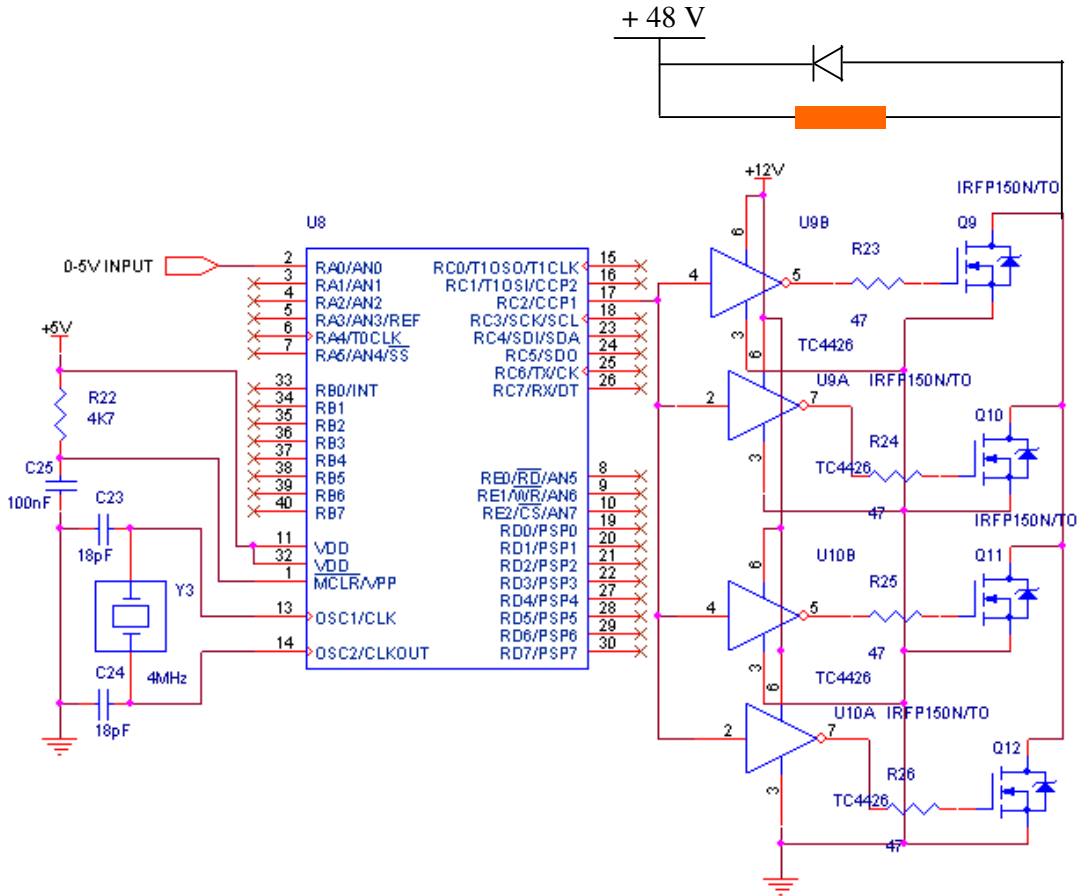


Şekil 6.34. İnverter çıkışı

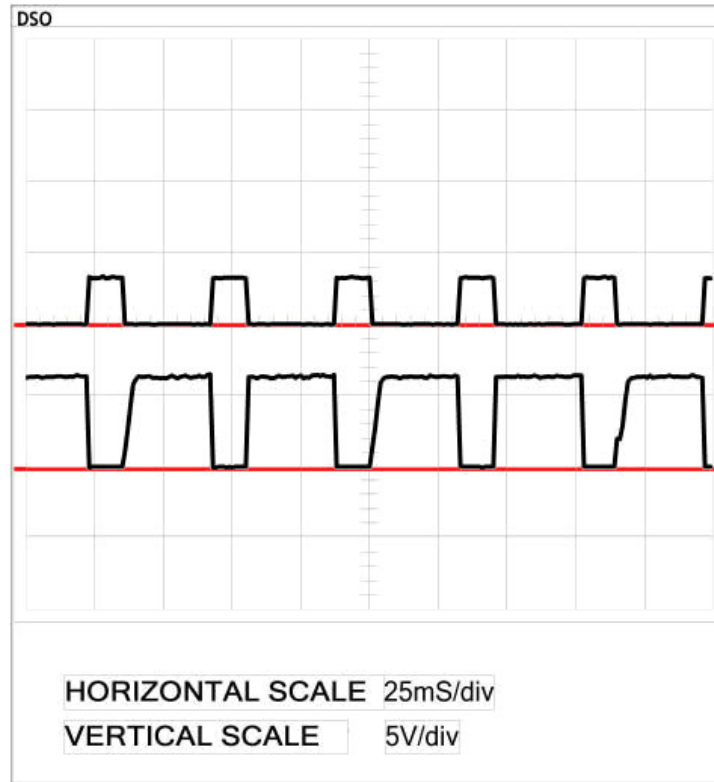
Şekil 6.34'deki inverter devresinde PIC 16F877 kullanıldı. Uygun yazılım oluşturularak PIC'e yüklendi ve inverter devresi gerçekleştirildi.

### 6.6.3 PWM ile bobin akımı kontrolü

PWM kontrol ile filtre bobinine uygulanacak olan gerilimin kontrolü dolayısıyla bobinden geçen akımın kontrolü sağlanmıştır. Akımın kontrolü ile Filtre matrisinden geçen manyetik akı kontrol edilmiştir. PWM için üç farklı yöntem uygulanmış ve PIC 16F877 ile gerçekleştirilen PWM ile mosfet sürücü devre kullanılmıştır (Şekil 6.35). Elde edilen herhangi bir andaki osiloskop görüntüsü Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.35. PWM devre şeması



Şekil 6.36. PWM sinyalinin osiloskop görüntüsü

## 7 KONTROL SİSTEMİNİN YAZILIMSAL BİLEŞENLERİ

Manyetik filtrenin kontrolü için iki aşama düşünülmüş ve gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağı (YSA) ile maksimum filtre performanslarına göre filtreler arası geçişlerde kullanılmak üzere referans değerlerinin elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler bir dosyaya kaydedilerek ikinci aşamada kullanılmıştır. Bu aşamada Matlab neural network toolbox yazılımı kullanılmıştır. İkinci aşamada filtrenin kontrolü ve bulanık kontrol için Labview yazılımı kullanılmıştır.

### 7.1 NI Labview Yazılımı

*National Instruments* (NI) firmasının yazmış olduğu bir nesne tabanlı programlama yazılımıdır. Grafikselle bir yaklaşımı vardır, her işlem/fonksiyon/değişken bir kutucukla ifade edilir ve bunlar birbirine bağlanarak programlar yazılır. Literatür taraması ve uygulamalarda daha çok *instrumentation/instrument control* gibi konularda kullanıldığı görülmektedir. Çalışmada kullanılan NI *Labview* programının versiyonu 8.0'dır.

NI Labview üzerinde gerçekleştirilen yazılım DAQ kartı ile birlikte filtrenin kontrolü için kullanıldı.

#### 7.1.1 Labview Fuzzy Toolkit ile bulanık kontrolün gerçekleştirilmesi

Bu çalışmada tasarlanan filtre için uygun yapay zeka tekniği olarak bulanık kontrol düşünüldü ve kontrol sistemi gerçekleştirildi.

Filtre performansı için endüstriyel sıvının filtreden akış hızı ( $V_f-l/h$ ), sıvının

içerisindeki manyetik özellikli parçacık konsantrasyonu ( $mg/l$ ), filtrenin ve filtre matrisinin boyu ( $l$ ), filtre matrisi içerisindeki elemanların şekli, büyüklüğü ve manyetik özelliği, filtrenin gövdesini oluşturan maddenin manyetik özelliği, filtre bobininin sarım şekli ve sayısı, bobine uygulanan akım gibi pek çok faktör önemlidir.

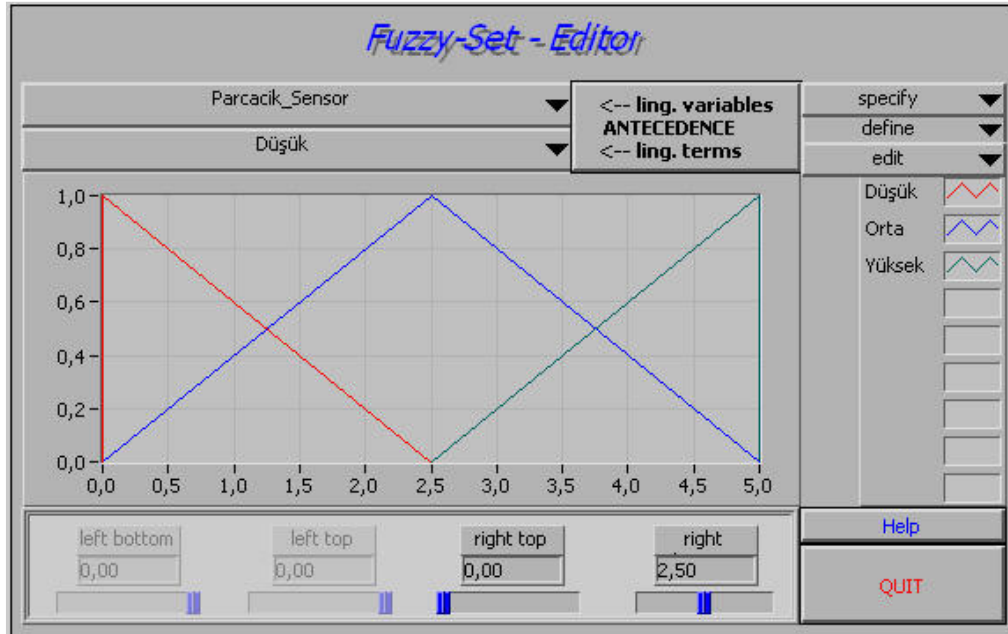
Yapılan çalışmada endüstriyel sıvının akış hızı ve sıvı içerisindeki parçacık miktarlarına göre filtre performansını yüksek tutmak için filtre bobininden geçen akımın kontrolü gerçekleştirildi.

Bulanık kontrolde giriş parametreleri olarak endüstriyel sıvının akış hızı ( $V$ ) ve sıvının içerisindeki manyetik özellikli parçacık miktarı ( $S_I$ ), çıkış parametresi olarak da filtre bobinine uygulanan akımı kontrol eden PWM referans gerilimi ( $U$ ) seçilmiştir.  $S_I$ ,  $V$  ve  $U$  için oluşturulan dilsel ifadeler Çizelge 7.1’de verilmiştir.

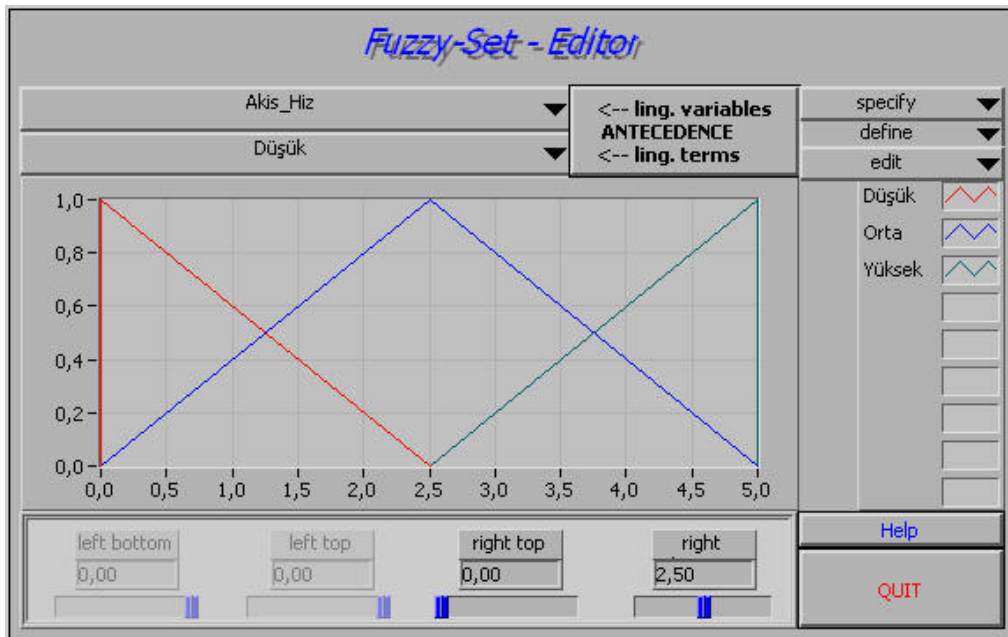
**Çizelge 7.1.** Giriş – çıkış parametreleri ve dilsel ifadeleri

Parçacık Sensörü 1 ( $S_I$ ) ( $mg/l$ )		Sıvının akış hızı ( $V_I$ ) ( $l/h$ )		PWM Referans gerilimi ( $U$ ) ( $V$ )	
Düşük	0-2,5	Düşük	0-2,5	Çok Düşük	0-1
Orta	0-2,5-5	Orta	0-2,5-5	Düşük	0-1-2
Yüksek	2,5-5	Yüksek	2,5-5	Normal	1-2-3
				Yüksek	2-3-4
				Çok Yüksek	3-4-5
				Çok çok Yüksek	4-5

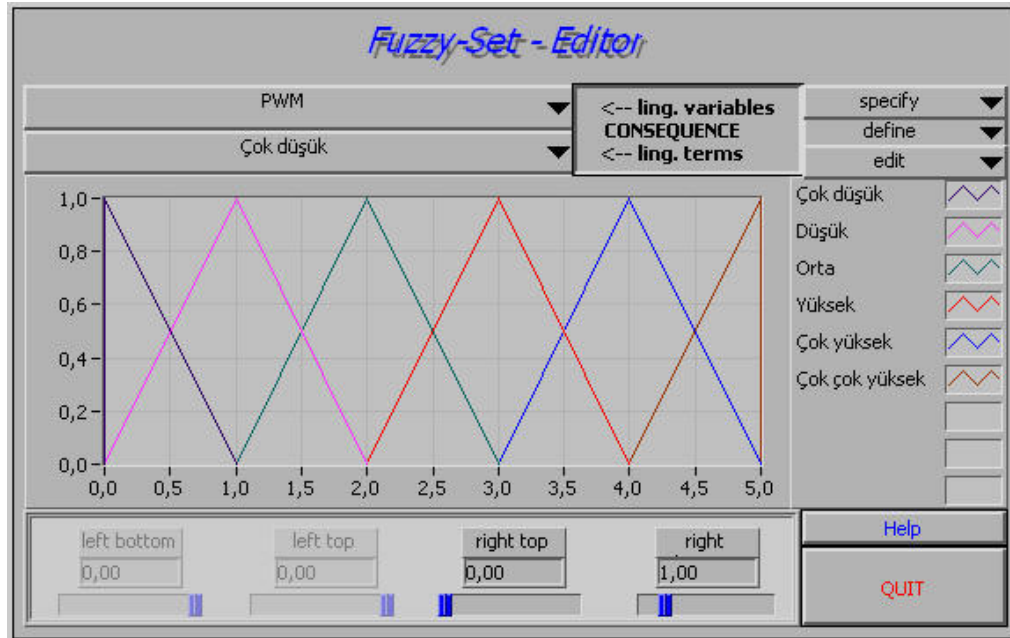
Çizelge 7.1’deki dilsel ifadeler için üçgen bulanıklaştırıcı kullanılmış olup sınır değerleri Çizelge 7.1’de belirtilmiştir. Üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri, kontrol için kullanılacak olan *Labview Fuzzy Control Toolkit* yazılımında tanımlanmıştır.  $S_I$  parametresi için bu değerler ve grafiği Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Diğer parametreler için de benzer şekilde üyelik dereceleri ve fonksiyonları oluşturulmuştur (Şekil 7.2 ve Şekil 7.3).



Şekil 7.1. Parçacık konsantrasyon sensörü ( $S_1$ ) üyelik fonksiyonları



Şekil 7.2. Sıvının akış hızı ( $V$ ) üyelik fonksiyonları



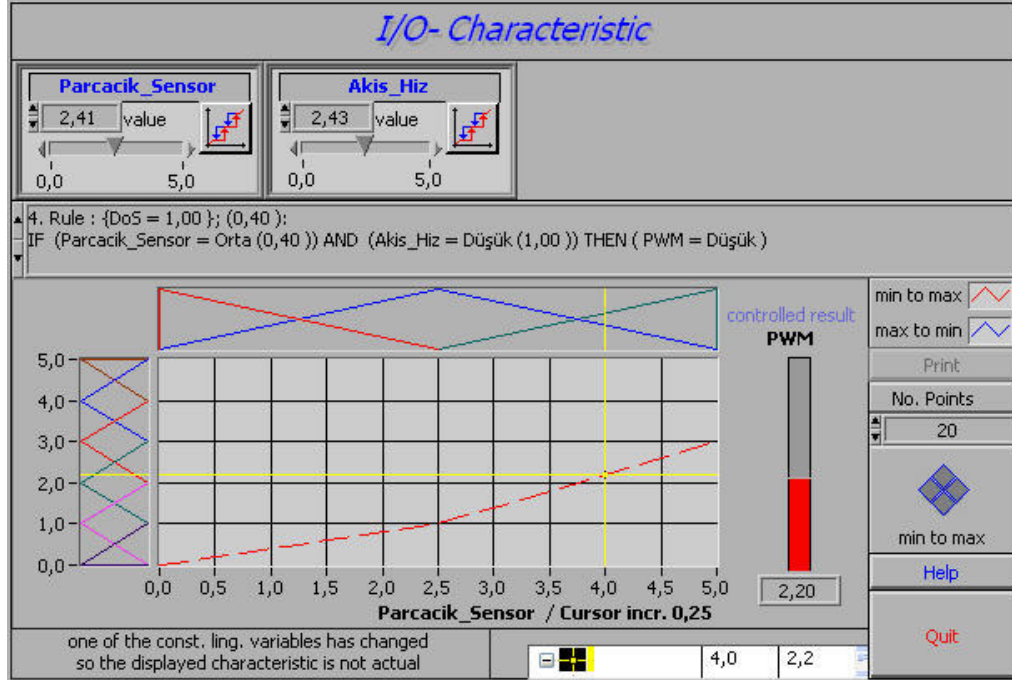
Şekil 7.3. PWM referans gerilimi (U) üyelik fonksiyonları

Giriş ve çıkış parametrelerinin dilsel ifadelerinin fonksiyonları *Labview Fuzzy Control Toolkit* yazılımının *Fuzzy Set Editor*'ü kullanılarak ve kurallar tabanı ise aynı yazılımın *Rulebase Editor*'ü kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 7.4).

Rule-Nr.	IF	THEN	With	Defuzzification Method
1	Düşük Düşük	Çok	1,00	Center of Maximum
2	Düşük Orta	Düşük	1,00	Center of Maximum
3	Düşük Yüksek	Orta	1,00	Center of Maximum
4	Orta Düşük	Düşük	1,00	Center of Maximum
5	Orta Orta	Orta	1,00	Center of Maximum
6	Orta Yüksek	Yüksek	1,00	Center of Maximum
7	Yüksek Düşük	Yüksek	1,00	Center of Maximum
8	Yüksek Orta	Çok	1,00	Center of Maximum
9	Yüksek Yüksek	Çok çok	1,00	Center of Maximum

Şekil 7.4. Kurallar tabanı

Bulanık kontrolün çalışması Şekil 7.5’de görülen şekilde test edildi.

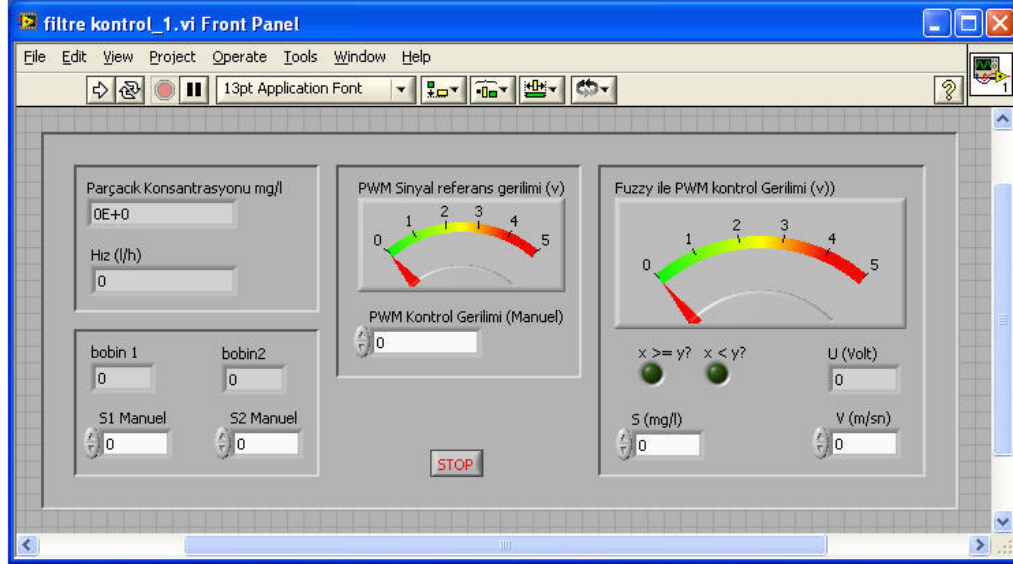


Şekil 7.5.  $S_I=2,41$  mg/l,  $v=2,43$  (x.100) l/h için  $U=2.20$  V test görüntüsü

### 7.1.2 Labview kontrol yazılımı

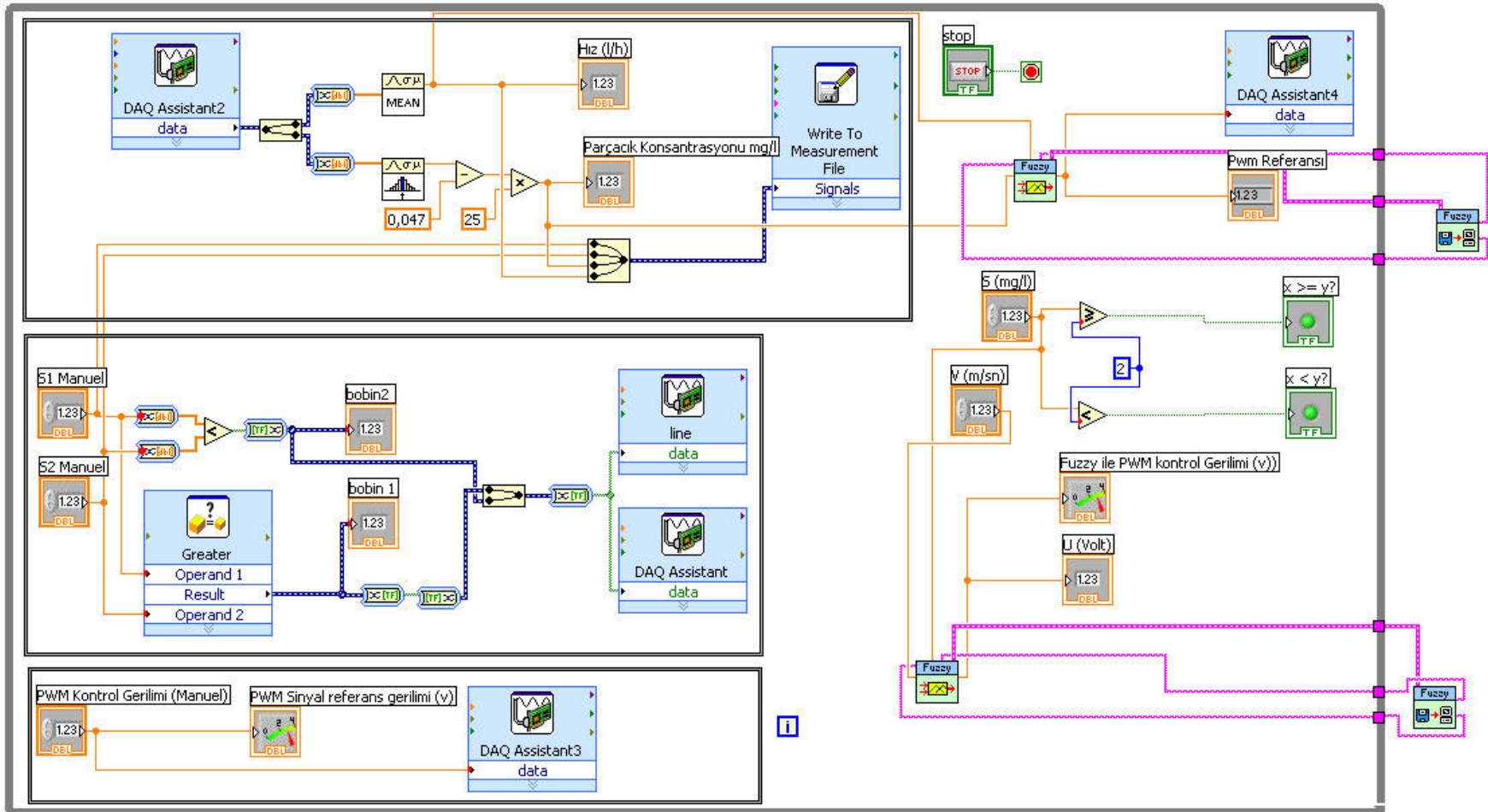
Labview ile kontrol yazılımı yapıldı. PWM kontrol referans gerilimi elle girilebilecek şekilde ve bulanık kontrol ile çıkış verecek şekilde tasarlandı. Ön panelde hangi bobinlerin çalıştığı, el ile sensörlerin bilgilerinin girişlerinin bulunduğu fonksiyonel bir yazılım gerçekleştirildi. Geliştirilen kontrol yazılımının ön panel görüntüsü Şekil 7.6’da verilmiştir.





**Şekil 7.6.** Tasarlanan sistemin *Labview* ön paneli

Aynı zamanda sistem çalışırken sensör verilerini zaman bilgisini ve bobinlerin çalışma sırasını bilgisayara lvm uzantılı olarak kayıt yapacak yazılım da yapıldı Şekil 7.7’de de *Labview* yazılımının blok diyagramı görüntüsü verilmiştir.

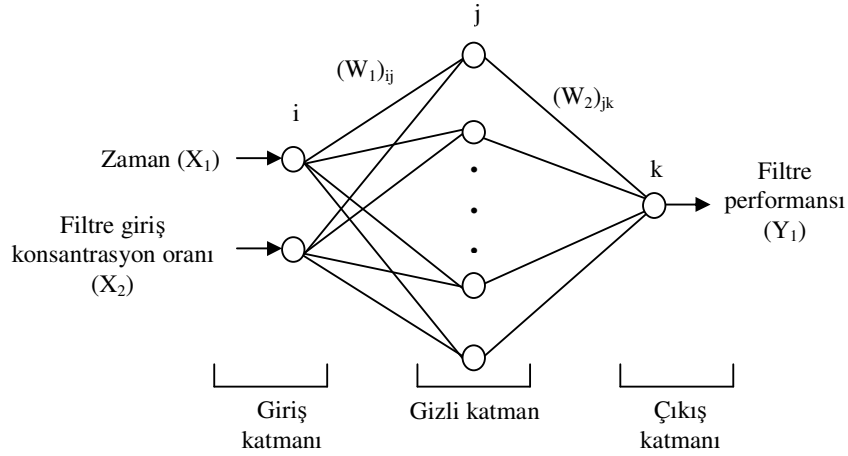


Şekil 7.7. Tasarlanan sistemin Labview Blok Diyagram görüntüsü

## 7.2 Matlab yazılımı

“*Matlab*” programı (*MATrix LABORatory*'nin ilk üç harfleri alınarak isimlendirilmiştir.) mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve simülasyonlarının çoğunun gerçekleştirildiği matris ve matematik tabanlı kompleks bir programdır. Her türlü grafiksel sonuçlar istenilen tarzda alınabildiği için kullanım alanı çok geniştir.

Yazılımın *Fuzzy Logic*, *Neural Network* ve *Genetic Algorithm Toolbox*'lerinin da olduğu 7.4 sürümü YSA ile model oluşturmada kullanılmıştır. Bu ‘de çalışmada referans değerlerini elde etmede kullanılan ağ yapısı Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 7.8.** Bu çalışmada kullanılan YSA yapısı

*Back Propagation* (BP) eğitim algoritması bir rampa iniş algoritmasıdır. BP algoritması, rampası boyunca ağırlıkları değiştirmek suretiyle toplam hatayı küçülterek ağı performansını iyileştirmek için çalışır. Test edilen karesel hatalar ortalaması (MSE) değerleri azalmayı durdurulduğu ve aşırı eğitimin bir işareti olan artış başlatıldığı zaman eğitim durdurulur. Ağı tahmin edilen performansları formül 7.1-7.4 ile hesaplanarak MSE, karesel hatalar toplamı (SSE), çoklu belirleme

istatistiksel katsayısı veya korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama nispi hata (MRE) değerleri ile değerlendirilir.

$$MSE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - O_i)^2 \quad (7.1)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (d_i - O_i)^2 \quad (7.2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \quad (7.3)$$

$$MRE(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( 100 \times \frac{|d_i - O_i|}{d_i} \right) \quad (7.4)$$

Burada  $d_i$  hedeflenen veya gerçek değer,  $O_i$  ağ çıkış veya tahmin edilen değer,  $n$  çıkış verileri sayısı.

### 7.2.1 Deneysel verilere yapay sinir ağı uygulanması

Yazılımı gerçekleştirilen YSA'nın amacı zamana göre MF' ye giren ve çıkan parçacık miktarlarına bağlı olarak MF performansının tahmin edilmesidir.

Deneysel çalışmadan elde edilen veri seti eğitim ve test veri seti olarak ikiye bölünmüştür. Deneysel veriler rasgele alınan değerler ile azaltılmıştır. Azaltılan bu değerler toplam olarak 81 adet değerden oluşmaktadır. YSA'nın eğitiminde, bu verilerden rasgele seçilmiş 55 (toplam verilerin %68) adedi kullanılmıştır. Geriye kalan 26 (toplam verilerin %32) veri de performans testi için kullanılmıştır.

Bu çalışmada; bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanı (şekil 7.8) içeren geri beslemeli ağ yapısı kullanıldı. YSA yapısı oluşturulduktan sonra deneysel çalışmada elde edilen veriler eğitim karakteristiğini iyileştirmek için 0 ile 1 değer kümesi içinde normalize edildi. Bir  $X$  veri kümesinin  $[0,1]$  arasında normalize işlemine tabi tutulması için o kümenin  $X_{min}$ ,  $X_{max}$  değerleri bulunur ve denklem 7.5 yardımıyla normalize edilir.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (7.5)$$

Buna göre  $X_{norm}$  normalize edilmiş değer aralığı elde edildi. Eğitim işleminde BP algoritması kullanıldı. Gizli ve çıkış katmanları nöronlar olarak doğrusal olmayan işlem birimlerinden oluştuğu için bu çalışmada *Tangent-Sigmoid* (TANSIG) transfer fonksiyonu seçilmiştir.

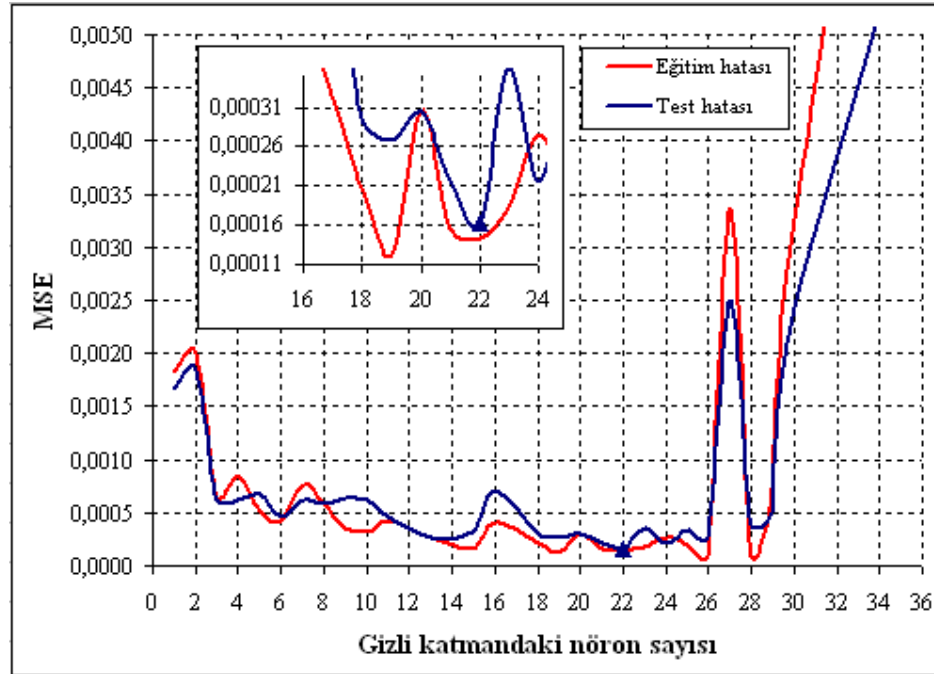
Bağlantı ağırlıkları eğitim işleminin başlangıcında ilk kullanım için rasgele hazırlandı. Eğitim işleminde, öğrenme oranı ( $\alpha$ ) ve eğitim hızı katsayısı ( $\beta$ ) her ikisinde de 0,3 olarak kullanıldı.

Ağ, hedef çıkış ile kabul edilebilir ağ çıkışı arasındaki farkların karelerinin ortalaması olarak tanımlanan hataya kadar eğitildi. Bu çalışmada MSE  $1 \times 10^{-4}$  olarak seçildi. Eğer MSE değeri  $1 \times 10^{-4}$ 'den daha büyük olursa ağ, MSE gerekli toleransa ulaşıncaya kadar tüm giriş verileri boyunca tekrar çalışır. Ayrıca hata değerinin gerekli toleransa ulaşması yanında ağın çalışması, istenen iterasyon sayısına ulaşıncaya da durdurulur.

Tahmin edilen YSA performansı MSE, SSE, MRE ve  $R^2$  kullanılarak değerlendirildi. Önerilen YSA modeli, *Matlab NNTool* kullanılarak geliştirilen bir bilgisayar yazılımı tarafından çözüldü.

## 7.2.2 Gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi

YSA parametre değerleri, örneğin öğrenme oranı, moment katsayısı, gizli katmandaki nöron sayısı MSE'ye göre seçilmiştir (Şekil 7.9).



**Şekil 7.9.** Gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi

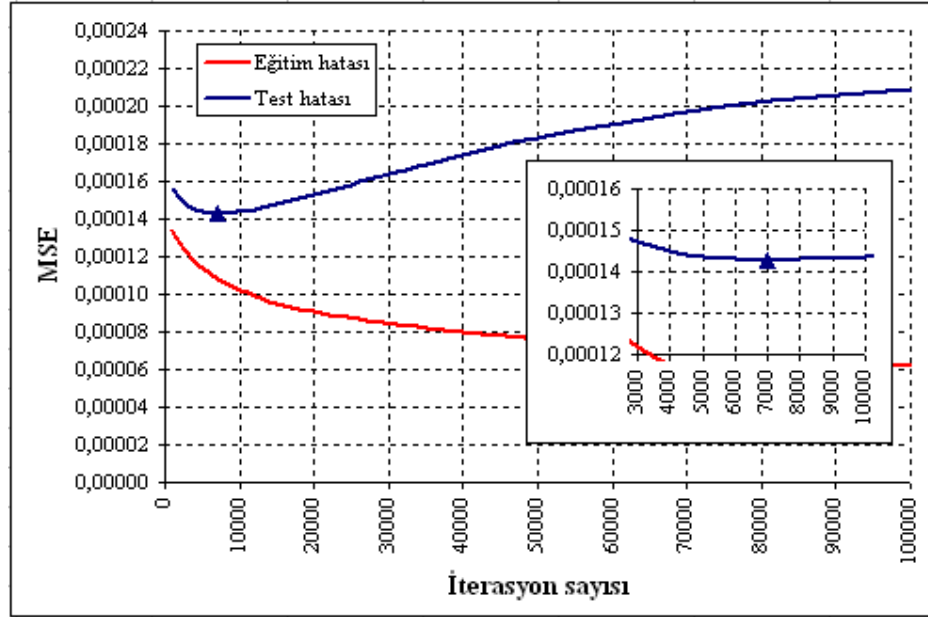
Gizli katmandaki en uygun nöron sayısı farklı ağlar denemek suretiyle yapılır. Gizli katmandaki bu nöronların sayısı deneme yanılma metodu ile 1 den 50'e kadar artırılarak belirlenmiştir. SSE, MRE ve  $R^2$  istatistiksel değerler Çizelge 7.2'de verilmiştir. Şekil 7.9 ve Çizelge 7.2'de görüldüğü gibi en uygun (en düşük hata değerinin elde edildiği) YSA yapısı, 2-22-1 nöronlardan oluşan bir mimariye sahip olarak tasarlandı.

**Çizelge 7.2.** Gizli katmandaki çeşitli nöron sayıları ile ağ performansı

Gizli katmandaki nöron sayısı	Eğitim			Test		
	SSE	MRE(%)	R <sup>2</sup>	SSE	MRE(%)	R <sup>2</sup>
5	0.001000	2.249585	0.999338	0.000618	2.062231	0.999476
10	0.000612	1.660939	0.999385	0.000573	2.174656	0.999678
15	0.000327	1.594445	0.999682	0.000296	1.342513	0.999828
20	0.000603	2.055131	0.999698	0.000282	1.467001	0.999683
21	0.000307	1.590879	0.999781	0.000203	1.363874	0.999839
22	<b>0.000213</b>	<b>1.189080</b>	<b>0.999858</b>	<b>0.000133</b>	<b>1.004543</b>	<b>0.999888</b>
23	0.000359	1.692922	0.999637	0.000335	1.346853	0.999811
24	0.000539	1.933125	0.999784	0.000200	1.257958	0.999717
25	0.000385	1.183700	0.999666	0.000311	1.554452	0.999798
30	0.006421	7.697174	0.997448	0.002262	4.285278	0.996489
40	0.028205	15.662065	0.991826	0.008456	8.356691	0.986682
50	0.028039	12.799860	0.986758	0.014499	11.228775	0.987300

### 7.2.3 Uygun iterasyon sayısının belirlenmesi

Tasarlanan YSA'da gizli katmandaki optimum nöron sayısına göre en uygun iterasyon sayısını bulmak için 1 den 100000 iterasyon'a kadar deneme yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda YSA performansının MSE ile en uygun olan iterasyon sayısı tespit edilmiştir. Böylece YSA için en uygun iterasyon sayısı olarak 7000 alınmıştır (Şekil 7.10).

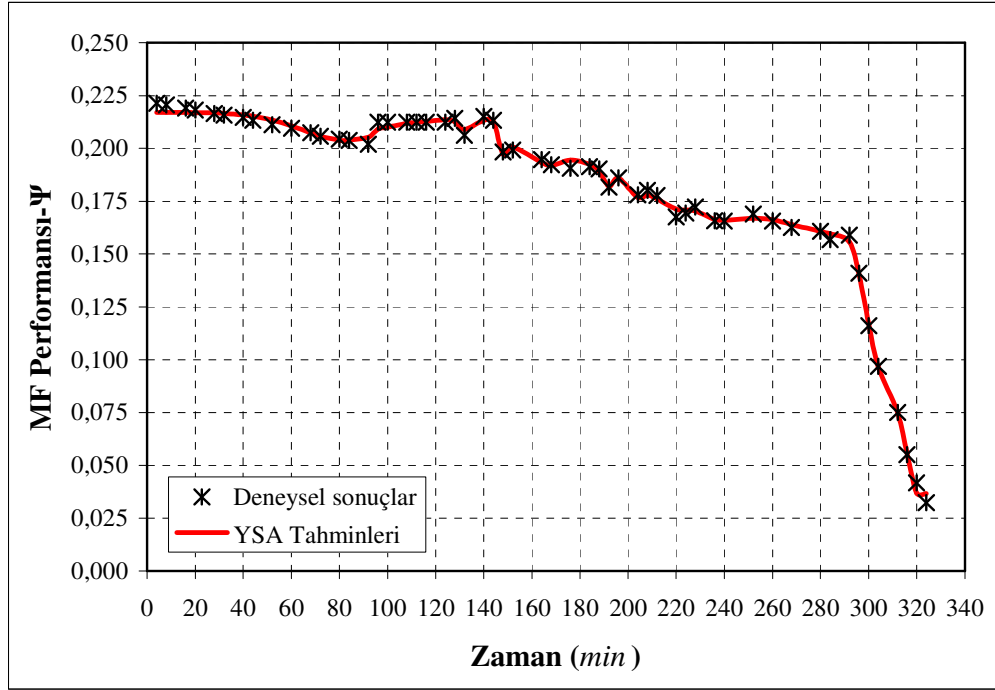


Şekil 7.10. MSE'ye göre gizli katmandaki 22 nörona göre en uygun iterasyon sayısı

#### 7.2.4 YSA tahmin değerleri ile deneysel sonuçların karşılaştırılması

İnceleme sonucuna göre, 2–22–1 nöron ve 7000 iterasyona sahip olan optimum YSA oluşturulmuştur. Oluşturulan YSA ile MF performansı tahmin değerleri elde edilmiştir. YSA'dan elde edilen MF performans sonuçları ile deneysel MF performans verileri zamana göre ve birbirleri arasında karşılaştırılmıştır (Şekil 7.11, Şekil 7.12).

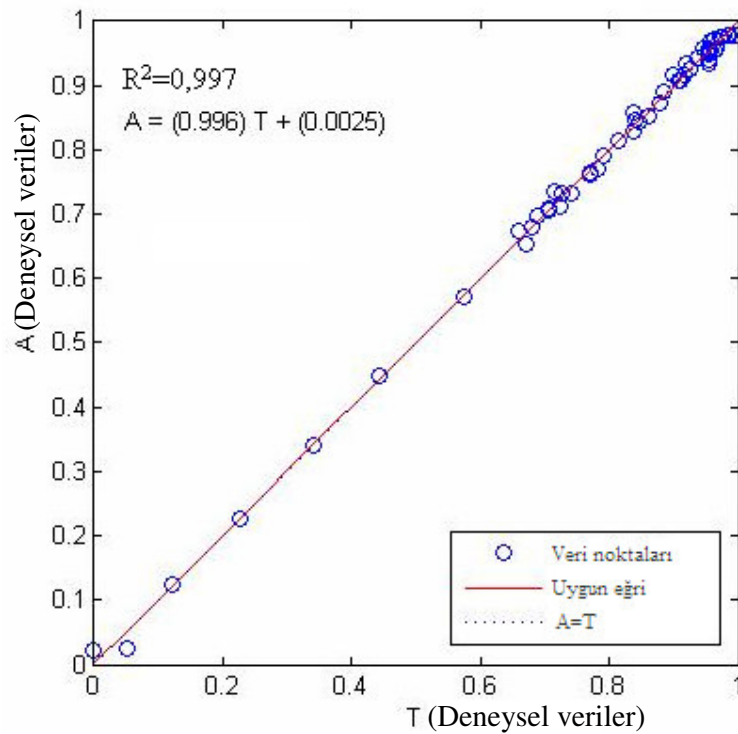




**Şekil 7.11.** Zamana göre, deneysel veriler ile YSA eğitim tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Minimum hataya sahip olan en iyi yaklaşım 22 nöronlu BP algoritması ile oluşturulur. Yaklaşımı kullanılarak matematiksel bir formül türetildi (denklem 7.6). Bu çalışmada kullanılan MF performansını (MFP) hesaplamak için türetilen formül 7.6 kullanıldı.

$$MFP = \frac{2}{1 + \exp \left( -2 \cdot \left( \begin{array}{l} -0,26703 \cdot F_1 - 0,32882 \cdot F_2 + 0,058482 \cdot F_3 - 0,067535 \cdot F_4 \\ -0,14298 \cdot F_5 + 0,39983 \cdot F_6 + 0,1214 \cdot F_7 + 0,028076 \cdot F_8 - \\ 0,050192 \cdot F_9 + 0,13084 \cdot F_{10} + 0,51059 \cdot F_{11} - 0,090555 \cdot F_{12} \\ + 0,063474 \cdot F_{13} + 0,12802 \cdot F_{14} - 0,35229 \cdot F_{15} - 0,43831 \cdot F_{16} \\ - 0,24969 \cdot F_{17} + 0,60916 \cdot F_{18} - 0,02269 \cdot F_{19} + 0,18629 \cdot F_{20} \\ + 0,050638 \cdot F_{21} - 0,084437 \cdot F_{22} \end{array} \right) \right)} - 1 \quad (7.6)$$



**Şekil 7.12.** Şekil 7.11’de verilen deneysel ve YSA sonuçları regresyon grafiği

Bu çalışmada bu yaklaşım için kullanılan transfer fonksiyonu denklem 7.7’de verilen TANSIG transfer fonksiyonudur.

$$F_j = \frac{2}{1 + e^{(-2 * NET_j)}} - 1 \quad (7.7)$$

Burada denklem 7.7 için  $NET_j$ ,  $X_1$  ve  $X_2$ ’ye bağlı olarak denklem 7.8’de verilmiştir.

$$NET_j = (W_1)_{i,1} * X_1 + (W_1)_{i,2} * X_2 \quad (7.8)$$

Burada; 22 nöronlu BP algoritması için bağlantı ağırlık değerleri  $(W_1)_{i,j}$  olan sabitler Çizelge 7.3’de verilmiştir. Yukarıda verilen formülde  $NET_j$ , giriş parametreleri ile onların ağırlıklarının çarpımlarının toplamıdır. Alt simgeler olan  $i$  ve  $j$  sırasıyla giriş ve gizli nöron numaralarıdır.

Burada zaman ( $X_1$ ) ve manyetik parçacık miktarı ( $X_2$ ) olmak üzere iki giriş parametresidir. YSA’da 22 gizli nöron kullanıldı. Bu yüzden  $NET_1$ - $NET_{22}$  ve  $F_1$ - $F_{22}$

olmak üzere 22 şer adet denklem parçası sırasıyla toplam ve etkinleştirme fonksiyonları olarak kullanıldı.

**Çizelge 7.3.** Denklem 7.8 için bağlantı ağırlıkları

Gizli katmandaki nöron sayısı	$X_1$ için $W_1$	$X_2$ için $W_2$
1	-9.3832	-9.1173
2	5.7024	11.9300
3	-12.7850	2.7627
4	4.9620	-12.1600
5	-8.2388	-10.3150
6	-8.2748	-9.9440
7	0.8268	-13.0900
8	10.8740	7.2873
9	11.0290	7.1667
10	-12.9100	-2.6235
11	10.9380	-7.2809
12	-13.1250	0.4853
13	11.0600	7.2054
14	3.8583	12.5880
15	10.9220	7.5632
16	-8.1039	10.3270
17	5.0544	12.2100
18	-13.2080	-0.5245
19	-0.8914	13.0750
20	4.6892	-12.2640
21	-12.3050	4.5900
22	-1.0572	13.0910

### 7.2.5 YSA çalışması ile elde edilen sonuçlar

Bu çalışmada; MFP'yi tahmin için bir YSA modeli geliştirildi. YSA eğitim tahminleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması Şekil 7.11'de verilmiştir. Ayrıca YSA tahminlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi için regresyon eğrisi Şekil 7.12'de gösterilmiştir.

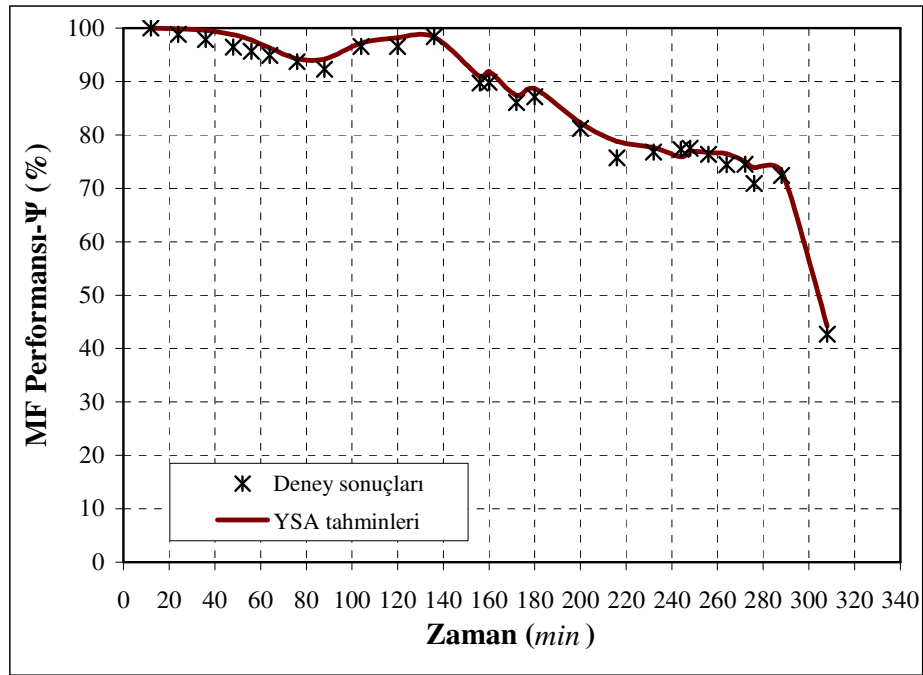
YSA'nın tahmin performansı, tahmin edilen ve deneysel veriler arasında regresyon analizi ile değerlendirildi. YSA modelinin tahminini doğrulamak amacıyla, karesel hatalar toplamı (SSE), korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve nispi hata ortalaması (MRE) dikkate alındı. YSA tahminleri eğitim seti için korelasyon katsayısı 0,999888, karesel hatalar toplamı 0,000212 ve nispi hatalar ortalaması 1,189080 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.4). SSE,  $R^2$  ve MRE değerleri kabul edilebilir oranlardadırlar.

**Çizelge 7.4.** Eğitim veri seti için istatistiksel sonuçlar

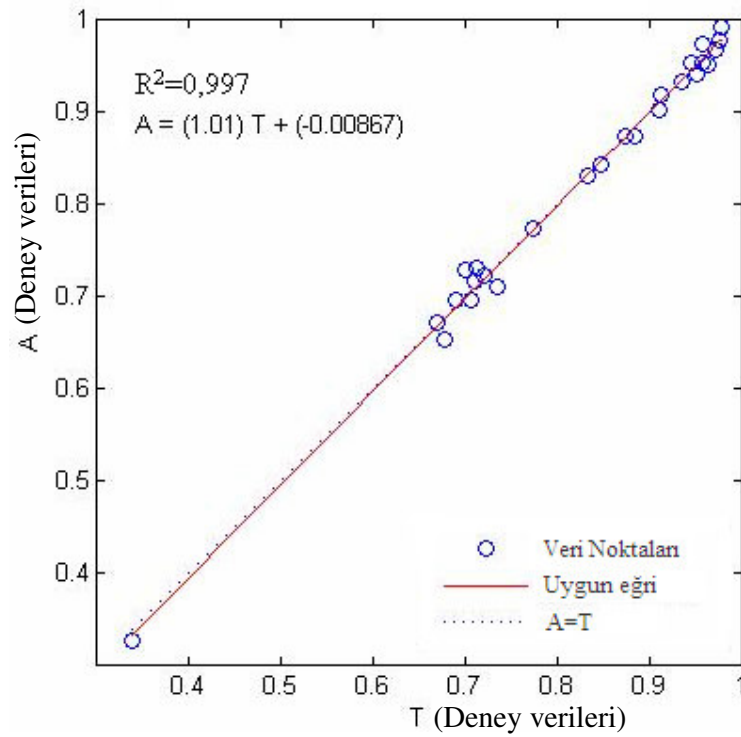
	MSE(%)	SSE	$R^2$	MRE(%)
<b>MFP</b>	0.000108	0.000212	0.999888	1.189080

MF Performansı test veri seti için deneysel ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması Şekil 7.13'de gösterilmiştir. Şekil 7.13'e dikkat edilirse karşılaştırmalarda, deneysel çalışma ile elde edilen, veri setinden rasgele seçilen, eğitim sürecinde ağa tanıtılmayan sadece test veri seti değerleri kullanılmıştır.

MF performansı için YSA'nın tahmin değerleri ve deneysel ölçüm değerleri arasında regresyon grafiği Şekil 7.14'te gösterilmiştir. Korelasyon katsayısı 1'e yaklaştıkça tahmin doğruluğu iyileşir. Çalışmada sunulan durumda, YSA tahmin sonuçları ile deneysel ölçüm değerleri arasında mükemmel kabulü belirten korelasyon katsayıları 1'e çok yakın olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.13. Zamana göre, deneysel veriler ile YSA test tahmin değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.14. Şekil 7.13'teki verilen deneysel veriler ile YSA sonuçları regresyon grafiği

YSA tahminleri test seti için korelasyon katsayısı 0,999857, karesel hatalar toplamı 0,000132 ve nispi hatalar ortalaması 1,004543 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.5). SSE,  $R^2$  ve MRE değerleri de kabul edilebilir oranlardadırlar.

**Çizelge 7.5.** Test veri seti istatistiksel sonuçlar

	MSE(%)	SSE	$R^2$	MRE(%)
<b>MFP</b>	0.000142	0.000132	0.999857	1.004543

Şekillerde görüldüğü gibi tahmin sonuçları, deney sonuçlarına çok yakındır. Deneysel ve tahmin sonuçları arasındaki sapma oldukça küçüktür ve her bir MF performansı için göz ardı edilebilir seviyededir.

Ayrıca istatistiksel analiz için ana kütle aynı ancak iki farklı yöntem uygulandığı için eşlenik  $t$  testi uygulanmıştır. %95 güven aralığında yapılan  $t$ -testi sonucuna göre YSA tahmin sonuçları ve deneysel ölçüm sonuçları arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Bu istatistiksel analizde %99 gibi yüksek ve güvenilir bir oranda anlam düzeyi ile biri birlerini temsil edebilecekleri Çizelge 7.6'da görülmektedir.

**Çizelge 7.6.** Eşlenik  $t$ -testi

$t$	df	Güven derecesi	Ortalama fark	Std. Hata	95% Güven Aralığı	
					En düşük	En yüksek
0,012	108	<b>0,990</b>	0,046648	3,900048	-7,683925	7,777221

YSA ile yapılan çalışmada; bulanık kontrolde sınır değerlerini belirlemek için kullanılacak optimum manyetik filtre performansı belirlenmiştir. Burada belirlenen filtre performansına karşılık gelen çıkıştaki manyetik parçacık konsantrasyon değeri belirlenmekte ve bu değer sensörden gelen değerle karşılaştırılmak üzere referans olarak alınmaktadır. Belirlenen bu referans değerine göre birinci filtre matrisi kendini

temizlemeye geçerken ikincisi sıvıyı temizlemeye başlamakta ya da çalışma rejimine göre tam tersi olmaktadır.

## **8 DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Gerçekleştirilen deney düzeneğinde öncelikle gerçekleştirilen parçacık sensörü çalıştırıldı. Sonra sistem komple çalıştırılarak testi yapıldı. 6 mm, 8 mm ve 14 mm çaplı filtre elemanları ile deneyler yapıldı.

Sistemin çalışma prensibi, deneysel çalışmalar ve YSA ile model oluşturma aşamaları aşağıda verilmiştir.

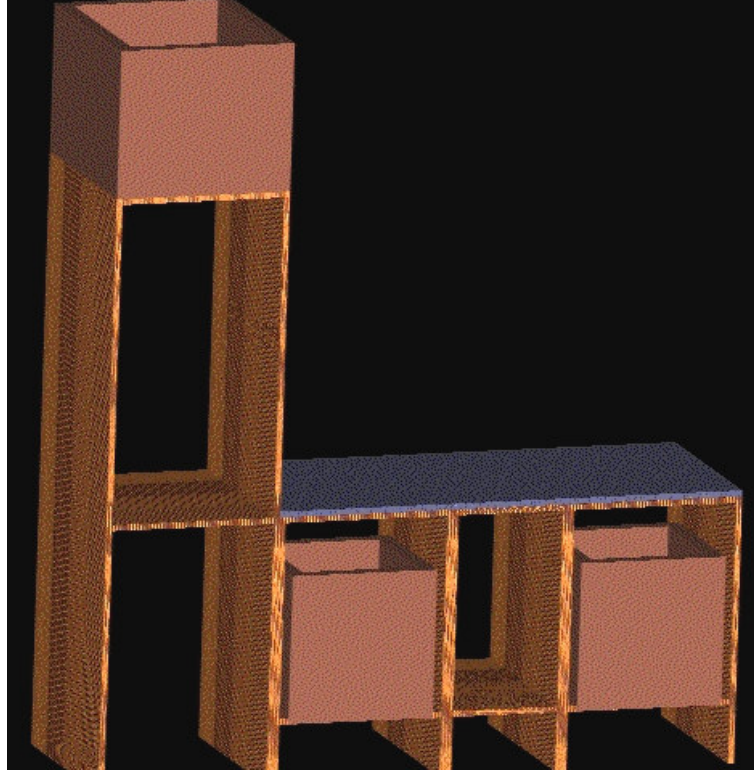
### **8.1 Çalışma Prensibi**

Sistem taşıyıcı gövde üzerinde kurulmuştur. Kurulan sistemin çalışma prensibi için deney düzeneği tasarlanıp gerçekleştirilmesi aşamalarından sonra çalışma prensibi anlatılmıştır.

#### **8.1.1 Deney düzeneği tasarımı**

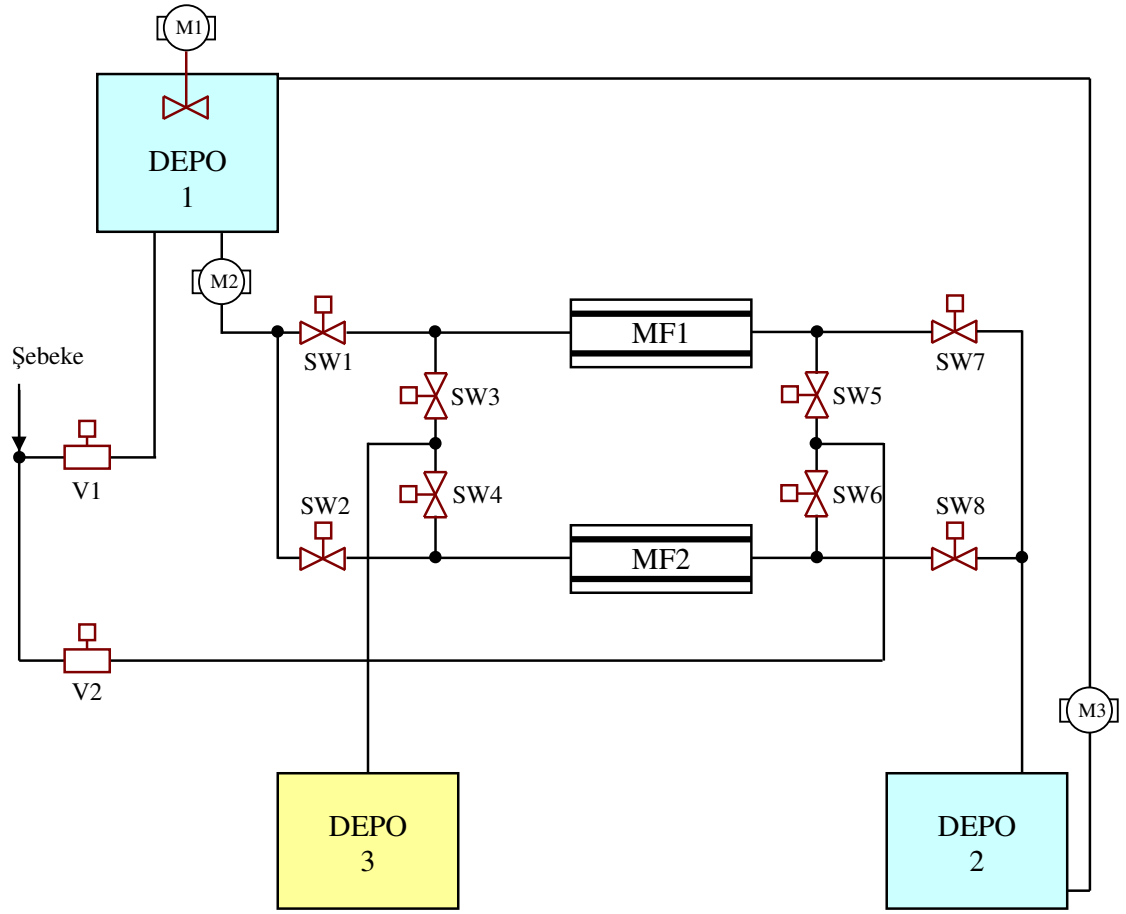
Deneylerin hem açık hem de kapalı çevrim ile yapılabilmesi için Şekil 8.1'deki gibi depoların ve diğer sistem elemanlarının yerleştirileceği taşıyıcı tasarlandı. Bu gövdenin tablasının üstü asit korozyonlarına karşı dayanıklı granit, bunun dışındaki tüm aksamaları paslanmaz krom-nikel çelik olmak üzere gerçekleştirildi.





**Şekil 8.1.** Deney düzeneği taşıyıcısı

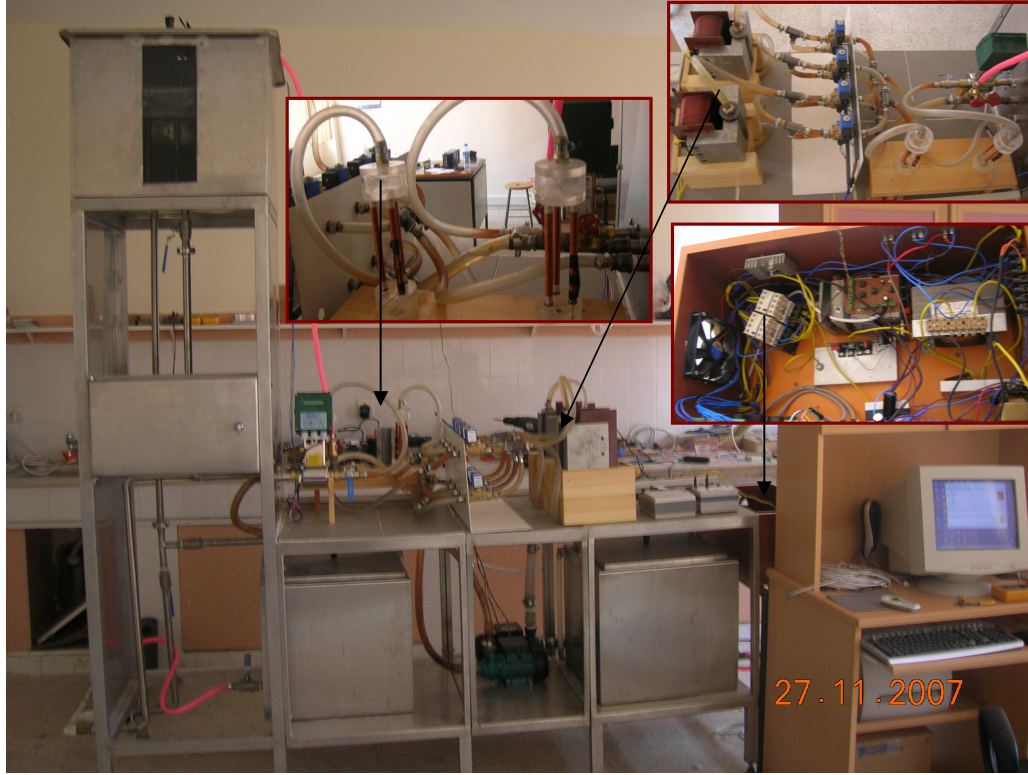
Deneylerde normal şebeke suyunun kullanılması düşünüldü. Aynı zamanda şebeke suyu ile filtrenin de temizlenmesi amaçlandı. Bunun için uygun tesisat bağlantıları tasarlandı. Hem endüstriyel sıvının hem de filtrenin temizlenebilmesi rejimine uygun çift filtre matrisi kullanıldı. Kapalı çevrim olarak da çalışabilmesi için uygun depolar ve iki adet pompa yerleştirildi. Filtrenin giriş ve çıkışının parçacık konsantrasyonları için iki adet konsantrasyon sensörleri bağlandı. Temizlenen sıvının filtreden çıkış hızı için akış metre bağlantısı yapıldı. Deneylerin yapılabilmesi için sıvının içersine manyetik parçacıklar ilave edilen depo (Depo1) içersine bir mikser yerleştirildi. Böylece süspansiyonun bir karıştırıcı ile karıştırılması sağlandı. Uygun rejimde çalışmayı sağlayabilmek için sekiz adet selenoit valf kullanıldı ve sistem Şekil 8.2'deki gibi gerçekleştirildi.



Şekil 8.2. Gerçekleştirilen sistemin yapısı

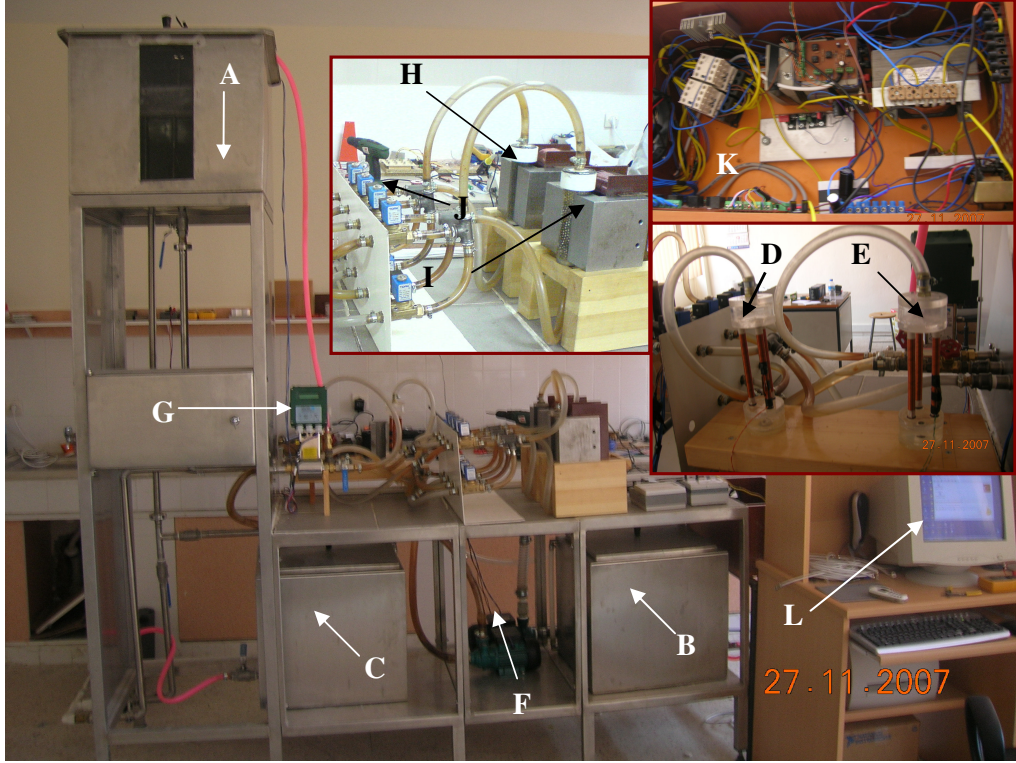
### 8.1.2 Deney düzeneğinin gerçekleştirilmesi

Deney düzeneği Şekil 8.3'te görüldüğü gibi tesisat, elektriksel bağlantılar, kontrol birimlerinin bağlantıları, gerçekleştirilen parçacık konsantrasyonu sensörleri, diğer sensörler ve bilgisayar bağlantıları yapıldı.



**Şekil 8.3.** Gerçekleştirilen deney düzeneği

Gerçekleştirilen filtre ve kontrol sisteminin denemesi ve kontrol edilmesi için Şekil 8.4’de verilen deney düzeneği kuruldu.



**Şekil 8.4.** Gerçekleştirilen sistem ve birimleri

Kurulan deney düzeneğinin çalışma prensibi şu şekildedir:

Şebeke suyu ile *A* deposu doldurulur. *A* deposu içerisine manyetik parçacıklar belli ölçüler ile (deneyin süresi vb. kriterlerine göre) konulur. *A* deposu içerisinde bulunan mikser ile oluşturulan süspansiyon karıştırılır. *F* pompası ile *A* deposundaki sıvı belli bir hız ayarı yapılarak (veya deney işlemine göre yapılmadan) sisteme pompalanır. Pompalanan sıvı *G* akış metresinden geçer. Borularla *J* selenoit valflara gelir. Buradan *D* sensör elemanı içerisinden geçer. Yazılım tarafından belirlenen kontrole bağlı olarak uygun filtre çalışma rejimine göre açık olan valflardan sıvı geçişi olur. Örneğin *I* filtresi için *J1* ve *J3* selenoit valfları çalışıyor olsun. Bu durumda *D* sensör elemanından gelen sıvı *I* filtre matrisinden geçer. *E* sensör elemanından geçerek *B* deposuna akar. Bu arada yazılım *L* bilgisayarından DAQ kartı aracılığıyla *K* kontrol biriminden sistemi denetler. *G* ve *D*, *E* sensör elemanlarının sinyallerine göre sistemi devam ettirir veya *H* filtresinin sıvıyı temizlemesi için uygun sistem elemanlarını çalıştırır. Bu geçiş aşamasında aynı anda *I* filtre bobinine 20 Hz'lik AC uygulanarak *I* filtresine ters yönde temiz şebeke suyu

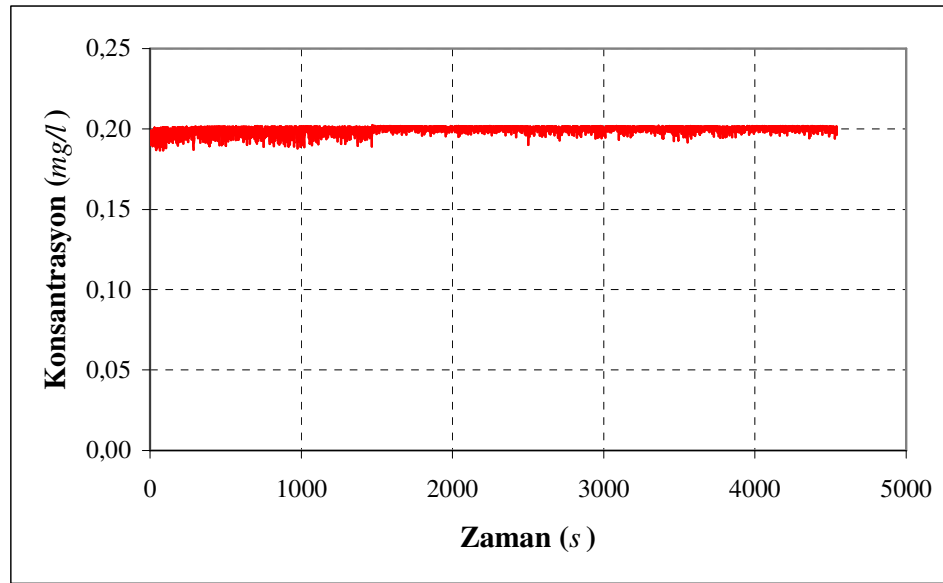
basıncılı olarak verilmiş olur. Histerisiz eğrisine göre artık mıknatısiyetin sıfırlandığı alanlarda filtre elemanları içersinde tutulan parçacıklar C deposuna boşaltılır. Böylece filtre yeniden kullanılmak üzere hazırlanmış olur. Denemeler sonucu bu AC uygulama zamanı yaklaşık olarak 30 dk olarak belirlenmiştir. Sistem bu şekilde 1 periyodunu tamamlamış olur. Sistemin periyodunu tekrarlaması ile filtrenin çalışması sağlanmıştır.

## **8.2 Manyetik Filtre Kontrolü için Deneysel Çalışmalar**

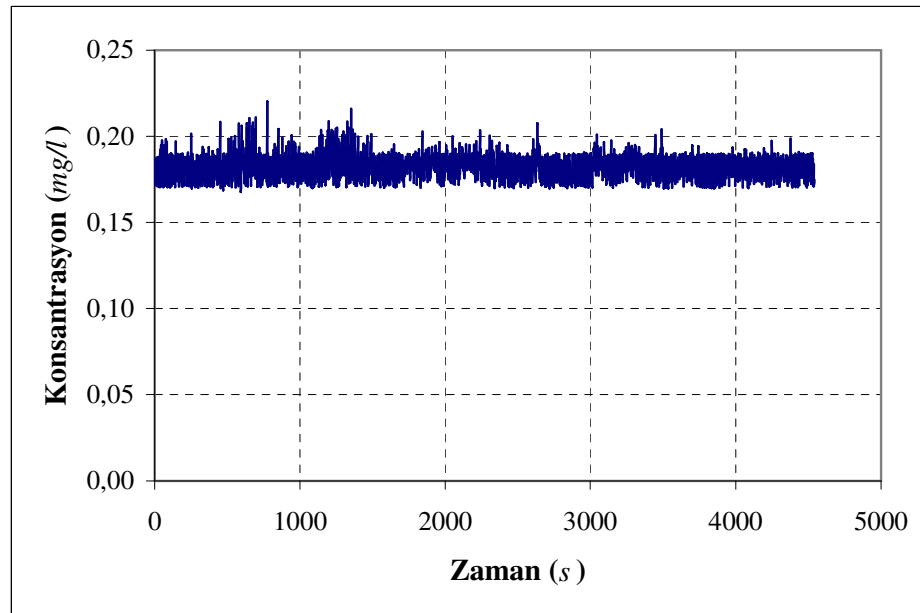
Öncelikle gerçekleştirilen konsantrasyon ölçme birimi çalıştırılarak kontrolü yapıldı. Sonra 6 mm, 8 mm ve 14 mm çaplı filtre elemanları kullanılarak manyetik filtrenin çalışması deneyleri yapıldı. Konsantrasyon farkları ve filtre performansları kontrol edildi.

### **8.2.1 Sistemin temiz sıvı ile çalıştırılması**

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, filtre şebeke suyu ile ve bobinlerine enerji uygulanmadan çalıştırıldı. 6 mm çaplı filtre elemanları kullanılarak yapılan ölçümler ile gerçekleştirilen parçacık konsantrasyonu sensör verileri alındı. Alınan veriler ile zamana bağlı olarak şebeke suyu ile çalışan filtrenin girişindeki parçacık konsantrasyonu Şekil 8.5'deki ve filtrenin çıkış konsantrasyonu Şekil 8.6'daki grafikler elde edildi.



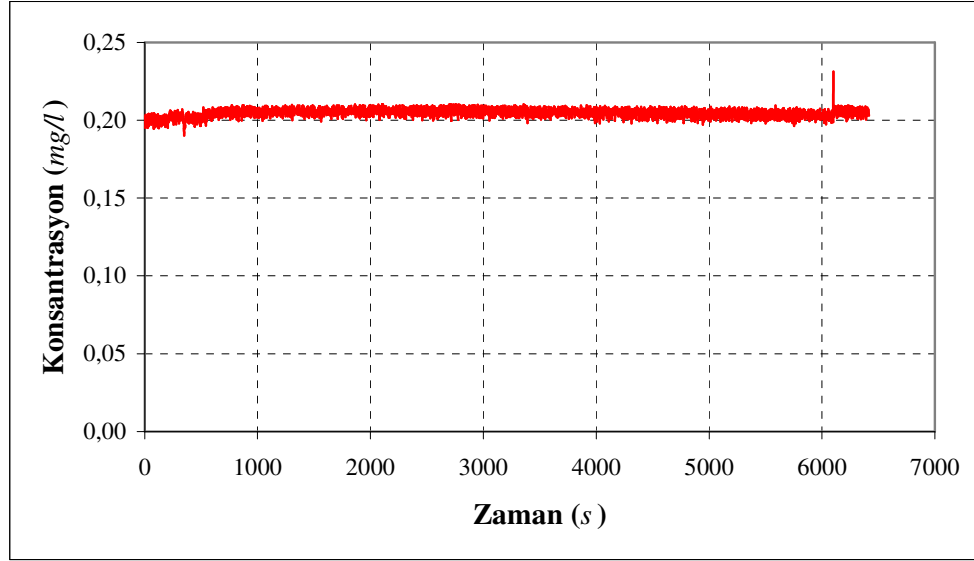
**Şekil 8.5.** Şebeke suyu ile çalışan filtrenin girişindeki parçacık konsantrasyonu



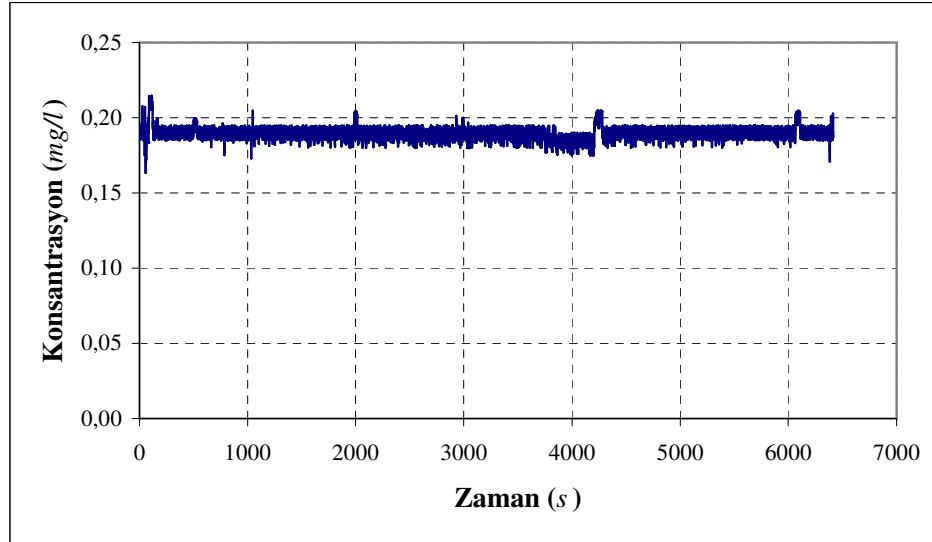
**Şekil 8.6.** Şebeke suyu ile çalışan filtrenin çıkışındaki parçacık konsantrasyonu

Şebeke suyu ile 8 mm çaplı filtre elemanı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada filtrenin girişindeki konsantrasyonu Şekil 8.7'de ve filtrenin çıkışındaki

konsantrasyonu Şekil 8.8’de görüldüğü gibi bir önceki deneyde elde edilen sonuca çok yakın değerler elde edildi.



**Şekil 8.7.** Şebeke suyu ile çalışan filtrenin girişindeki parçacık konsantrasyonu



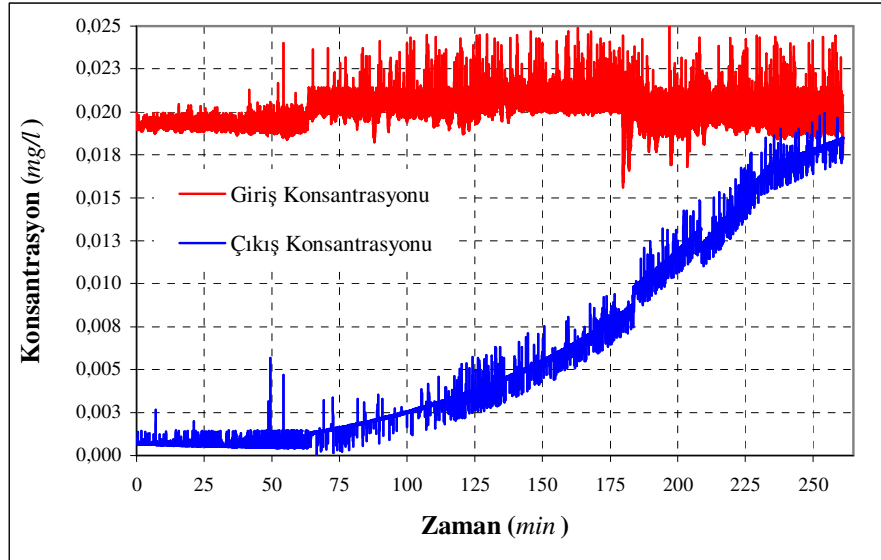
**Şekil 8.8.** Şebeke suyu ile çalışan filtrenin çıkışındaki parçacık konsantrasyonu

Bu iki farklı filtre elemanları ile konsantrasyon sensörü sonuçları Şekil 8.5-Şekil 8.8’de verilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi, şebeke suyu içerisindeki minerallerden dolayı sensörler çok küçük olan 0,18 mg/l -0,20 mg/l değerlerini

ölçmüşlerdir. Deneysel çalışmalar için bu değerlere göre sensörler ofset yapılarak kullanılmıştır.

### 8.2.2 6 mm çaplı filtre elemanları ile deneysel çalışma

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada,  $I=1A$ ,  $v=230$  l/h olarak sabit tutuldu. Yaklaşık 5 saat süren bir çalışma sürecinde parçacık konsantrasyonu sensörlerinin verileri bilgisayara kaydedildi. Elde edilen verilerden Şekil 8.9'daki grafik elde edildi.



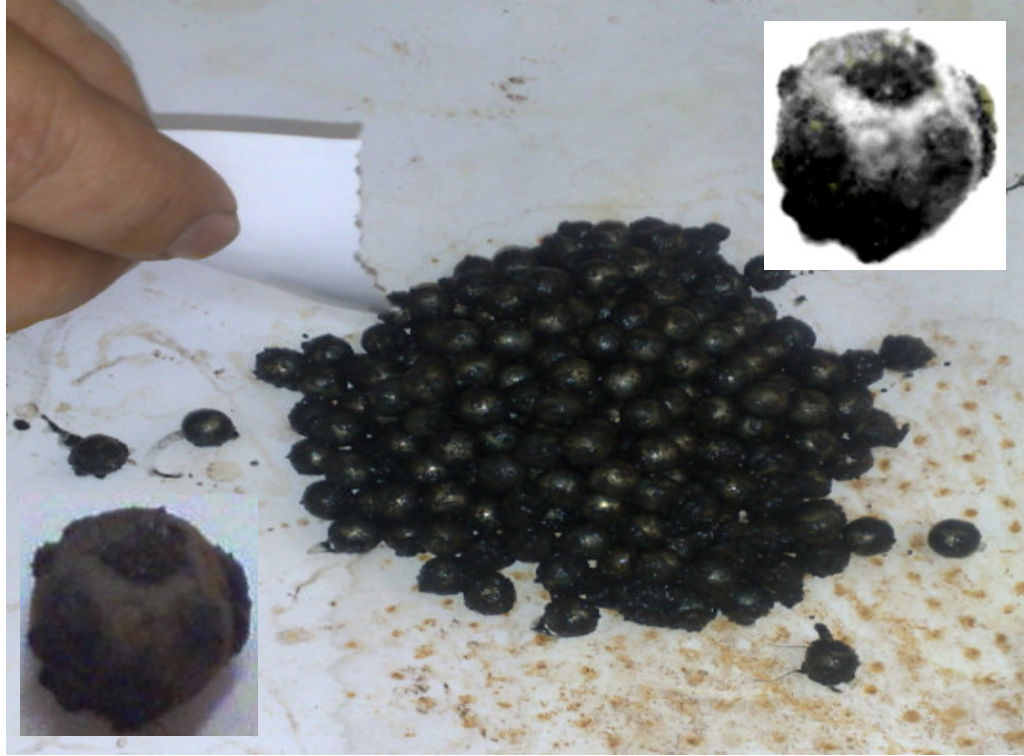
Şekil 8.9. 6 mm çaplı filtre elemanlı çalışmada giriş ve çıkış konsantrasyonu

Grafikte görüldüğü gibi zamana bağlı olarak filtre matrisinde tutulabilen parçacıklar azalmaktadır. Giriş konsantrasyonu değeri sabit kabul edilebilirken çıkış konsantrasyonu artmaktadır. Diğer bir ifadeyle belli bir süre sonra Filtre matrisine giren parçacıklar filtre elemanları tarafından tutulmadan filtre matrisinden çıkmaktadır.

Şekil 8.10'da deney sonrasında filtre elemanlarının aldığı şekil ve tuttuğu parçacıklar gösterilmiştir. Görüldüğü gibi filtre elemanlarının temas noktalarında



parçacık tutulmamaktadır. Küreciklerin aralarındaki boşluklarda tutulmaktadır. Bu parçacıkların tutulduğu bölgelere tutma bölgeleri denilmektedir.

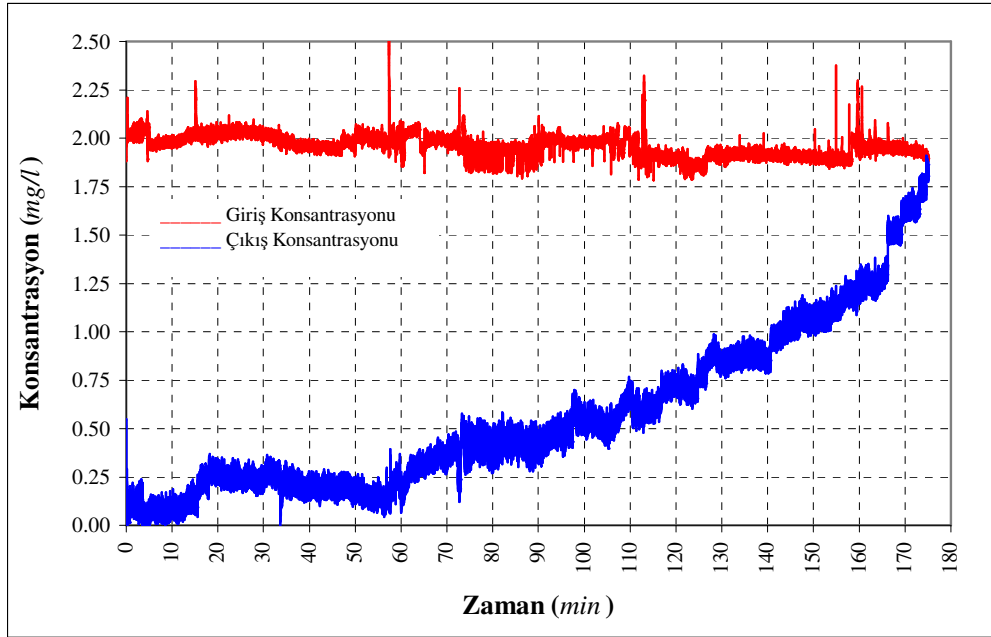


**Şekil 8.10.** Deney sonrası 6 mm çaplı filtre elemanlarının görünümü

6 mm çaplı filtre elemanları kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmada, elde edilen verilerden Şekil 8.9'daki grafikte de görüldüğü gibi giriş konsantrasyonu sabit kabul edilebilecek değerlerde iken çıkış konsantrasyonu değeri zamana bağlı olarak artmaktadır. Filtre matrisinin gözenekli yapısı içerisinde manyetik akının geçtiği yönde filtre elemanları yüzeyleri tarafından tutulan parçacıklar zamanla tutulmadığı görülmektedir.

### 8.2.3 8 mm çaplı filtre elemanları ile deneysel çalışma

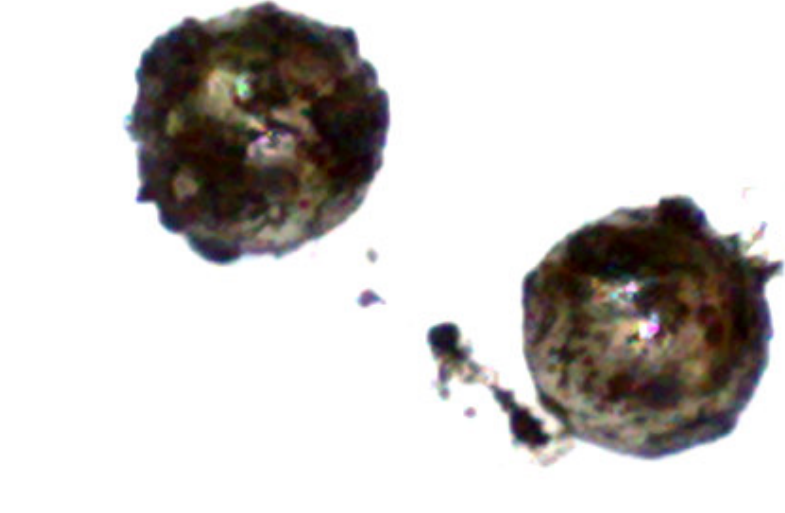
Gerçekleştirilen deneysel çalışmada,  $I=1A$ ,  $v=280$  l/h olarak sabit tutuldu. Aynı şartlarda 8 mm çaplı filtre elemanları kullanılarak yaklaşık olarak 4 saat süren bir çalışma yapıldı. Bu süreçte parçacık konsantrasyonu sensörlerinin verileri bilgisayara kaydedildi. Elde edilen verilerden Şekil 8.11'deki grafik elde edildi.



Şekil 8.11. 8 mm çaplı filtre elemanlı çalışmada giriş ve çıkış konsantrasyonu

Şekil 8.12 ve Şekil 13'de, deney sonrasındaki filtre elemanlarının aldığı şekil ve tuttuğu parçacıklar gösterilmiştir. Küreciklerin üzerinde tutma bölgeleri görülmektedir.

8 mm çaplı filtre elemanlı deneyde de bir önceki 6 mm çaplı filtre elemanı ile yapılan deney verilerine benzer değerler elde edilmiştir.



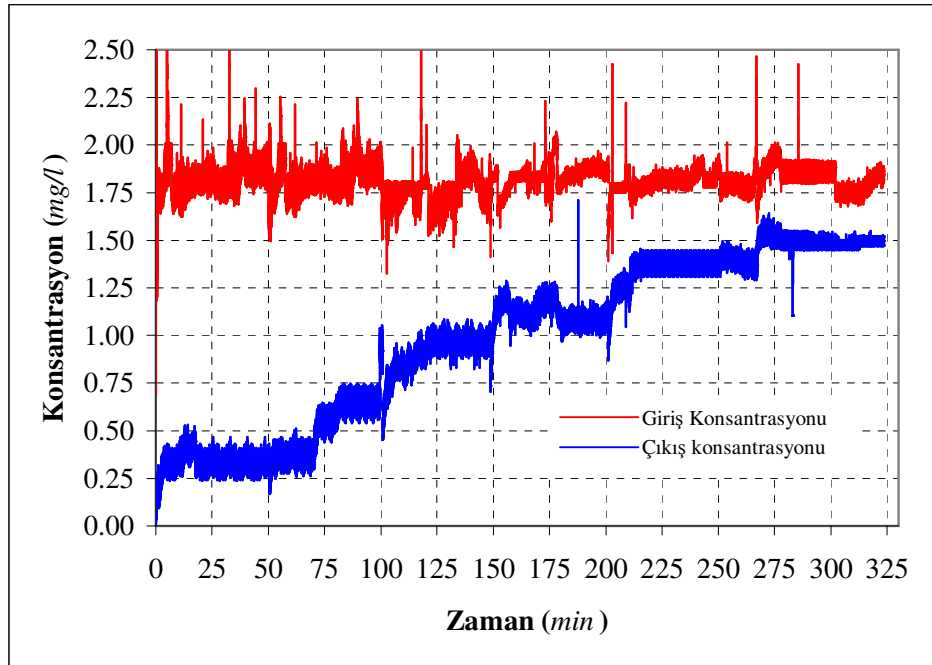
**Şekil 8.12.** Deney sonrası 8 mm çaplı filtre elemanlarının yakından görünümü



**Şekil 8.13.** Deney sonrasındaki 8 mm çaplı filtre elemanlarının görünümü

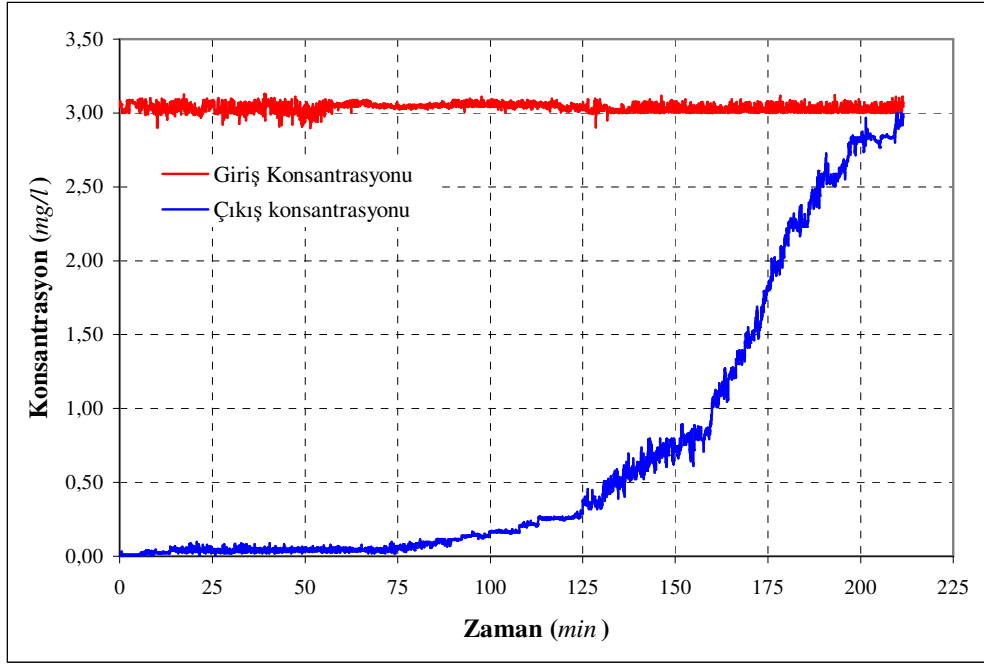
#### 8.2.4 14 mm çaplı filtre elemanları ile deneysel çalışma

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada,  $I=1A$ ,  $v=580$  l/h olarak sabit tutuldu. 14 mm çaplı filtre elemanları kullanılarak yaklaşık 5,5 saat süren bir çalışma yapıldı. Bu süreçte parçacık konsantrasyonu sensörlerinin verileri bilgisayara kaydedildi. Elde edilen verilerden Şekil 8.14'teki grafik elde edildi.



Şekil 8.14. 14 mm çaplı filtre elemanlı çalışmada giriş ve çıkış konsantrasyonu

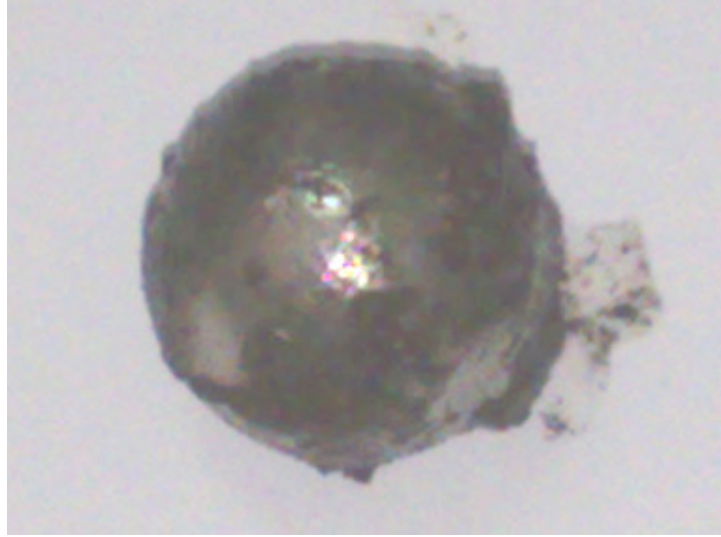
14 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan çalışmada, filtre matrisi temizlendikten sonra tekrar filtreleme işlemi için MF çalıştığı zaman  $I=1A$ ,  $v=230$  l/h olarak sabit tutuldu. Yaklaşık 3,5 saat süren bir çalışma yapıldı. Bu süreçte bilgisayara kaydedilen parçacık konsantrasyonu sensörlerinin verileri ile Şekil 8.15'deki grafik elde edildi.



**Şekil 8.15.** MF giriş-çıkış konsantrasyonu

14 mm çaplı filtre elemanlı deneylerde de diğer filtre elemanlı deneylerde elde edilen verilere benzer veriler elde edilmiştir. Bu deneylerde, Şekil 8.13'deki sıvının akış hızı 580 l/h, Şekil 8.14'deki sıvının akış hızı 230 l/h olarak sabit tutulması farkı vardır. Bu şekillerde görüldüğü gibi sıvının akış hızı yükseldikçe filtrenin dolması daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Şekil 8.16'da, deney sonrasındaki filtre elemanlarının aldığı şekil ve tutma bölgeleri ile bu bölgelerde tuttuğu parçacıklar görülmektedir.

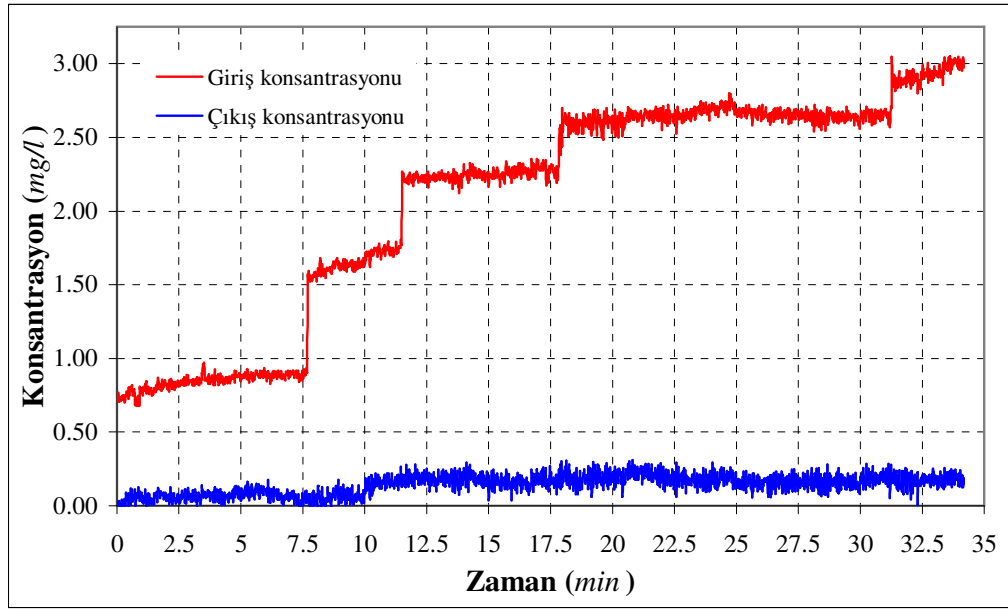


**Şekil 8.16.** 14 mm çaplı filtre elemanı

### **8.2.5 Bulanık kontrol**

Birçok alanda yapılan ve kullanılan MF'lerin kontrolü için özellikle enerji tasarrufu, mali kazanç vb. pek çok avantajı sağlaması için yapay zeka yöntemlerinden biri olan bulanık kontrol ile filtrenin çalıştırılması gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada bulanık kontrol ile filtre çalıştırıldı. 14 mm çaplı filtre elemanları kullanılarak yaklaşık 6,5 saat süren bir çalışma yapıldı. Bu süreçte parçacık konsantrasyonu sensörlerinin verileri bilgisayara kaydedildi. Elde edilen veriler ile filtrenin girişindeki ve çıkışındaki parçacık konsantrasyonu Şekil 8.17'deki gösterildiği şekilde elde edildi.



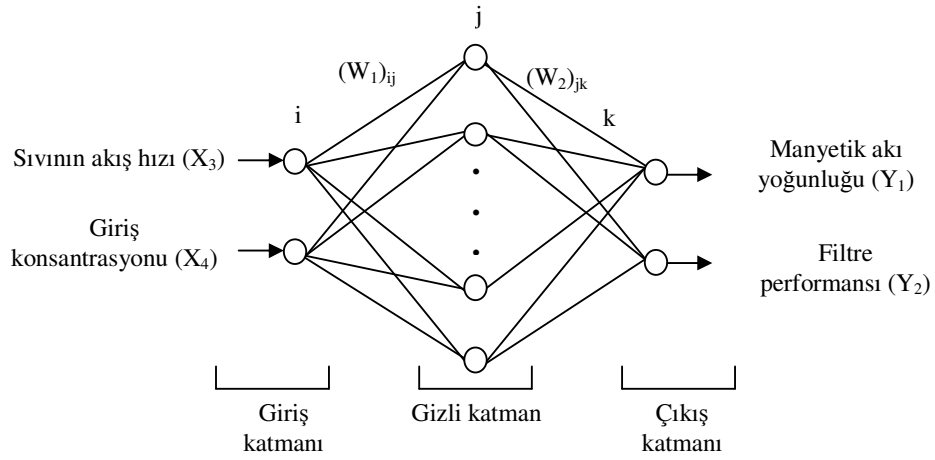
Şekil 8.17. Bulanık Kontrollü çalışmada zamana göre sıvının akış hızı

Şekil 8.17'de görüldüğü gibi bulanık kontrol ile sistemin çalışmasında girişteki konsantrasyon artmasına karşılık manyetik akı da arttırıldığı için filtrenin çıkışındaki konsantrasyon sıfır değerine çok yakın ve sabit kabul edilebilir değerde olmuştur.

### 8.3 Bulanık Kontrol ile Yapılan Deneysel Çalışmanın YSA ile Modellenmesi

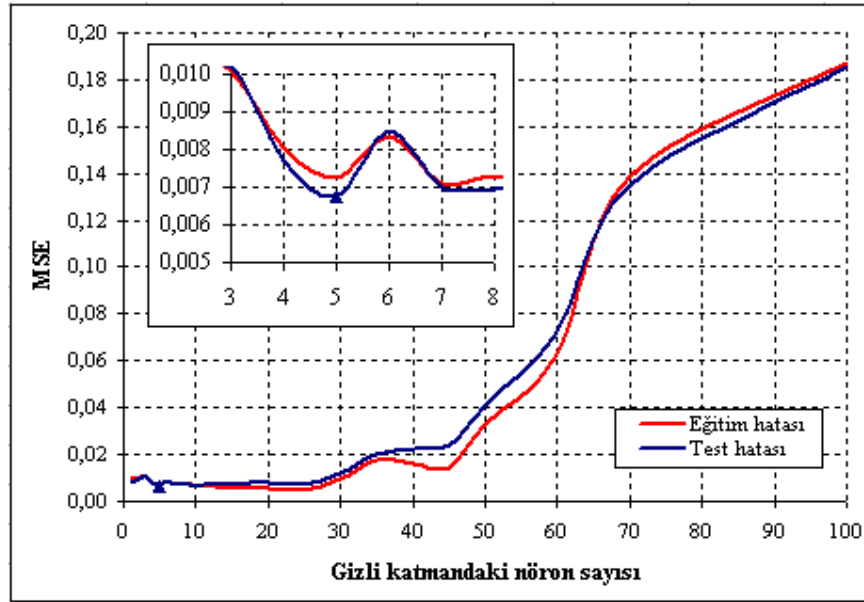
Manyetik filtrelerin daha iyi kontrol edilebilmeleri için yapılan çalışmada elde edilen veriler YSA ile modellenmiştir.

MF'nin, BK ile elde edilen verileri kullanılarak 7. Bölümde anlatılan YSA prensipleri ile Şekil 8.18'deki ağ yapısı oluşturuldu.



**Şekil 8.18.** YSA modelinin yapısı

Bu ağ yapısına göre Giriş düğümleri olarak MF giriş konsantrasyon değerleri ve sıvının akış hızı değerleri alındı.



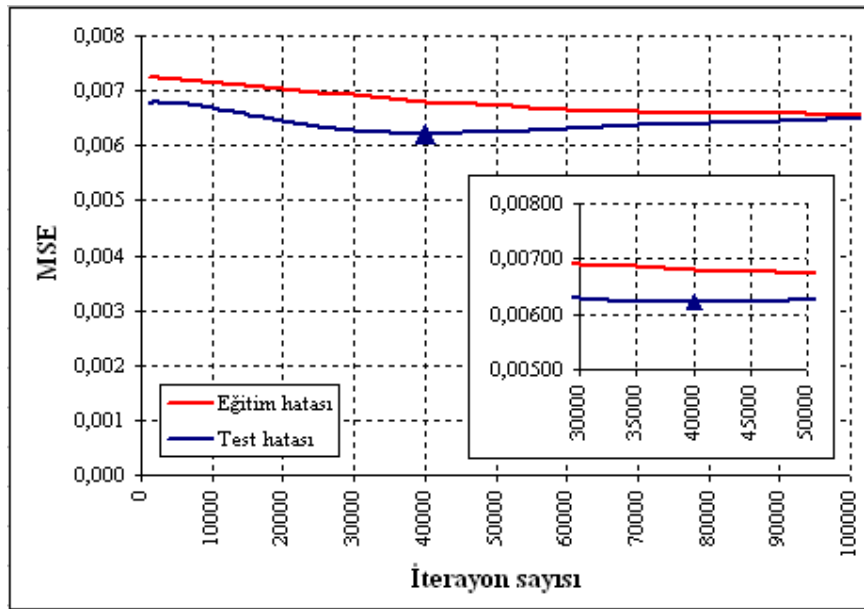
**Şekil 8.19.** 10000 iterasyon'a göre gizli katmandaki nöron sayıları ve hata değerleri

Bu değerlere göre MF'nin manyetik akı yoğunluğu ve performansı da çıkış düğümleri olarak alındı. Bölüm 7'de anlatıldığı şekilde çalışmalar yapılarak Şekil



8.19'deki grafikte gösterildiği gibi, 10000 iterasyon ile çalıştırılan ağız gizli katmanındaki en düşük test hata değerini veren uygun nöron sayısı 5 olarak bulunmuştur.

Ağız gizli katmandaki en uygun nöron sayısı olan 5 nörona göre Şekil 8.20'de gösterildiği gibi 1000 ile 100000 iterasyon arasında çalıştırılmıştır. Bu denemeler sonucunda en düşük test hatası elde edilen uygun iterasyon sayısı 40000 olarak alınmıştır.



Şekil 8.20. Gizli katmandaki 5 nöron sayısına göre hata değerleri

Elde edilen ağırlık değerleri Çizelge 8.1'de verilmiştir.  $F_{1,1}$ - $F_{1,5}$  değerleri hesaplanarak denklem 8.1,  $F_{2,1}$ - $F_{2,5}$  değerleri hesaplanarak denklem 8.2 elde edilmiştir.

$$B = \frac{2}{1 + \exp(-2 * (0,2904 * F_{1,1} + 0,1607 * F_{1,2} + 0,1481 * F_{1,3} - 0,1357 * F_{1,4} - 0,1730 * F_{1,5}))} - 1$$

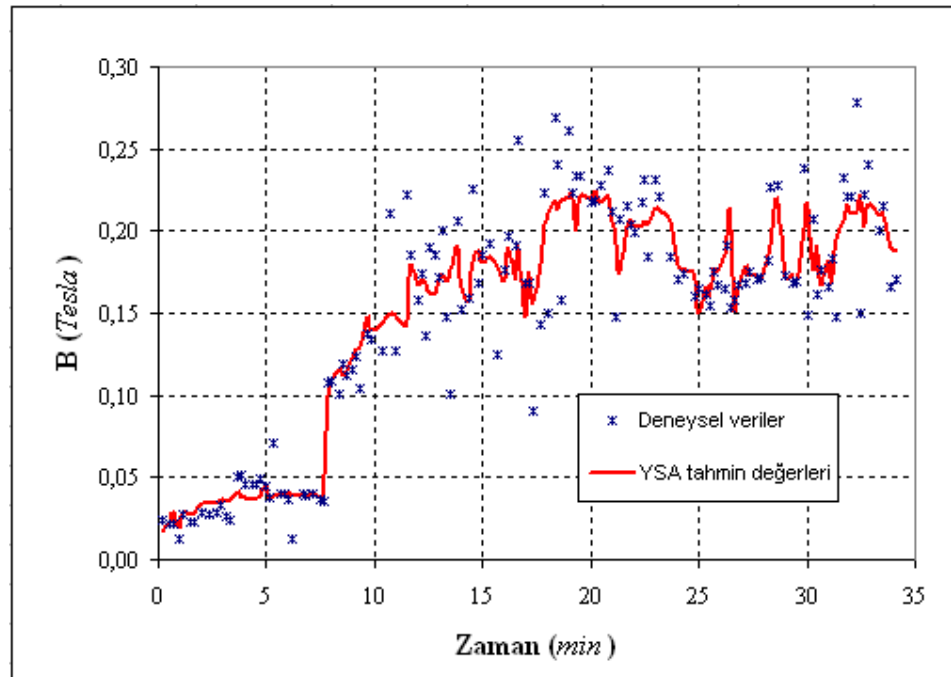
$$B = \frac{2}{1 + \exp(-2 * (0,2904 * F_{1,1} + 0,1607 * F_{1,2} + 0,1481 * F_{1,3} - 0,1357 * F_{1,4} - 0,1730 * F_{1,5}))} - 1 \quad (8.1)$$

$$\psi = \frac{2}{1 + \exp(-2 * (0,3217 * F_{2,1} - 0,2631 * F_{2,2} + 0,6284 * F_{2,3} + 0,2602 * F_{2,4} - 0,3060 * F_{2,5}))} - 1 \quad (8.2)$$

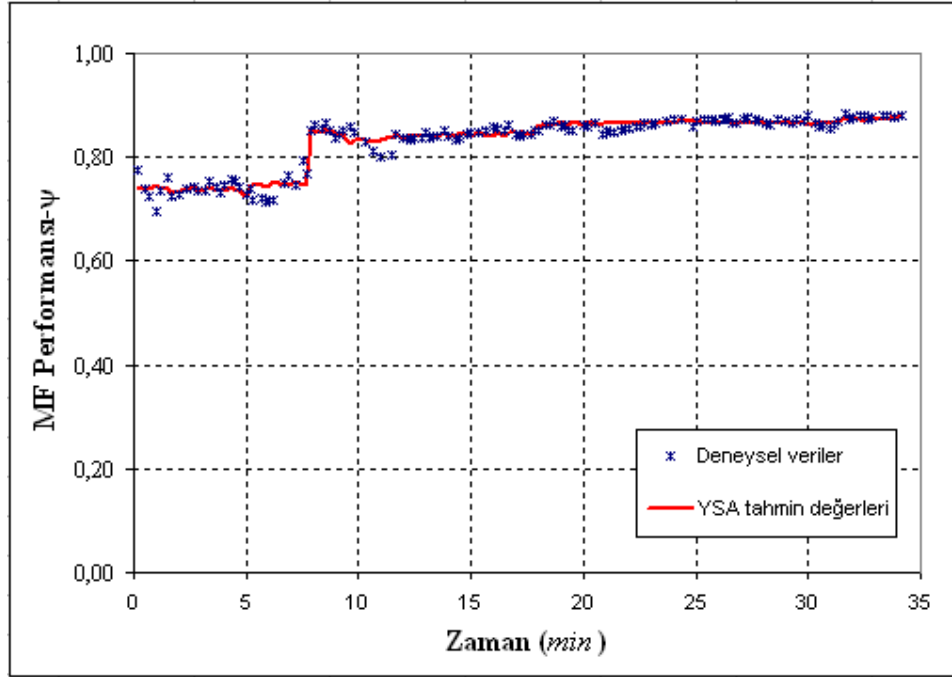
**Çizelge 8.1** YSA giriş ağırlıkları

Nöron Sayısı	$(W_1)_{i,j}$	$(W_2)_{j,k}$
1	63662	15697
2	-50659	21947
3	6974	-0.3958
4	-42175	-53592
5	48374	-43612

Deneysel veriler ile YSA eğitim tahmin değerleri Şekil 8.21 ve Şekil 8.22’de verilmiştir.



**Şekil 8.21.** B için deneysel veriler ve YSA eğitim tahmin değerleri



Şekil 8.22. MFP için deneysel veriler ve YSA eğitim tahmin değerleri

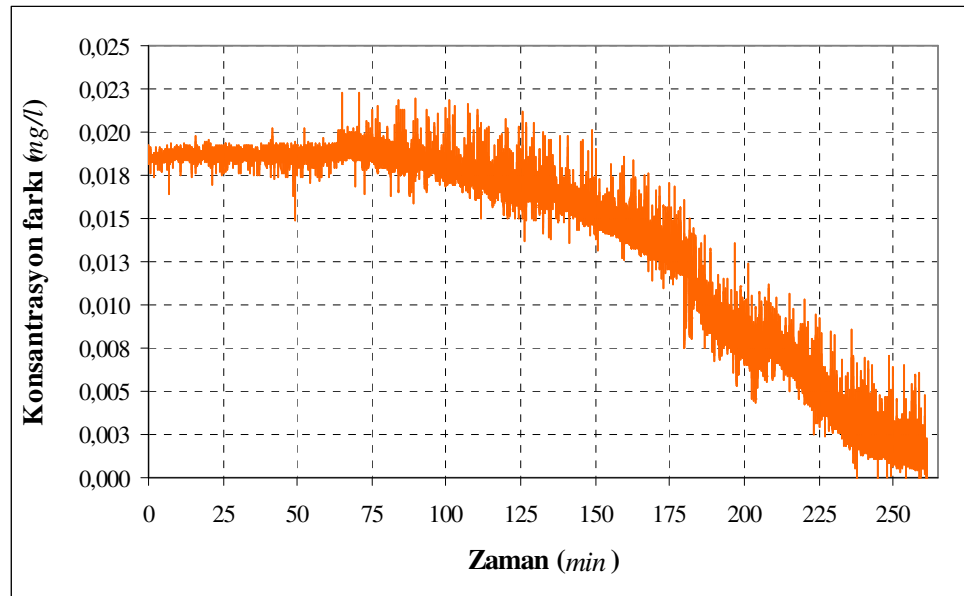
## 9 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 9.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmada farklı çaplarda filtre elemanları kullanıldı. Farklı sıvı akış hızında ve farklı manyetik akılarda deneyler yapıldı. Yapılan bu deneylerde aşağıdaki sonuçlar alınmıştır.

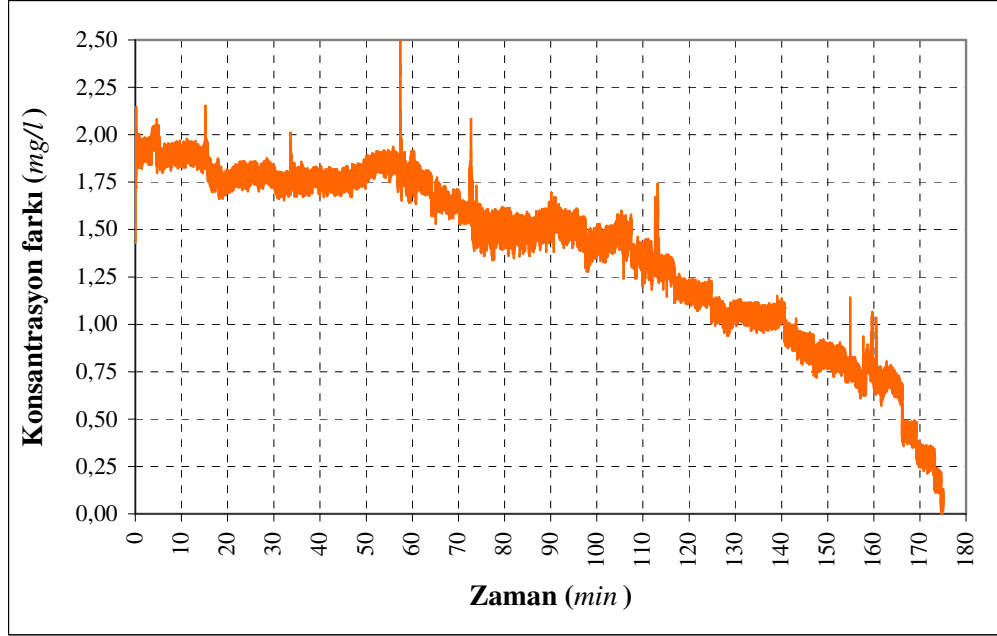
6 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan deneylerde denklem 9.1'den, Şekil 9.1'de gösterilen konsantrasyon farkları elde edildi. Burada  $C_i$  giriş ve  $C_0$  çıkış konsantrasyonlarıdır.

$$\Delta C = C_i - C_0 \quad (9.1)$$

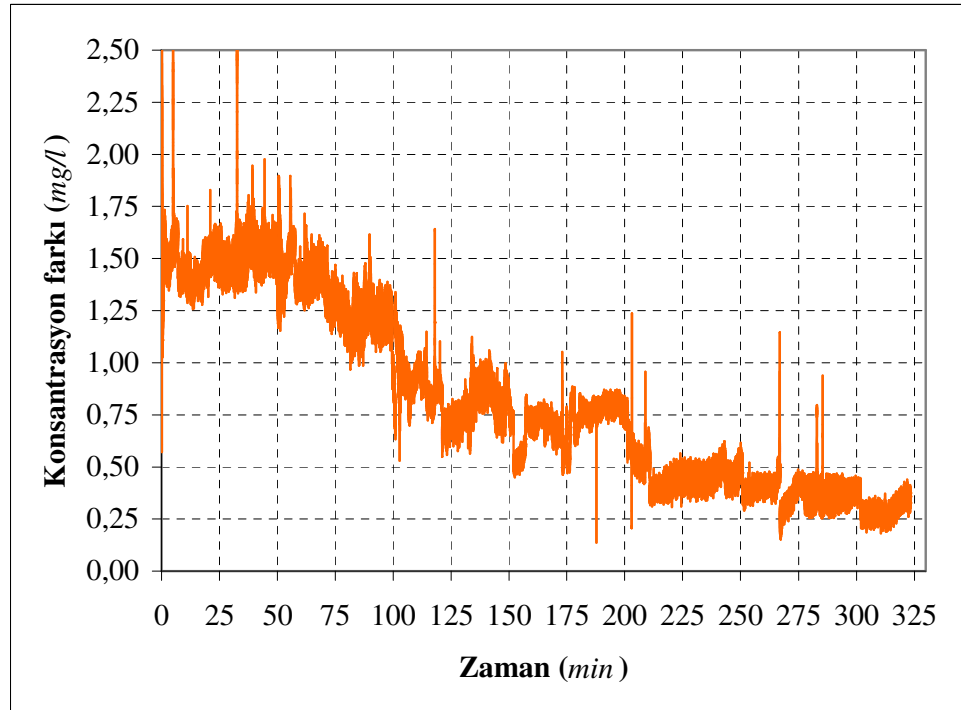


Şekil 9.1. 6 mm çaplı filtre elemanı ile yapılan deneyde konsantrasyon farkı

8 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan deneylerde formül 9.1'den, Şekil 9.2'de gösterilen konsantrasyon farkı elde edildi.

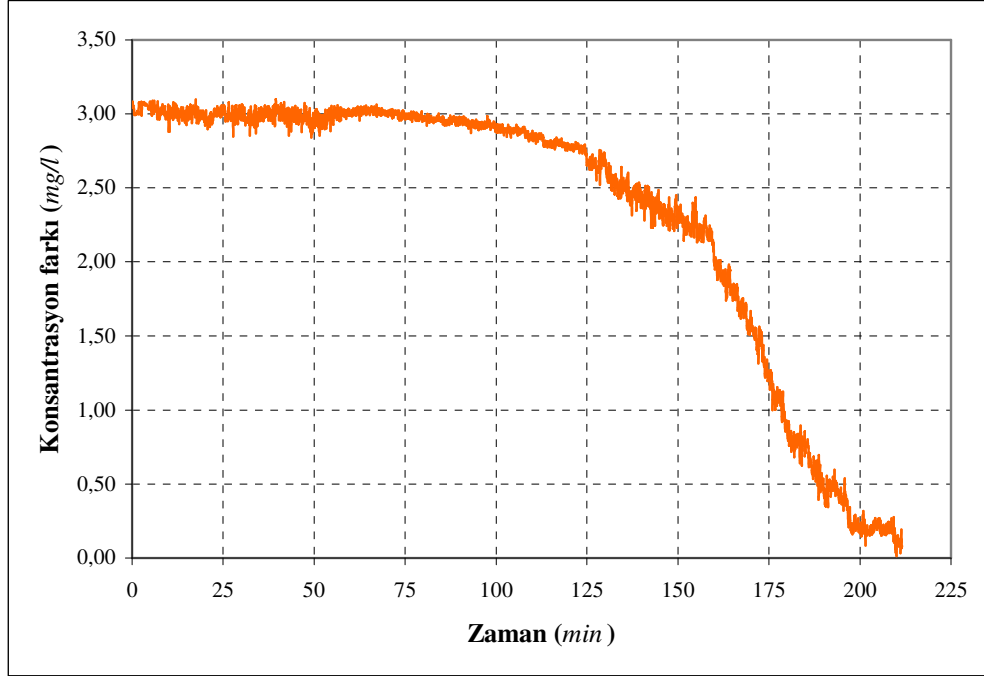


Şekil 9.2. 8 mm çaplı filtre elemanı ile yapılan deneyde konsantrasyon farkı



Şekil 9.3. Konsantrasyon farkı (14 mm çaplı filtre elemanı)

14 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan deneylerde formül 9.1'den, Şekil 9.3 ve Şekil 9.4'te gösterilen konsantrasyon farkları elde edildi.



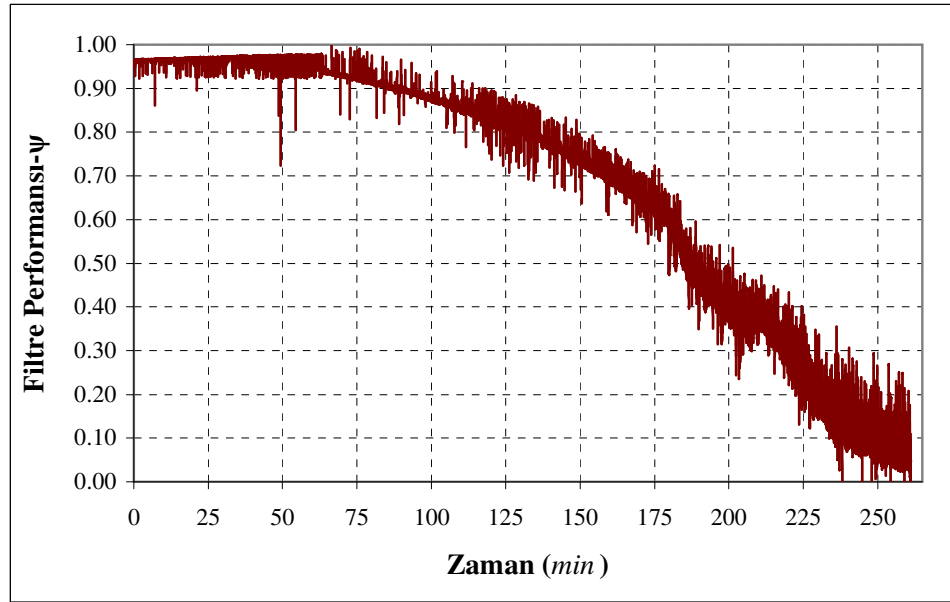
**Şekil 9.4.** Konsantrasyon farkı (14 mm çaplı filtre elemanlı)

Bu grafiklere göre belli değerlerde sabit tutulan manyetik akı ve sıvı akış hızında, filtrelerde tutulan manyetik özellikli parçacık miktarları düşmektedir. Diğer bir ifadeyle manyetik filtrelerin giriş ve çıkışındaki sıvının içerdikleri parçacık konsantrasyonu farkı çok düşmektedir.

Deney düzeneği daha yüksek basınçta sıvı akışına müsaade etmiş olsaydı bu konsantrasyon farkı sıfır olurdu.

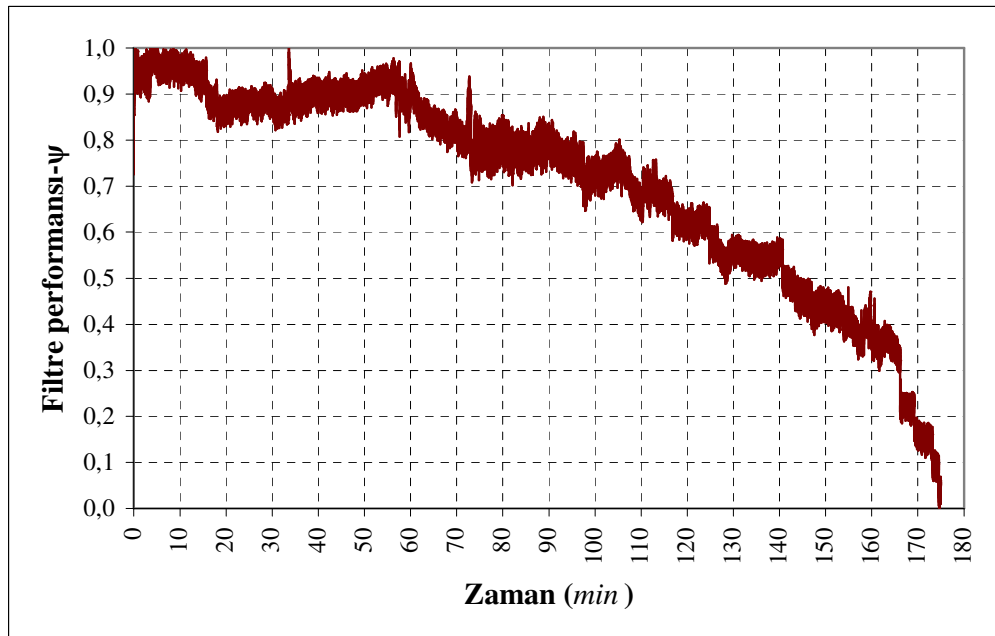
6 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan deneylerde denklem 9.2'den, Şekil 9.5'de gösterilen filtre performansı elde edildi.

$$\psi = 1 - \frac{c_0}{c_i} \quad (9.2)$$



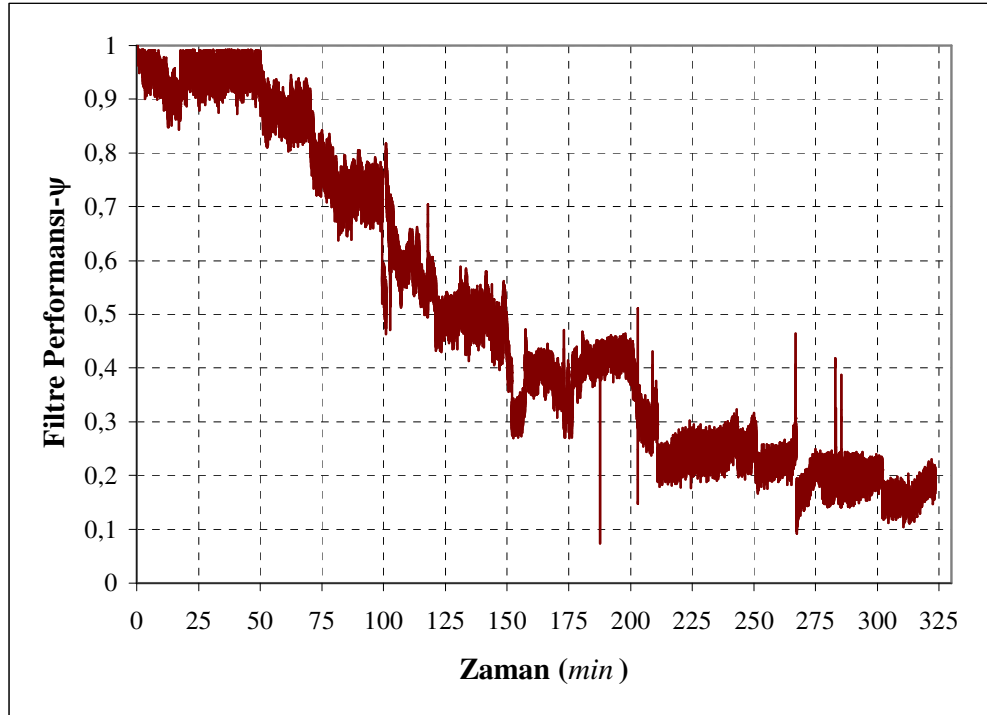
Şekil 9.5. 6 mm çaplı filtre elemanlı MF performansı

8 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan deneylerde denklem 9.2'den, Şekil 9.6'da gösterilen filtre performansları elde edildi.

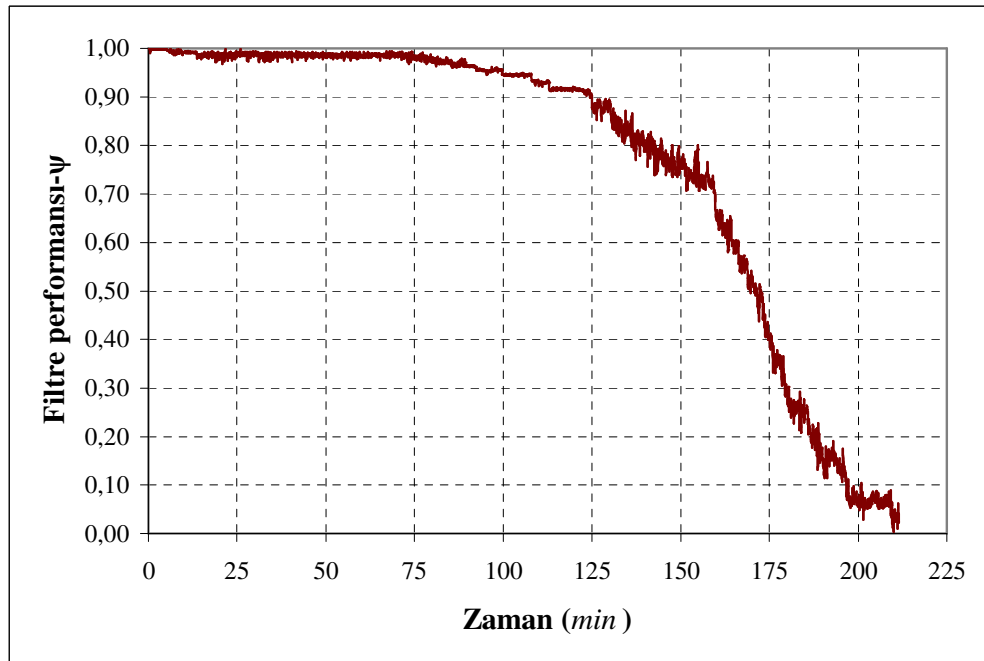


Şekil 9.6. 8 mm çaplı filtre elemanlı MF performansı

14 mm çaplı filtre elemanları ile yapılan deneylerde denklem 9.2'den, Şekil 9.7 ve Şekil 9.8'de gösterilen filtre performansları elde edildi.



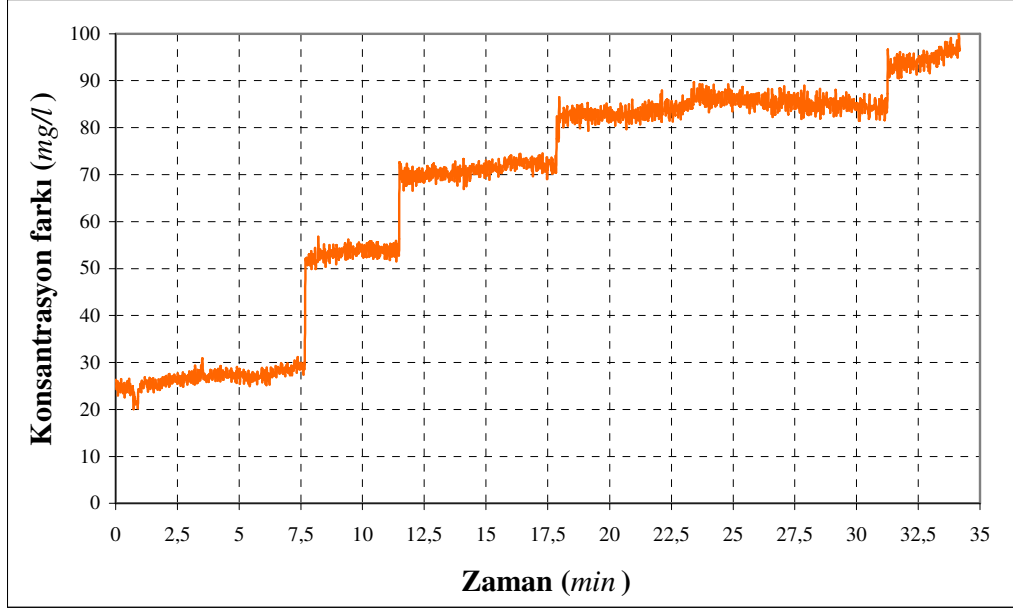
Şekil 9.7. 14 mm çaplı filtre elemanlı MF performansı



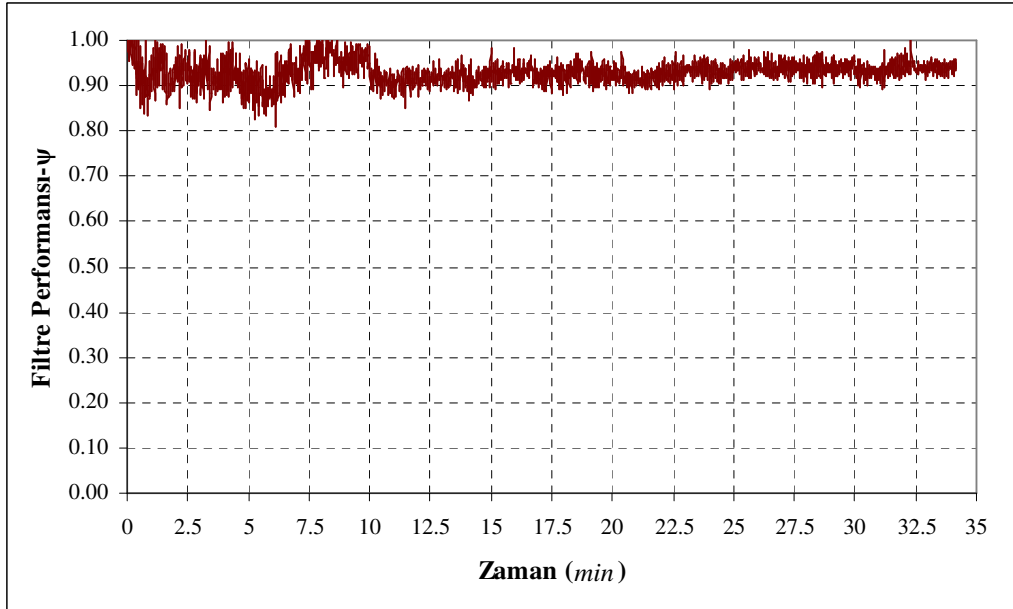
Şekil 9.8. 14 mm çaplı filtre elemanlı MF performansı



14 mm çaplı filtre elemanları ile gerçekleştirilen manyetik filtre kontrolünün bulanık kontrol ile çalıştırılması deneyi yapıldı. Yapılan deneylerde formül 9.1'den konsantrasyon farkı grafiği Şekil 9.9'da gösterildiği gibi, denklem 9.2'den filtre performansı grafiği Şekil 9.10'da gösterildiği gibi edildi.



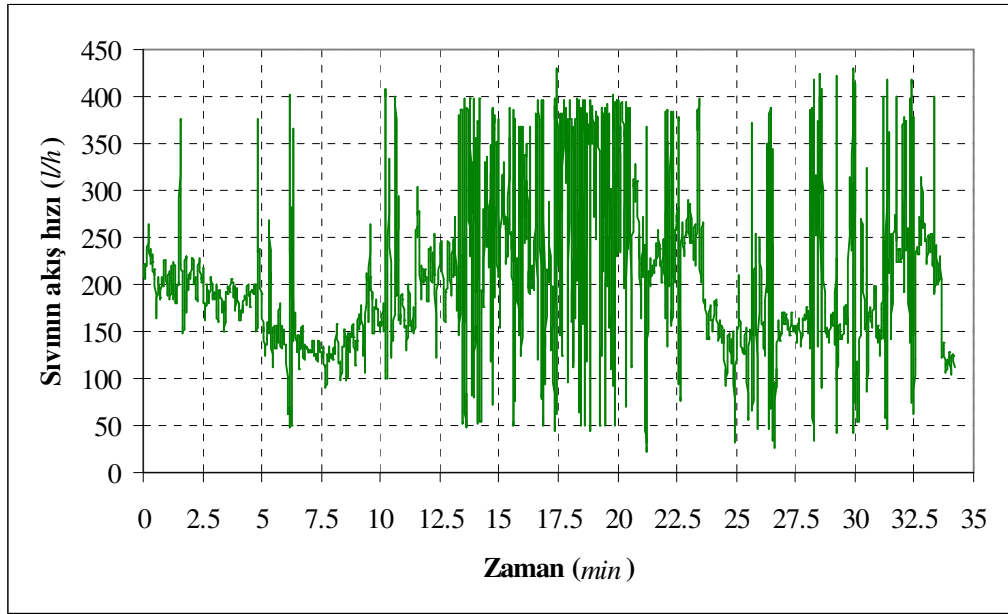
Şekil 9.9. MF'nin bulanık kontrol ile elde edilen fark konsantrasyonu



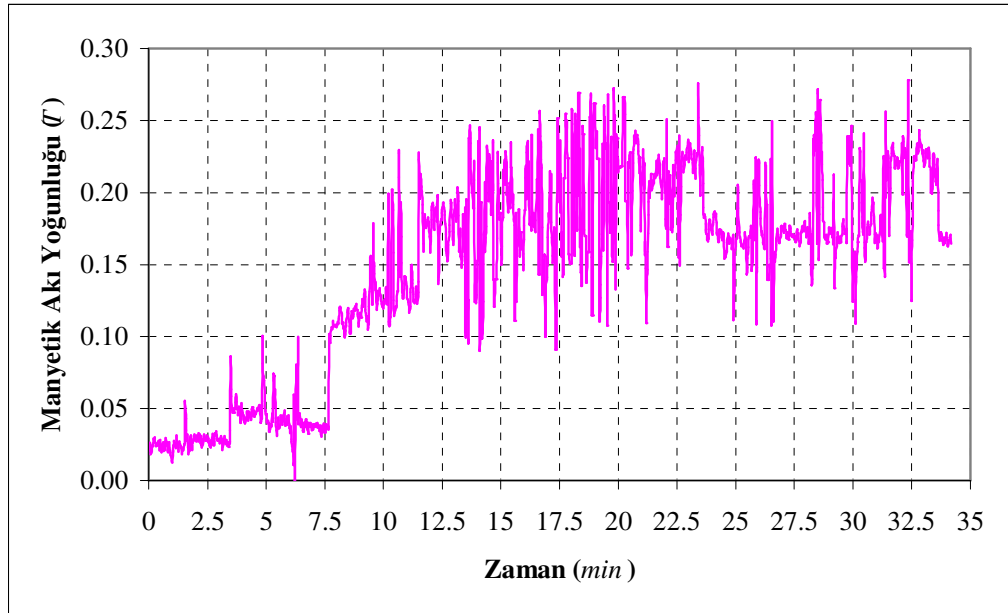
Şekil 9.10. MF'nin bulanık kontrol ile elde edilen performansı

Manyetik filtre içerisinde geçen sıvının akış hızı değiştikçe (Şekil 9.11) yada giriş ve çıkışındaki parçacık konsantrasyonu değiştikçe (Şekil 8.17) filtrenin fark konsantrasyonu da değişmektedir. Ancak bu değişimlere bağlı olarak kontrolörden gelen sinyaller ile MF bobinine uygulanan akım da değiştirilmektedir (Şekil 9.13) dolayısıyla MF'nin akısı da değişmektedir (Şekil 9.12).

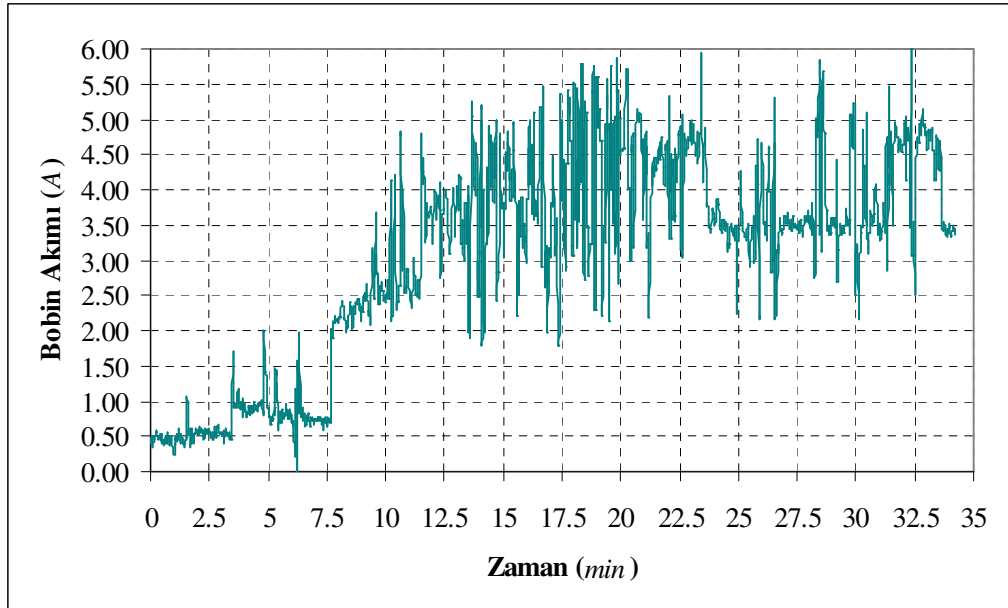
Tüm bu değişimler filtrenin performansının maksimum değerde kalmasını sağlamaktadır (Şekil 9.10).



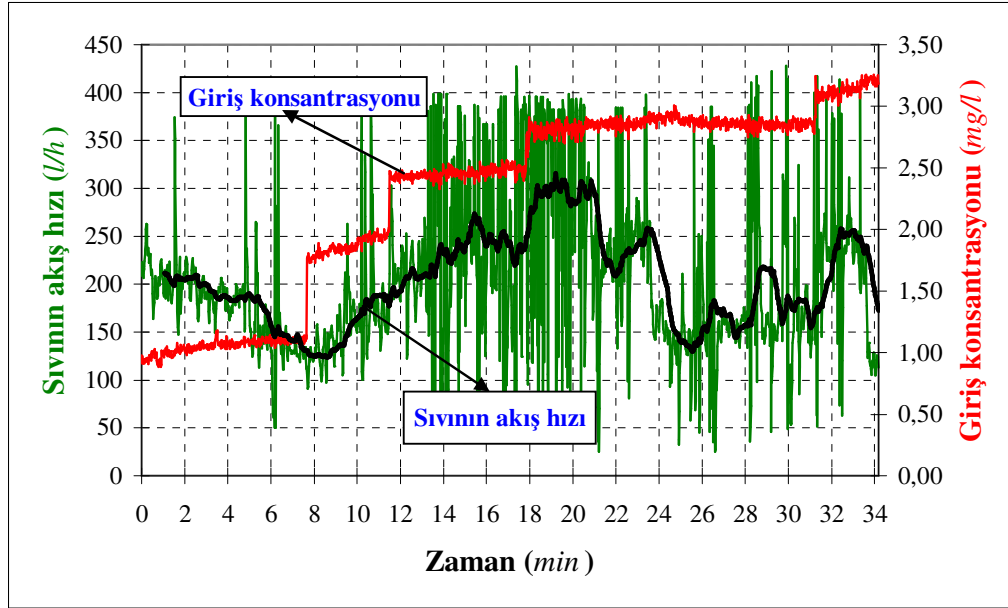
**Şekil 9.11.** Sıvının akış hızının zamanla değişimi (10-300 l/h)



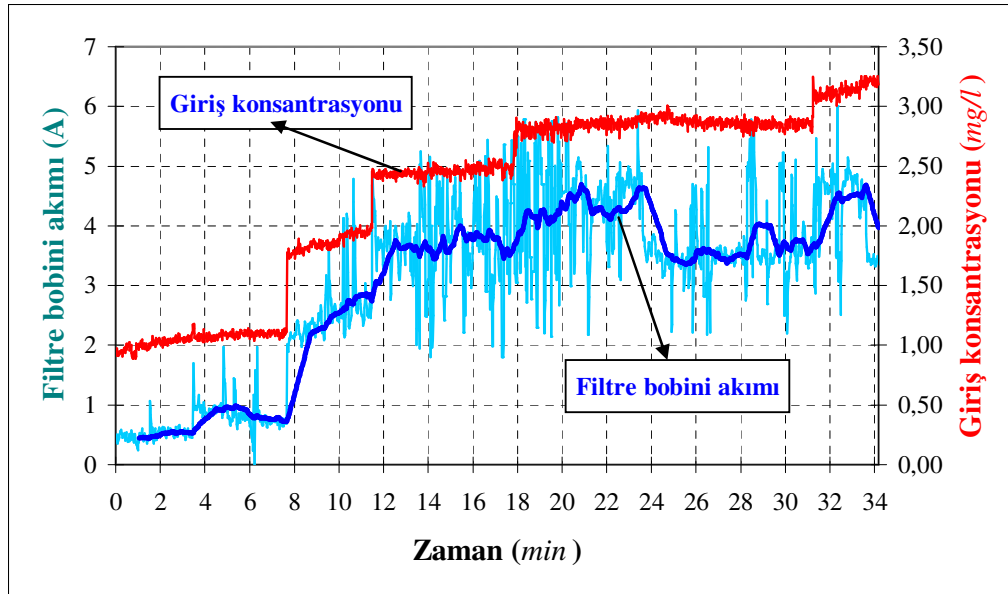
Şekil 9.12. MF manyetik akısının zamanla değişimi (0,025-0,22 T)



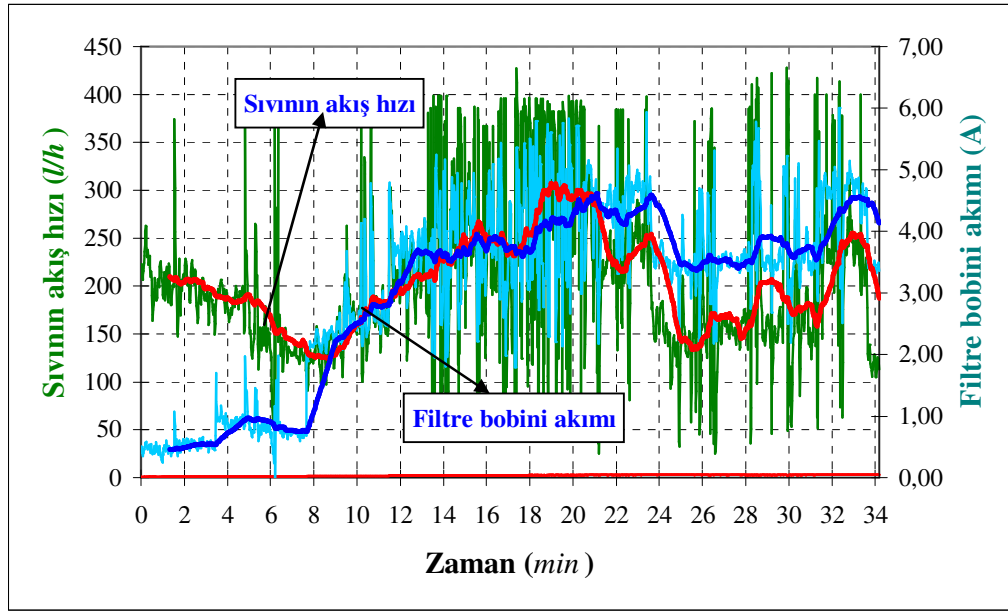
Şekil 9.13. MF bobinine uygulanan akımın zamanla değişimi (0,5-5 A)



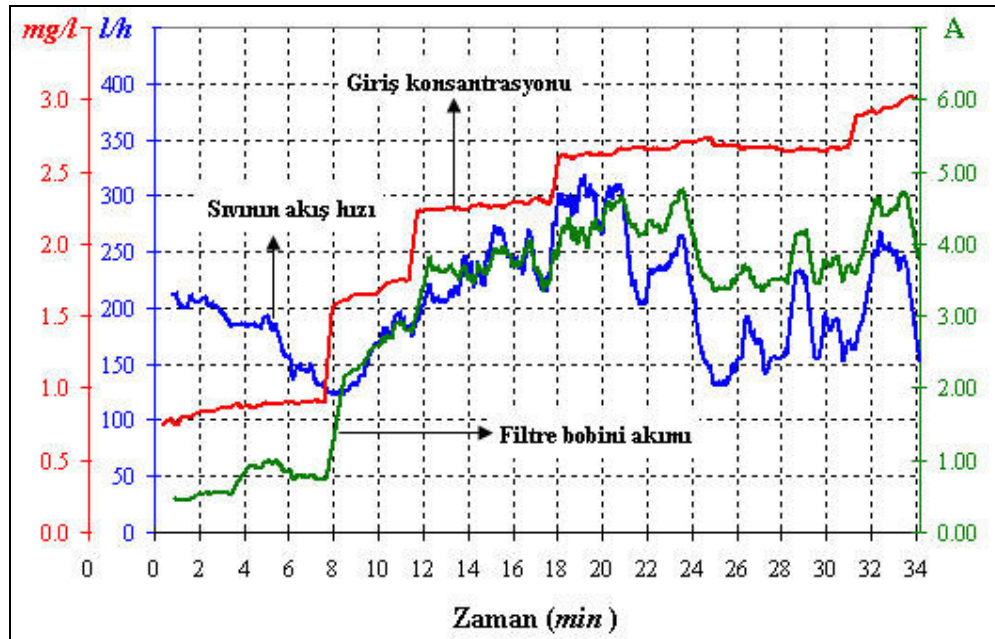
Şekil 9.14. Giriş konsantrasyonu ve sıvının akış hızı



Şekil 9.15. Giriş konsantrasyonu ve filtre bobini akımı



Şekil 9.16. Giriş konsantrasyonu ve sıvının akış hızı ortalama değerleri



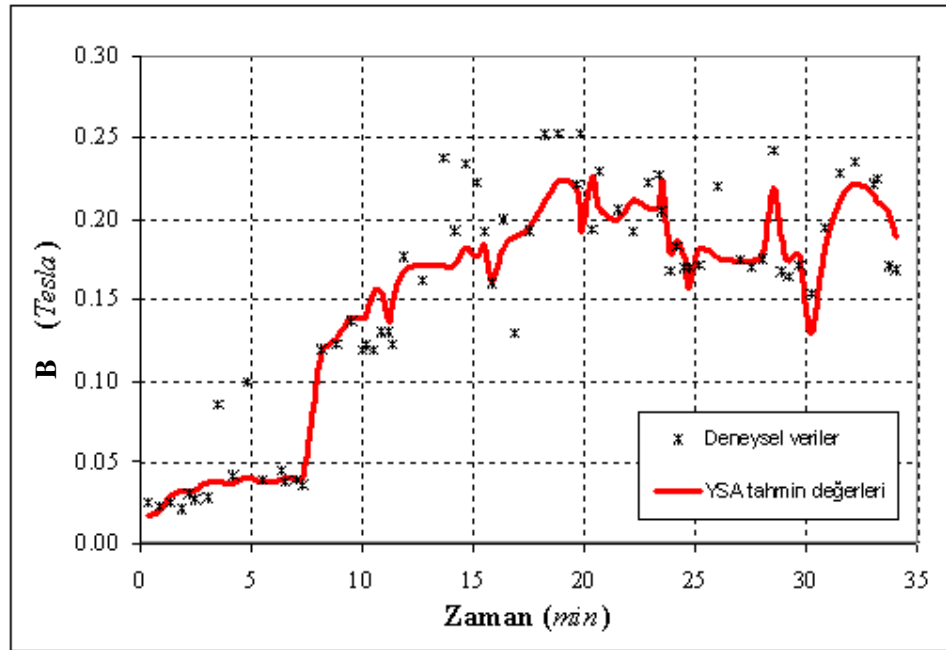
Şekil 9.17. Giriş konsantrasyonu, sıvının akış hızı ve filtre bobini akımı

Şekil 9.14 - Şekil 9.17’de görüldüğü gibi bulanık kontrol ile sıvının akış hızı ve filtre girişindeki parçacık konsantrasyonuna göre filtre bobinine uygulanan akım da değişmektedir. Sıvının akış hızı belli bir değerde sabit tutulurken, giriş konsantrasyonu arttığı zamanlarda filtre bobinine uygulanan akım artmakta, giriş konsantrasyonu düştüğü zaman filtre bobinine uygulanan akım da düşmektedir. Tam tersi durumda da yani parçacık konsantrasyonu belli bir değerde sabit tutulurken, sıvının akış hızı arttırıldığı zamanda filtre bobini akımı artmakta sıvının akış hızı düştüğü zamanlarda filtre bobini akımı da düşmektedir. Aynı şekilde hem sıvının akış hızı hem de parçacık konsantrasyonu yükseldiğinde filtre bobini akımı artmakta, düştüğü zamanda filtre bobini akımı düşmektedir. Diğer durumlarda da filtre bobini akımı uygun değere gelmektedir.

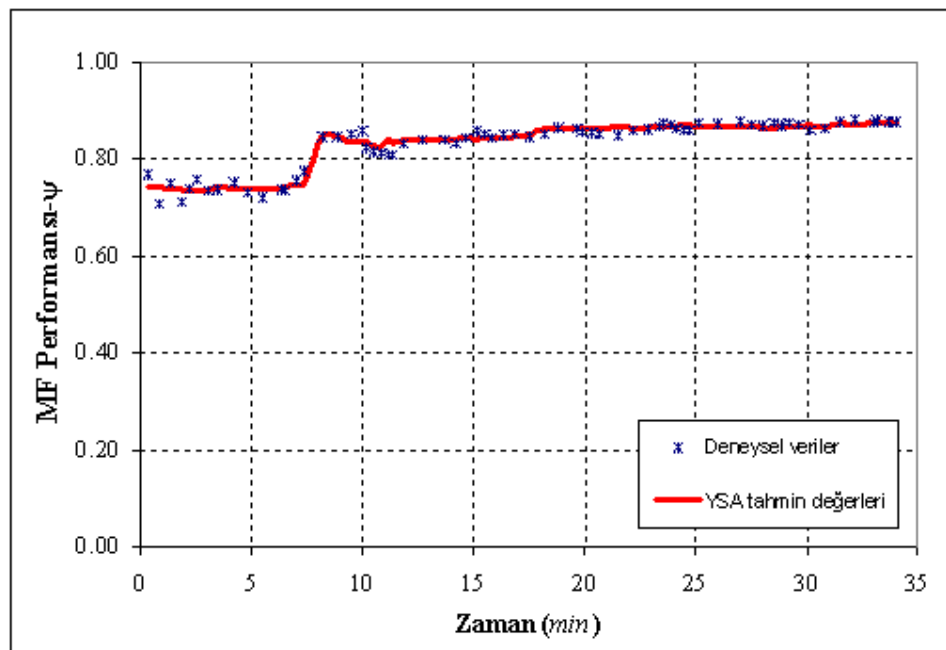
Böylece filtre matrisinden geçen sıvı içersindeki manyetik özellikli parçacıkların yakalanması, sıvının akış hızı ve parçacık konsantrasyonu değişimlerine bağlı olarak filtre bobini akımı kontrolü ile sağlanmaktadır. Diğer bir ifade ile bu iki parametrenin değişimlerine bağlı olarak filtre performansı maksimum seviyede tutulmaktadır.

Gerçekleştirilen yazılım ile iki adet filtre matrisi kullanıldı. Bu filtre matrislerinden bir tanesi sıvıyı temizlerken diğeri çalıştırılmamaktadır. Çalışan filtre; Şekil 8.18’de gösterildiği gibi filtrenin çıkış konsantrasyonundaki değer (YSA ile belirlenen optimum filtre performansını sağlayabilecek şekilde) referans değerini kontrolöre gönderdiği anda durdurulmaktadır. Aynı anda diğere filtre, sıvıyı temizlemeye devam etmektedir. Birinci filtreye ise kontrolör ile artık mıkntisietinden dolayı 20 Hz’lik AC uygulanmaktadır. AC uygulanan bu filtreye kontrolörden gelen sinyaller ile uygun selenoit valfler çalıştırılmakta ve basınçlı şebeke suyu ile filtre yaklaşık 35 dk’da temizlenmektedir. 35 dk. sonra birinci filtre matrisinin temizleme işlemi durdurulmaktadır. Bu süre sonunda tekrar bir önceki rejenerasyon çalışmaktadır.

Ayrıca kontrolün YSA ile modellenmesinde elde edilen (Bölüm 8.3) test tahmin değerleri ile deneysel verilerin karşılaştırılmaları Şekil 9.18 ve Şekil 9.19’da verilmiştir.



Şekil 9.18. Manyetik akı yoğunluğunun deneysel verileri ve YSA test tahmin değerleri



Şekil 9.19. MF performansı deneysel verileri ve YSA test tahmin değerleri

Yapılan analizler sonucunda YSA çalışmaları ile deneysel veriler arasında Çizelge 9.1’de verilen  $R^2$  değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 9.1** YSA eğitim ve test sonuçları  $R^2$  değerleri

	<b>Eğitim</b>	<b>Test</b>
<b>B</b>	0.98439261	0.9857016
<b>MFP</b>	0.99248467	0.9927963

Grafiklerde görüldüğü ve istatistiksel analiz sonuçlarına göre, YSA ile elde edilen test tahmin değerleri ve deneysel veriler birbirlerine oldukça yakındır. Diğer bir ifadeyle aralarında güçlü bir ilişki vardır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında;

- Ampirik formüller ve literatürdeki grafikler kullanılarak uygun bir manyetik filtre tasarımı gerçekleştirildi.
- Sıvı içerisindeki manyetik özellikli parçacık konsantrasyonunu ölçmek için bir sensör birimi tasarlandı ve gerçekleştirildi.
- Filtre matrislerinin iki adet kullanılması, filtre seçiminin ve akışın otomatik olarak kontrol edilmesi ile temizleme işleminin sürekliliği sağlandı. Endüstriyel prosesler için bu nokta oldukça önemlidir.
- Kullanılan filtre matrislerinin otomatik olarak temizlenmesi ve tekrar tekrar kullanılması sağlandı. Böylece ekonomik kazanç sağlanmış oldu.
- Filtre performansının maksimize edilmesi gerçekleştirildi.
- Yapay zeka tekniklerinden YSA ile maksimum filtre performansı için gereken PWM referans değeri belirlendi.
- Bulanık mantık yardımıyla MF için yapay zeka tekniklerinden bulanık kontrol tasarlanarak gerçekleştirildi.
- Bulanık kontrol ile endüstriyel sıvının akış hızı, MF giriş konsantrasyonu ve MF çıkışındaki konsantrasyon verileri kullanılarak manyetik akı kontrol edildi,
- Manyetik akının kontrolünün yüksek performans ve enerji kazancı sağladığı görüldü.



- Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, özellikle yapay zeka ile yapılan kontrol sonuçları, birçok sanayi alanında kullanılan MF'ler için oldukça büyük katkılar sağlayabilecek niteliktedir.

## 9.2 Öneriler

Bu çalışmada MF'lerin performansını etkileyen tüm parametreler kullanılmamıştır. Dikkate alınmamış olan diğer parametrelerin bir kısmı yada tamamı kullanılarak farklı çalışmalar yapılabilir. Elde edilen sonuçlar ile MF'lerin tasarımı, kullanımı ve modellenmesi için çok daha kullanışlı metotlar geliştirilebilir. Bu çalışmalar bilimsel olarak pek çok katkı sağlayabilir.

Yapılan bu tez çalışmasından elde edilen olumlu sonuçlar göz önüne alındığında, YSA ve diğer yapay zeka tekniklerinin, manyetik filtre kontrolünde kullanılmasıyla daha gelişmiş kontrol sistemleri kurulması mümkün olabilir.

Manyetik filtre kontrolü konusu, yazılım, sensör, mekanik, elektronik donanım tasarımı gibi birçok disiplini içinde barındıran bir alandır. Ülkemizde bir açığın kapatılmasına katkıda bulunacağı ve oluşturulan bilgi birikiminin gelecekte yeni çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının bir uzantısı olarak;

- YSA algoritmasının doğrudan manyetik filtre kontrolüne uygulanması yapılabilir.

- MATLAB programlama dilinde geliştirilen ve geliştirilecek olan YSA algoritmalarını, PIC vb mikroişlemcilerle aktararak daha ekonomik ve basit kontrol sistemleri oluşturulabilir.

- Değişik bağıl sensörler kullanılarak ölçüm birimi yardımıyla YSA ile sensör entegrasyonunu gerçekleştirilerek başarılı çalışmalar yapılabilir.

- Günümüzde kullanılan manyetik filtre ve separatör sistemlerine uyarlanabilir.

- YSA, fuzzy ve genetik algoritma gibi yapay zeka teknikleri hibrit olarak kullanılabilir.

Ayrıca diğer yapay zeka tekniklerinin kullanılması ile daha farklı çalışmalar yapılabilir.

## 10 KAYNAKLAR

- Abbasov, T., Herdem, S., and Köksal, M., 1999. Particle Capture in Axial Magnetic Filters with Power Law Flow Model, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 32, no. 10, pp. 1097-1103.
- Abbasov, T., Herdem, S., and Köksal, M., 1999. Performance of High Gradient Magnetic Filters with Granular Matrix, *Separation Science and Technology*, vol. 34, no. 2, pp. 263-276.
- Abbasov, T., Köksal, M. and Herdem, S., 1999. Theory of High-Gradient Magnetic Filter Performance, *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 35, no. 4, pp. 2128-2132.
- Abbasov T., 2001. Theoretical interpretation of the filtration process in magnetized packed beds, *Elsevier, Powder Technology*, vol. 115, pp.215–220.
- Abbasov T., 2002. *Elektromanyetik Filtreleme İşlemleri, Teori, Uygulama ve Konstrüksiyon*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Allahverdi N, 2002. *Uzman Sistemler, Bir Yapay Zeka Uygulaması*, Atlas Yayınları, İstanbul.
- Allahverdi, N., 2006. Bulanık mantık ve sistemler. <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/index.html>, Haziran.
- Allahverdi, N., Torun, S., and Saritas, İ., 2007. Design of a Fuzzy Expert System for Determination of Coronary Heart Disease Risk, *International Conference on Computer Systems and Technologies CompSysTech'07*, IIIA14.1-8, Rousse, Bulgaria.
- Alizade P., Abbasov T., Nayie A., 1997. Akışkan Ortamların Elektromanyetik Filtrelerle Temizlenmesi, *Çev-Kor*, Cilt 7, Sayı 25, Sayfa 17-18.
- Ansett, M., Kreider, J.F., 1993. Application of Neural Networking Models to Predict Energy use. *ASHRAE Transactions: Research* 99(1): pp. 505–517.

- Bay, Ö.F., Deperlioğlu, Ö., and Elmas, Ç., 2003. Fuzzy control of DC-DC converters based on User Friendly Design, *International Journal of Electronics*, vol.90, no.7, pp.445-458
- Bay, Ö.F., and Elmas, C., 2004. Modeling of The Inductance Variation and Control of The Switched Reluctance Motor Based on Fuzzy Logic, *Intelligent Automation and Soft Computing*, vol.10, no.3, pp.233-246.
- Baykal N., Beyan T., 2004. *Fuzzy Logic Expert Systems and Controller*, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Breekweg MRB, Gruber P, Ahmed O., 2000. Development of Generalized Neural Network Model to Detect Faults in Building Energy Performance, Part I, Part II. *ASHRAE Transactions: Research* 4372: pp.61–93.
- Buja, G. S. and Todesco, F., 1994. Neural Network Implementation of A Fuzzy Logic Controller, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 41, 6,663-667.
- Ceylan, K., Herdem, S., and Abbasov, T., 1999. A Theoretical Model for Estimation of Drag Force in the Flow of Non-Newtonian Fluids Around Spherical Solid Particles, *Powder Technology*, vol. 103, no. 3, pp. 286-291.
- Chedid R., Mezher T., Jarrouche C., 1999. A Fuzzy Programming Approach to Energy Resource Allocation, *Int. J. Energy Res.*, Vol. 23, pp. 303-317.
- Chen, C. and Chen W., 1994. Fuzzy Controller Design by Using Neural Network Techniques, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2, 3, 235-244.
- Collar, H. K., Kokkola, M. and Ritvos, A., 1979. Analysis Of Magnetic Filter Experiments With Polydisperse Particle Suspensions, *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-15, 1529–1531.
- Cuellar, J. and Alvaro, A., 1995. Fluid Solid Mass Transfer In Magnetic Filtration, *Separation Science and Technology*, vol. 30, p. 141.
- Donescu, V., Neacsu, D.O., Griva, G., Profumo, F. 1996. A Systematic Design Method for Fuzzy Controller for Brushless DC Motor Drives. *Proc. of the 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, pp. 689-694. Baveno, June 23-27.
- Efe, M. Ö., Kaynak O., 2004. *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Elmas, Ç., 2003. *Bulanık Mantık Denetleyicileri*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

- Hagan MT, Demuth HB, Beale MH., 1997. *Neural Network Design*, PWS Publishing
- Haykín S., 1998. *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*, Second Edition, Pearson Prentice Hall, Canada.
- Herdem, S., Abbasov, T., and Köksal, M., 1999. Filtration Model of High Gradient Magnetic Filters with Granular Matrix, *Powder Technology*, vol. 106, no. 3, pp. 176-182.
- Herdem, S., Abbasov, T., and Köksal, M., 1999. Modelling of Buildup Process of Particles in Pores of High Gradient Magnetic Filters by Using Fokker-Planck Equation, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol.32, no. 24, pp. 3146-3150.
- Herdem, S., Abbasov, T., Memedov, A. and Köksal, M., 2000. On the Coagulation and Detachment Processes of Particles in Magnetic Field, *Proc. of WFC8 World Filtration Congress 8*, vol. 2, pp. 781-784, Brighton-UK, April 3-7.
- Herdem, S., Köksal, M., and Abbasov, T., 2000. Model for Predicting Filtration Efficiency and Pressure Drop in Axial Magnetic Filters, *Separation Science and Technology*, vol. 35, no. 7, pp. 941-950.
- Herdem, S., Köksal, M. and Abbasov, T., 2001. Simulation of Magnetic Filtration Process of Technological Liquids and Gases by a Nonlinear Electrical Circuit, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 34, no. 2, pp. 238-242.
- Herdem, S., 2005. Influence Of The Magnetic Susceptibility of The Particles on The Magnetic Filter Performance, *Int. J. of Appl. Electromagnetics and Mechanics*, vol. 22, no. 3-4, pp. 189-197.
- Karna K. N., Breen D. M., 1989, *An Artificial Neural Networks Tutorial: Basics*, *Neural Networks*, Vol.1, No:1, pp: 4 -23.
- Köksal, M., Abbasov, T. and Herdem, S., 2003. Mathematical Modeling of the Magnetic Filtration Processes, *Int. J. of Appl. Electromagnetics and Mechanics*, vol. 18, no. 4, pp. 227-234.
- Luger, G.F., 2002. *Artificial Intelligence : Structures and Strategies for Complex Problem Solving*, 4th edition, Addison-Wesley.
- Mendi F., Boran K., Kulekci M. K., 2002. Fuzzy Controlled Central Heating System, *Int. J. Energy Res.*, Vol. 26: pp. 1313–1322.

- Munakata T. 1998. Fundamentals of The New Artificial Intelligence: Beyond Traditional Paradigms, Springer-Verlag, New York, USA.
- Nguyen, H.T., Walkey E.A., 1996. A First Course in Fuzzy Logic, Chapman and Hall.
- Nguyen H.T., Prasad N.R., Walker C.L., Walker E.A., 2003. A First Course In Fuzzy and Neural Control, Chapman and Hall/CRC, USA, 2003.
- Sarıkaya, M., Abbasov, T. and Herdem, S., 1998. A Theory and Experiments on High Gradient Magnetic Separator-Filter Performance, Proc. of VII. Int. Mineral Processing Symp., pp. 707-710.
- Nilsson, N. J., 1998. Artificial Intelligence :A New Synthesis, Morgan Kaufmann Publishers.
- Özkan İ.A., Sarıtaş İ., ve Herdem S., 2007, Manyetik Filtreleme İşleminin ANFIS ile Modellenmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı, sayfa 415-418, Eskişehir, Türkiye.
- Öztemel, E., 2003, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Ross, T.J., 1995. Fuzzylogic With Engineering Applications. McGraw-Hill. 600 pages. ISBN:0-07-113637-1.
- Russell, S., J., and Norvig, P., 1995. Artificial Intelligence : A Modern Approach, Prentice-Hall.
- Sarıkaya M., Abbasov T, and Erdemoğlu M., 2006. Some Aspects of Magnetic Filtration Theory for Removal of Fine Particles from Aqueous Suspensions, Journal of Dispersion Science and Technology, vol. 27, pp.193–198.
- Sarıtaş, İ., 2003. Fuzzy Control of Medical Area, M.S. Thesis, Selcuk University, Konya, Turkey
- Saritas İ., Taskiran U., Unal Y., 2005. Control of Heat of Operating Room by Approach of Fuzzy Method, 4th International Advanced Technology Symposium, vol. 1, pp. 117–121.
- Saritas İ., Etik, N., Allahverdi, N., and Sert, İ. Ü., 2007. Fuzzy Expert System Design for Operating Room Aircondition Control Systems, International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'07, Rousee, Bulgaria, pp. IIA.1.1-III.A.1.8.

- Saritas, İ., Özkan, İ.A., Herdem, S., 2007. Design of A Fuzzy Expert System for a Magnetic Filter Performance According to Magnetic Field, 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO'2007, Bursa, Türkiye, pp.401-406.
- Sarıtaş İ., Özkan İ.A., ve Herdem S., 2007, Manyetik Filtrenin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı, sayfa 609-612, Eskişehir, Türkiye.
- Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Tang, K.S., Man, K.F., Chen, G., Kwong, S., 2001. An Optimal Fuzzy Controller. IEEE Transactions on Industrial Electronics 48.4: 757-765.
- Wang, L.X., 1993. Stable Adaptive Fuzzy Control of Nonlinear Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems 1, 2, 46-155.
- Wang, L.X., 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control, Pearson Education POD, 1st Edition, ISBN: 0135408822.
- Watson, J. H. P., 1973. Magnetic Filtration, J. Appl. Phys., vol. 44, pp. 4209-4213.
- WEB1, 2008, Hall Effect, Gaussmeter manuel, <http://media.fwbell.com/5100.pdf>
- WEB2, 2008, ISOIL, Flowmeter manuel, <http://www.flomotionsystems.com/manuals/EMANML110-5-FLOMO.pdf>
- Yalcintas M., Akkurt S., 2005. Artificial Neural Networks Applications in Building Energy Predictions and A Case Study for Tropical Climates, Int. J. Energy Res., Vol. 29: pp. 891–901.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Elsevier Information and Control 8.3: 338-353.
- Zadeh L. A., Kacprzyk J. (Eds.), 1992. Fuzzy Logic for the management of 46 uncertainty, (Wiley, New York).
- Zarutskaya T., and Shapiro M., 2000. Capture of Nanoparticles by Magnetic Filters, J. Aerosol Sci., Vol. 31, No. 8, pp. 907–921.
- Zezulka V., Straka P., and Mucha P., 2004. A Magnetic Filter With Permanent Magnets on The Basis of Rare Earths, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 268, pp. 219–226.