

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MEMBRAN PROSES  
VERİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çev. Müh. Beytullah EREN**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep İLERİ**

**Haziran 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MEMBRAN PROSES  
VERİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çev. Müh. Beytullah EREN**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 19 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

-----  
Prof. Dr. Recep İLERİ  
Jüri Başkanı

-----  
Y rd. Doç.Dr. Naci ÇAĞLAR  
Jüri Üyesi

-----  
Yrd. Doç.Dr. Fatih KARADAĞLI  
Jüri Üyesi

## TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmayı hazırlama s¼recinde, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen, akademik çalıŐmalarıyla ufkumu aan her zaman destek ve teŐviklerini g¼rd¼ğ¼m danıŐman hocam sayın Prof. Dr. Recep İLERİ beye, Yapay Sinir Ağları konusunda çalıŐmam için beni y¼nlendiren ve tezimin her aŐamasında yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR'a, tezimde kendisinin izni ile deneysel çalıŐmalarının sonuçlarını kullandığım İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Doç. Dr. İsmail Koyuncu beye ve tezimi yazmam s¼recince benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Muharrem AKTAŐ'a teŐekk¼r ederim.

Tez çalıŐmalarım boyunca hep yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaŐım H¼seyin Serdar K¼y¼k ve Osman Kırtel'e teŐekk¼r ediyorum. B¼t¼n çalıŐmalarımı y¼rekten destekleyen ve benden hiçbir maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teŐekk¼rlerimle birlikte sevgilerimi sunuyorum.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
MEMBRAN PROSESLER.....	3
2.1. Membran Yapıları .....	5
2.2. Membran Proseslerin İşletim Şekilleri.....	6
2.3 Membran modülleri .....	6
2.3.1. Spiral-wound membran modülü.....	7
2.3.2. Hollow-Fiber modülü .....	7
2.3.3. Tubuler modül.....	8
2.4. Basınç Sürürlü Membran Prosesler.....	9
2.4.1. Mikrofiltrasyon ( MF ).....	10
2.4.2. Ultrafiltrasyon (UF).....	11
2.4.3. Nanofiltrasyon ( NF ).....	11
2.4.4. Ters Osmoz ( TO ).....	12
2.5. Membran Performansı.....	14
2.5.1. Akı.....	14
2.5.2. Giderme verimi.....	15

2.6. Membran Performansına İşletme Şartlarının Etkisi.....	16
2.6.1. Basınç.....	16
2.6.2. Konsantrasyon .....	16
2.6.3. Sıcaklık.....	16
2.6.4. pH.....	17
2.6.5. Yatay hız (debi).....	17
2.7. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Membran Tıkanması.....	17
2.7.1. Konsantrasyon polarizasyonu.....	17
2.7.2. Membran Tıkanması (Fouling).....	19
2.8. Literatürde Kullanılan Matematik Modeller.....	20

### BÖLÜM 3.

YAPAY SİNİR AĞLARI.....	22
3.1. Giriş.....	22
3.2. Biyolojik Sinir Sistemi.....	23
3.3. Biyolojik Sinir Hücresi (Nöron).....	23
3.4. YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi.....	25
3.5. YSA'nın Özellikleri.....	26
3.5.1. Doğrusal Olma.....	27
3.5.2. Öğrenme.....	27
3.5.3. Genelleme.....	27
3.5.4. Uyarlanabilirlik.....	27
3.5.5. Hata Toleransı.....	28
3.5.6. Analiz ve Tasarım Kolaylığı.....	28
3.6. YSA'nın Yapısı.....	28
3.6.1. Girdi Katmanı.....	29
3.6.2. Ara Katman (Gizli Katman).....	29
3.6.3. Çıktı Katmanı.....	29
3.7. İşlem Elemanı .....	29
3.7.1. Girdiler.....	30
3.7.2. Ağırlıklar.....	30

3.7.3. Birleştirme Fonksiyonu.....	31
3.7.4. Aktivasyon Fonksiyonu.....	31
3.7.4.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	32
3.7.4.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu.....	32
3.7.4.3. Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu.....	33
3.7.5. Çıktı.....	34
3.8. YSA'nın Uygulama Alanları.....	35
3.8.1. Arıza ve Analiz Tespiti.....	35
3.8.2. Tıp Alanında .....	36
3.8.3. Savunma Sanayi.....	36
3.8.4. Haberleşme.....	36
3.8.5. Üretim.....	36
3.8.6. Otomasyon Kontrol.....	36
3.9. YSA Uygulamalarının Geliştirme Adımları.....	36
3.9.1. Tasarım.....	37
3.9.2. YSA'da Öğrenme.....	37
3.9.3. Hatayı Geriye Yayma Ağı Öğrenme Prosedürü.....	39
3.9.4. Test/Uygulama.....	40
BÖLÜM 4.	
ÖNERİLEN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ VE UYGULAMASI.....	41
4.1. Önerilen Model ve Programın Tanıtılması.....	43
BÖLÜM 5.	
YSA ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
5.1. YSA Analiz Çalışması.....	48
5.1.1. Tuz Konsantrasyonunun Etkisi.....	49
5.1.2. Boya Konsantrasyonunun Etkisi.....	50
5.1.3. Yatay Akış Hızı Etkisi.....	52
5.1.4. pH'ın Etkisi.....	53
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56

KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	90

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$\mu m$	: Mikrometre
ANN	: Artificial neural network
$C_{db}$	: Boya konsantrasyonu
$C_f$	: Besleme çözeltisi konsantrasyonu
$C_m$	: Membran yüzeyindeki konsantrasyon
$C_p$	: Süzüntü akımı konsantrasyonu
$C_{sb}$	: Tuz konsantrasyonu
DP	: Basınç
$J_v$	: Akı
MF	: Mikrofiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
nm	: Nanometre
pH	: pH
$R_m$	: Membran hidrolik direnci
TO	: Ters Osmoz
UF	: Ultrafiltrasyon
$v$	: Çapraz (Yatay) akış hızı
YSA	: Yapay sinir ağları
KP	: Konsantrasyon polarizasyonu



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Membran Arıtımının Şematik Gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Membran Yapılarının Şematik Gösterimi .....	5
Şekil 2.3. Membran İşletim Şekillerinin Şematik Gösterimi.....	6
Şekil 2.4. Spiral-Wound Membran Modülünün Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 2.5. Hollow-Fiber Membran Modülünün Şematik Gösterimi.....	8
Şekil 2.6. Tübüler Membran Modülünün Şematik Gösterimi.....	8
Şekil 2.7. Mikrofiltrasyon Prosesinin Şematik Gösterimi.....	10
Şekil 2.8. Ultrafiltrasyon Prosesinin Şematik Gösterimi.....	11
Şekil 2.9. Nanofiltrasyon Prosesinin Şematik Gösterimi.....	12
Şekil 2.10. Osmoz Olayının Şematik Gösterimi.....	13
Şekil 2.11. Ters Osmoz Olayının Şematik Gösterimi.....	13
Şekil 2.12. Ters Osmoz Prosesinin Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 2.13. Konsantrasyon Polarizasyonu Olayının Şematik Gösterimi.....	18
Şekil 3.1. Biyolojik Sinir Sisteminin Blok Gösterimi.....	23
Şekil 3.2. Basit Bir Biyolojik Sinir Hücresi ve Bileşenleri.....	24
Şekil 3.3. Bir Yapay Sinir Ağı Modelinin Şematik Gösterimi.....	29
Şekil 3.4. Bir İşlem Elemanının Yapısı.....	30
Şekil 3.5. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	32
Şekil 3.6. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu .....	33
Şekil 3.7. Eğitim ve Test Seti Üzerinde Hatayı Gösteren Tipik Bir Eğitim Eğrisi.....	38
Şekil 3.8. Hatayı Geri Yayma Prosedürü Örnek Şekli.....	39
Şekil 4.1. Tek Gizli Katmanlı Modelin İşlem Elemanı Sayısına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Sonuçlarının Ortalama Karesel Hataları.....	43
Şekil 4.2. Önerilen YSA Modelinin Mimarisi.....	44

Şekil 4.3. MATLAB Tabanlı Oluşturulan Programın Arayüzü.....	44
Şekil 4.4. Hata Azalım Performans Grafiği.....	45
Şekil 4.5. İstenen Hata Hedefine Ulaşılmış Grafik.....	45
Şekil 4.6. Örneklerin Performansı Arayüzü.....	45
Şekil 4.7 YSA Eğitim Setinin Performansı.....	46
Şekil 4.8 YSA Test Setinin Performansı.....	46
Şekil 4.9. YSA İstenen Sonuçlar Arayüzü.....	46
Şekil 4.10. YSA-İstenen Sonuçların Eğitim Seti İçin X=Y Grafiği Üzerinde Gösterimi.....	47
Şekil 4.11. YSA-İstenen Sonuçların Test Seti İçin X=Y Grafiği Üzerinde Gösterimi.....	47
Şekil 5.1. Tuz ve Boya Karışımı Çözeltilinde Tuz Giderme Verimine Tuz Konsantrasyonunun Etkisi.....	49
Şekil 5.2. Tuz Konsantrasyonu-Giderme Verimi İlişkisine Basıncın Etkisi.....	50
Şekil 5.3. Tuz ve Boya Karışımı Çözeltilinde Tuz Giderme Verimine Boya Konsantrasyonunun Etkisi.....	51
Şekil 5.4. Boya Konsantrasyonu-Giderme Verimi İlişkisine Basıncın Etkisi.....	51
Şekil 5.5. Tuz ve Boya Karışımı Çözeltilinde Tuz Giderme Verimine Yatay Akış Hızının Etkisi.....	52
Şekil 5.6. Yatay Akış Hızı-Giderme Verimi İlişkisine Basıncın Etkisi.....	53
Şekil 5.7. Tuz ve Boya Karışımı Çözeltilinde Tuz Giderme Verimine Ph'ın Etkisi.....	54
Şekil 5.8. pH-Giderme Verimi İlişkisine Basıncın Etkisi.....	54

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Membran Proseslerin Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırılması.....	4
Tablo 2.2. Membran Gözenek Büyüklüğü Karakteristikleri ve Uygulamaları .....	5
Tablo 2.3. Basınç Sürürlü Membran Prosesler ve Karakteristik Özellikleri	9
Tablo 3.1. Bir Sınır Sistemi ile YSA'nın Benzerlikleri.....	25
Tablo 4.1. Veri Tabanındaki Parametrelerin Minimum ve Maksimum Aralıkları.....	42
Tablo 4.2. Girdi ve Çıktı Katmanı Bilgileri.....	43

## ÖZET

Anahtar Kelimeler : Membran proses, verim, parametre, Yapay Sinir Ağları, parametrik analiz

Membran prosesler atıksuların ileri arıtılması ve geri kazanılması için son yıllarda uygulaması hızla artan teknolojilerdendir.

Bu tez çalışmasında amaç, membran prosesi veriminin belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile verime etki eden parametrelerin analiz edilmesidir. Bu amaçla öncelikle, literatürdeki membran prosesi veriminin belirlenmesinde kullanılmış olan matematiksel modeller araştırılmıştır. Literatürden toplanan 216 adet deneysel veriyi kullanarak YSA eğitildi ve test edildi. YSA çok sayıda işlem elemanı ve bağlantıdan oluşan paralel dağıtılmış bir bilgi işleme sistemidir. YSA'nın eşsizliği, onun deneysel verilerin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi hiçbir önerme ve varsayıma gereksinim duymaksızın öğrenmesi ve genelleme yapmasında yatmaktadır. YSA'dan elde edilen teorik sonuçlar, deney ve model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, MATLAB tabanlı geliştirilmiş YSA algoritması membran prosesi verimin belirlenmesinde alternatif bir metot olabilir.

# **THE ANALYSIS OF PARAMETERS INFLUENCED MEMBRANE PROCESS EFFICIENCY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

## **SUMMARY**

Key Words : Membrane Process, efficiency, parameter, Artificial Neural Network, parametric analysis

Membrane processes are recently new technology for advanced wastewater treatment and recycling.

The main purpose of this study, it has been determined efficiency of membrane process and analysis of parameters influenced efficiency using artificial neural network (ANN). Firstly for this purpose, mathematical models used in order to determine the efficiency of membrane process have been investigated. ANN is trained and tested using 216 experimental data which are collected from literature. ANN is parallel distributed information-processing system with a large number of neurons and connections. The uniqueness of ANN lies its ability to learn and generate interrelationships between the input and output of experimental data without requiring any postulates and assumptions. Obtained theoretical results from ANN were compared with experimental data and model results. Based on the results, algorithm of ANN developed from MATLAB can be an alternative method to predict the efficiency of membrane process.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Su kaynaklarının kullanıldığı en büyük potansiyel endüstri kuruluşlarıdır. Bu kaynaklarda meydana gelen azalma ve su tüketim maliyetlerindeki artış sonucu endüstrilerde, kullanılmış suların proseslerde tekrar kullanılması için atıksuların geri kazanımını gündeme gelmiştir.

Atıksular bünyesinde organik maddeler, patojenler veya hastalık yapan mikroorganizmalar, nütrientler ve toksik bileşikler gibi birçok bileşim barındırdığından dolayı çok karmaşık bir yapıya sahiptirler. Arıtılmamış olan atıksular çevrede ve insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkiye neden olurlar. Bundan dolayı atıksular uygun arıtım teknikleri kullanılarak bertaraf edilmelidir.

Atıksu arıtımındaki geleneksel metotlar, bugünkü deşarj standartlarını karşılamada başarılı olamayabilirler. Ancak, gelişmekte olan yeni arıtım metotlarından basınç işletimli membran proseslerde yapılan çalışmalar ümit vericidir ( Jacangelo ve diğ. (1998)).

Membran teknolojisi de son dönemlerde bu ihtiyacı karşılamak üzere ortaya çıkmıştır. Şimdilerde basınç sürürlü membran prosesler (Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon, Nanofiltrasyon, Ters Ozmoz) su ve atıksu arıtımında kullanılan ileri teknolojiler olarak dikkat çekmekte ve gün geçtikçe kullanımı artmaktadır (Liu (1987), Wiesner ve diğ. (1994)).

Membran proseslerin kullanılabilirliği, deniz suyunun ve acı suyun tuzsuzlaştırılması, atıksuların ve tarımsal drenaj sularının arıtılması, toksik maddeler içeren (arsenik vs.) suların arıtılarak içme suyu temininde kullanılması ve endüstriyel prosesler için yüksek kalitede saf su üretimi işlemlerinde yapılan uygulamalar ile kanıtlanmıştır (Winfield (1979), Parekh (1998), Amjad (1993), Morin (1994)).

Membran teknolojileri yalnızca süper kalitede su üretmek için kullanılmamaktadır. Bunun dışında daha birçok avantajı daha vardır. Kesiksiz ve otomatik işletme sağlayan sürekli prosesler olmaları, ne faz ne de sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi, az enerji kullanımı, belirli bir boyut sınırlandırılması olmaması, modüler olarak tasarımının yapılabilmesi, kirleticinin formu ve kimyası üzerinde etki yapmaması, otomasyonunun mümkün olması, kullanılacak alan gereksiniminin az olması, kimyasal katkı ihtiyacının olmaması, çok yüksek konsantrasyonlarda uygulanabilmesi, taşınabilir olması, herhangi bir inşaat gerektirmemesi ve maliyetinin gün geçtikçe daha da aşağılara çekilmesi gibi avantajları sayılabilir (Jacangelo (1989), Koyuncu (2001), Metcalf&Eddy (2003)).

## BÖLÜM 2. MEMBRAN PROSESLER

Membranlar, kendine bir sürücü kuvvet uygulandığında fiziksel ve kimyasal özelliklerin bir fonksiyonu olarak çözelti içindeki bazı türleri ayırma yeteneğine sahip ince bir film tabakasıdır (Wehiua (2003)). Membran, besleme çözeltisi içindeki bazı maddeleri tutarak, diğer tarafa arıtılmış suyun geçmesini sağlamaktadır. Membranlardan, molekül ve partikül transferi, homojen bölgelerden birine bir kuvvet uygulayarak gerçekleştirilmektedir. Bu kuvvet, sürücü kuvvet olarak adlandırılmakta ve membrana doğru meydana gelen potansiyel farklılığının, membran kalınlığına olan oranı olarak tarif edilmektedir. Buna göre sürücü kuvvet;

$$\text{Sürücü kuvvet} = \frac{\Delta F}{\Delta X}$$

Burada,

$\Delta F$  = Membrana doğru meydana gelen potansiyel farklılık

$\Delta X$  = Membran kalınlığı'dır.

Sürücü kuvvetler, konsantrasyon, basınç, elektriksel potansiyel ve sıcaklıktır. Tablo 2.1'de membran proseslerin sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

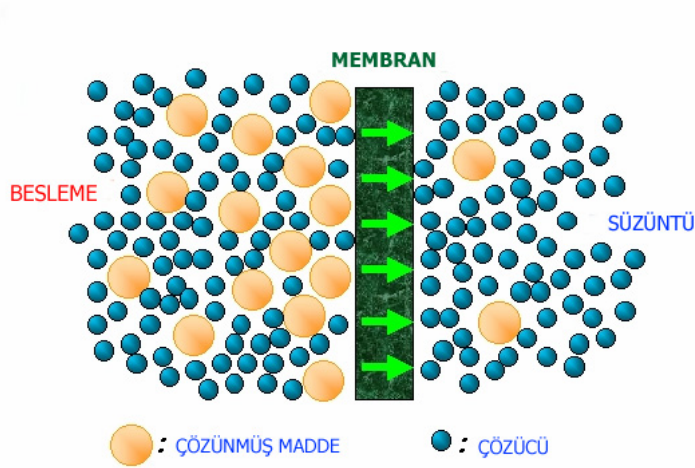
Membran prosesler de en sık kullanılan sürücü kuvvet basınçtır. Basınç sürücü kuvveti ile çalışan membran prosesler boşluk büyüklüklerine bağlı olarak Ters Osmoz (TO), Nanofiltrasyon (NF), Ultrafiltrasyon (UF) ve Mikrofiltrasyon (MF)'dur.



Tablo 2.1. Membran proseslerin sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması

Membran prose	Besleme	Süzüntü	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon	L	L	$\Delta P$
Ultrafiltrasyon	L	L	$\Delta P$
Nanofiltrasyon	L	L	$\Delta P$
Ters Ozmos	L	L	$\Delta P$
Gaz ayırma	G	G	$\Delta P$
Diyaliz	L	L	$\Delta C$
Osmoz	L	L	$\Delta C$
Pervaporasyon	L	G	$\Delta P$
Elektrodiyaliz	L	L	$\Delta E$

Membran prosesler çözülmüş maddelerin sıvılardan ve gazlardan ayrılmasını sağlamaktadır. Basınç uygulamalı membran proseslerde çözelti üzerine membranın bir tarafından sürüş gücü (driving force) olarak basınç uygulanır ve besleme çözeltisi süzüntü (permeate) ve konsantre (concentrate) şeklinde iki kısma ayrılır. Aşağıda membran ile arıtımının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Membran arıtımının şematik gösterimi

Membran proseslerde 3 faz vardır. Bunlar besleme, süzüntü, konsantre kısımlardır. Arıtma işlemi besleme fazındaki bir bileşenin membran tarafından belli oranda tutulmasıdır. Membrandan geçen akıma süzüntü geçemeyen akıma ise konsantre

denilmektedir. Konsantrasyon kısmı derişik bir çözelti halinde iken süzüntü kısmı genellikle temiz sudur.

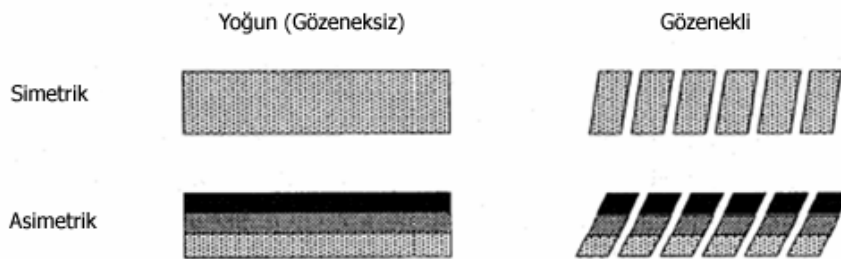
Aşağıdaki tabloda çeşitli membran proses uygulamalarını ve membran gözenek büyüklüğü karakteristiklerini göstermektedir.

Tablo 2.2. Membran gözenek büyüklüğü karakteristikleri ve uygulamaları (Weber (1999))

Membran türü	Ortalama gözenek büyüklüğü (nm)	Uygulama
Mikrofiltrasyon	200	Akıda katı maddeler, bulanıklık, patojenler
Ultrafiltrasyon	2-50	Makromoleküller, virüsler, koloidler ve protein
Nanofiltrasyon	<2	Renk, Organik maddeler, pestisidler ve metaller
Ters Ozmos	<1	Çözünmüş maddeler ve nitrat
Elektrodiyaliz	-	Yalnızca iyonik kirlenmeler

## 2.1. Membran Yapıları

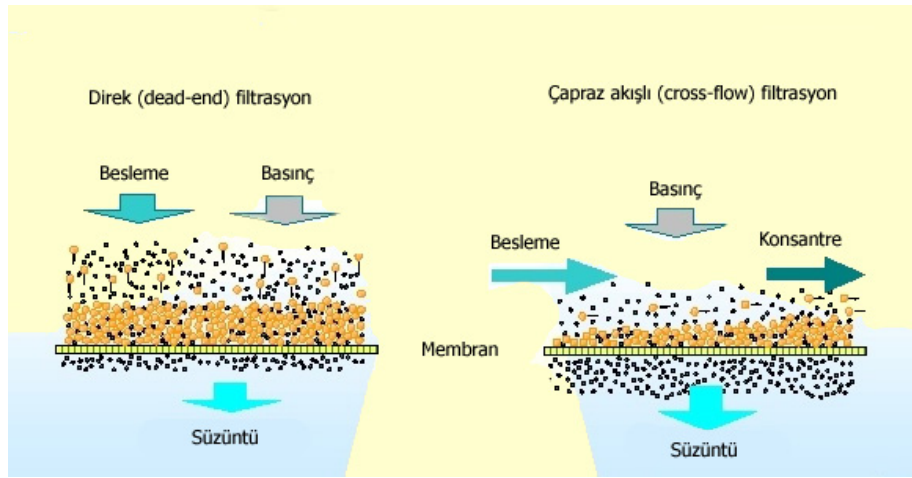
Sentetik membranlar morfolojilerine göre simetrik ve asimetrik membranlar olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.2). Simetrik membranlar tek katmanlıdır ve bir veya birkaç çeşit polimer malzemeden oluşabilir. Asimetrik membranlar ise çok katmanlıdır ve bir ya da birkaç çeşit polimer malzemeden meydana gelmektedir. Bu membranlar homojen (yoğun, gözeneksiz) veya heterojen (gözenekli) şekilde üretilmektedir.



Şekil 2.2. Membran yapılarının şematik gösterimi (Jesus (2002))

## 2.2. Membran Proseslerin İşletim Şekilleri

Membran proseslerde genellikle iki tür işletim şekli vardır. Bunlar direk filtrasyon (dead-end filtration) ve çapraz akışlı filtrasyon (cross-flow filtration)'dur. Direk filtrasyonda besleme çözeltisi membran yüzeyine dikey olarak uygulanır. Bu durumda giderilen çözünen maddeler membran yüzeyinde birikerek bir kek tabakası oluşturur. Bu kek tabakasının kalınlığı zamanla artar. Sonuç olarak akı değerinde ve giderim oranında bir azalma meydana gelir. Bu olay membran proseslerde istenmeyen bir durumdur. Çapraz akışlı membran filtrasyon en çok endüstrilerde kullanılmaktadır. Burada besleme çözeltisi membran yüzeyine yatay olarak uygulanmaktadır. Bu yüzden tıkanma olayı direk filtrasyona göre daha az olmaktadır. Bunun yanında akı ve giderim oranındaki azalma doğru modül seçilmesi ve uygun çapraz akış hızı ile minimize edilebilir. Şekil 2.3'de membran işletim şekilleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Membran işletim şekillerinin şematik gösterimi

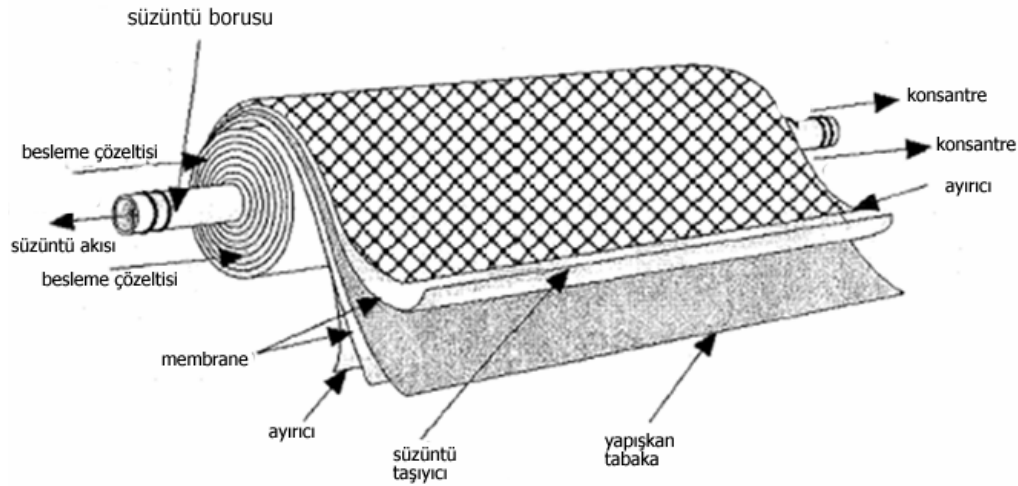
## 2.3. Membran modülleri

Endüstriyel membranlar çeşitli konfigürasyonlarda tertip edilmektedir. Bunlar tubuler, hollow-fiber, flat-sheet, veya spiral-wound konfigürasyonlarıdır. Spiral-wound membran modülü verime ve ekonomiye olan etkisinden dolayı çapraz akış işletim proseslerinde çok popülerdir. Flat-sheet modülü basınç sürümlü membran proseslerde deneysel çalışmaların dışında genellikle kullanılmaz. Hollow-fiber

modülü ise genellikle hemodiyaliz ve gaz ayırmada kullanılmaktadır. Tubuler modül genellikle gıda endüstrilerinde (yüksek belseme çözeltisi olan) kullanılmaktadır (Jesus (2002)).

### 2.3.1. Spiral-wound membran modülü

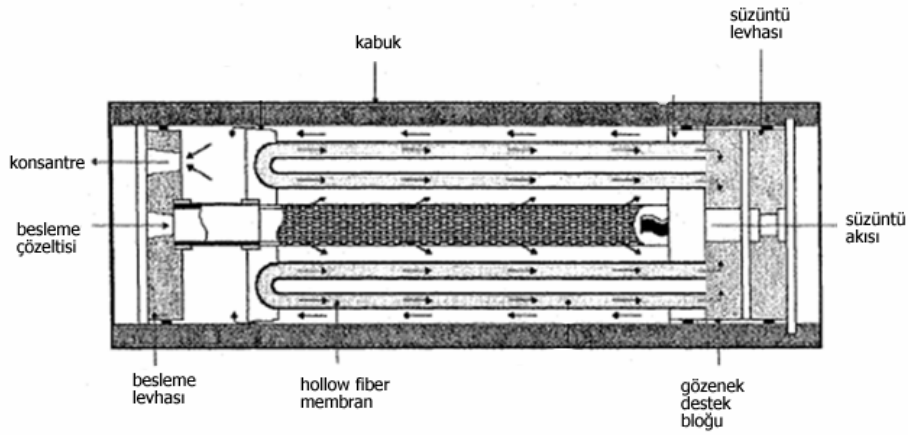
Bu modül silindire sarılmış olan bir plaka olarak düşünülebilir. Bu sargılı tasarım yüksek süzuntu akısı üretmek için büyük bir membran yüzey alanını ve uygun akışkan dinamikleri sağlamaktadır. Avantajları: Bir seride birkaç modül işletilmesi, ucuz olması, geniş basınç aralığı ile çalışması gibi avantajları vardır. Dezavantajları: ön artıma gerektirir ve temizlenmesi zordur.



Şekil 2.4. Spiral-wound membran modülünün şematik gösterimi (Jesus (2002))

### 2.3.2. Hollow-Fiber modülü

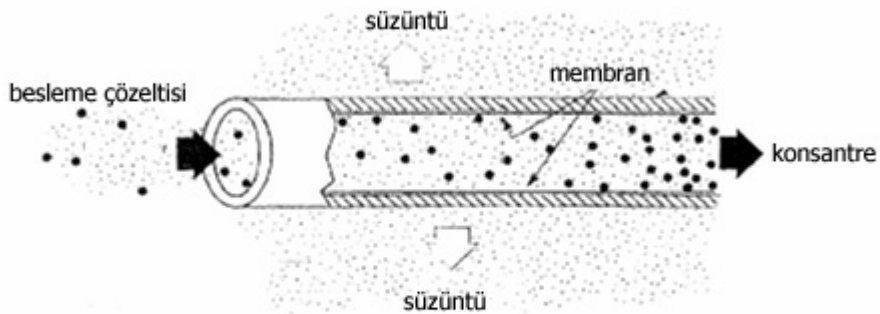
Bu modül kabaca her biri insan saçı büyüklüğünde bir çok lifden meydana gelmektedir. Her bir gövdede binlerce lif sıkıca bir araya getirilmiştir. Basınçlı besleme çözeltisi liflerin dışına doğru yavaşça akar ve temiz su merkeze doğru süzülür ve süzuntu bir yerde toplanır. Avantajları: Yüksek membran yüzey alanı ve yüksek akış oranıdır. Dezavantajları: Modül çok sıkı bir yapıda olduğundan meydana gelecek olan tübüler akımın şiddetli tıkanmalara sebep olmaması için ön arıtım gerekmektedir.



Şekil 2.5. Hollow-fiber membran modülünün şematik gösterimi (Jesus (2002))

### 2.3.3. Tubuler modül

Tubuler modül en basit modül konfigürasyonudur. Bu modülde membran tüp şeklindeki delikli bir borunun iç kısmına yerleştirilmiştir. Bu borularda 6-40 nm büyüklüğünde gözenekler vardır. Süzüntü besleme çözeltisi membrandan süzülerek bu deliklerden geçer. Avantajları: yüksek konsantrasyonlarda çalışma, tıkanmaya karşı dirençli olması, kolaylıkla temizlenmesi, minimum ön arıtma gerektirmesi gibi avantajları vardır. Dezavantajları: yüksek sermaye ve enerji fiyatları, düşük membran yüzey alanıdır.



Şekil 2.6. Tubuler membran modülünün şematik gösterimi (Jesus (2002))

## 2.4. Basınç Sürürlü Membran Prosesler

Endüstrileşmenin artması birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Endüstriyel atıksular çok miktarda organik bileşikler, nütrientler veya toksik maddeler içermektedir. Bu yüzden bu atıksuların uygun arıtım teknolojileri kullanılarak arıtılması gerekmektedir. Arıtılmış atıksular ya doğrudan yüzeysel sulara deşarj edilir ya da proseslerinde büyük miktarda yeraltı suyu kullanan endüstriyel kuruluşların (tekstil fabrikaları, bira fabrikaları vs.) su ihtiyaçlarını karşılamak için proseslerde yeniden kullanılır. Bu konuda bu güne kadar klasik metotlar (koagülasyon/flokülasyon, biyolojik arıtma ve kum filtrasyon) kullanılmıştır. Fakat bunlar tam anlamıyla ihtiyacı karşılayamadığından yeni tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Basınç sürürlü membran prosesler (MF, UF, NF, TO) bu konuda en ümit verici tekniklerden biridir.

Bu prosesler çözümlü maddelerin sıvılardan ve gazlardan ayrılmasını sağlamaktadır. Şöyle ki burada çözeltili üzerine membranın bir tarafından sürüş gücü (driving force) olarak basınç uygulanır. Uygulanan basınç membranın karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Tablo 2.3’de basınç sürürlü membran proseslerin karakteristik özellikleri verilmiştir

Tablo 2.3. Basınç sürürlü membran prosesler ve karakteristik özellikleri

	Mikrofiltrasyon(MF)	Ultrafiltrasyon (UF)	Nanofiltrasyon (NF)	Ters Osmos (TO)
Geçirimsizlik(lt/m <sup>2</sup> *sa*bar)	>1000	10-1000	1.5-30	0.05-1.5
Basınç(bar)	0.1-2	0.1-5	3-20	5-120
Gözenek büyüklüğü(µm)	100-10000	2-100	0.5-2	<0.5
Giderim				
<i>Tek değerli iyonlar</i>	-	-	-	+
<i>Çift değerli iyonlar</i>	-	-/+	+	+
<i>Küçük organik bileşikler</i>	-	-	-/+	+
<i>Makromoleküller</i>	-	+	+	+
<i>Partiküller</i>	+	+	+	+
Ayrırma mekanizması	eleme	eleme	eleme-yük etkisi	çözünme-difüzyon
Uygulama Alanları	Arıtma Ön arıtma Bakterilerin giderimi	Makromoleküllerin, bakteriler ve virüslerin giderimi	Küçük organik maddelerin ve çift değerli iyonların giderimi	Süper saf su üretimi ve Tuzsuzlaştırma

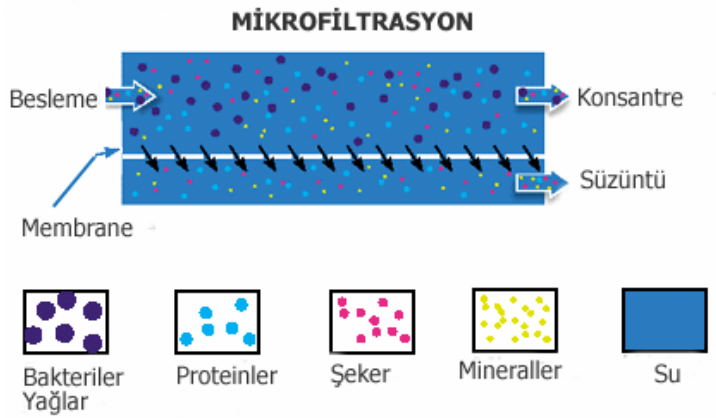
Bu prosesler askıda katı maddelerden (MF) küçük organik moleküller ve iyonların (TO) giderimine kadar çok geniş bir aralıkta kullanılmaktadır. Burada doğru prosesin seçimi en önemli noktalardan biridir ve bunu belirleyen etken sadece su kalitesi değil

aynı zamanda arıtım maliyetleridir. Doğru prosesin seçimi ve uygulanması için bütün basınç sürürlü membran proseslerin çok iyi anlaşılması gerekmektedir (Bruggen ve diğ. (2003)).

#### 2.4.1. Mikrofiltrasyon ( MF )

Mikrofiltrasyon en eski basınç sürürlü membran proseslerden biridir. Mikrofiltrasyon ile büyüklükleri 0,05-5  $\mu m$  arasında değişen partiküller ve organizmalar giderilmektedir (Koyuncu (2001)). Çok düşük membran direncine sahip olduğundan dolayı düşük basınç altında işletilmekte ve ortalama 2 bar'a kadar olan basınçlarda çalıştırılmaktadır. İşletme sırasında oluşan konsantrasyon polarizasyonu ve katı kek tabakasının etkisini minimuma indirmek için yatay akış hızı değiştirilir.

Mikrofiltrasyon prosesi bakteriler, yağlar, proteinler ve mantarlar gibi yüksek moleköl ağırlıklı bileşiklerin gideriminin de, kimyasal, biyolojik, farmakolojik ve gıda çözeltilerinin arıtımında ve atıksu arıtmada kullanılır. Bu proses aynı zamanda diğer membran proseslerde soruna yol açacak maddelerin giderilmesi için ön arıtım yöntemi olarak kullanılmaktadır.



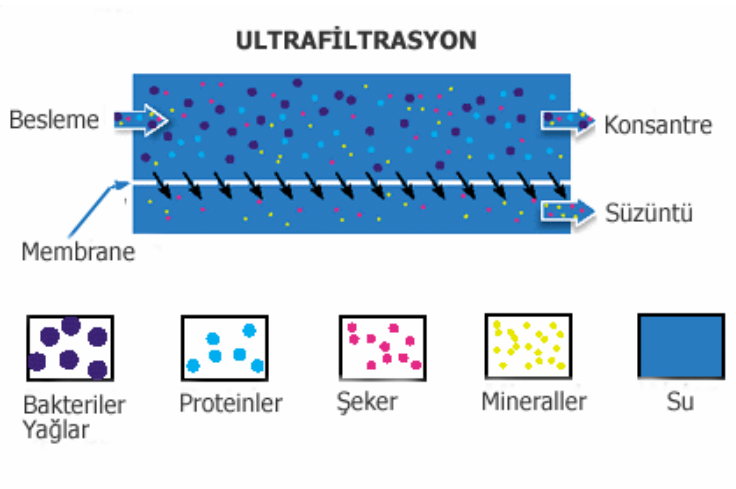
Şekil 2.7 Mikrofiltrasyon prosesinin şematik gösterimi

### 2.4.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon membranlarının gözenek büyüklükleri 0,05-1 nm arasında değişmektedir. Uygulanan basınç 1-10 bar aralığındadır (Koyuncu (2001)). Ultrafiltrasyon membranları da mikrofiltasyon membranları gibi yatay akışlı olarak işletilmektedir.

Bu prosede genellikle askıda katı maddeler, koloidal maddeler, bakteriler ve yüksek molkül ağırlıklı maddelerin giderilmesi için kullanılırlar. Ayırmadaki temel etken molekül büyüklükleridir (Yıldız (1995)).

Ultrafiltrasyon membranları ters osmoz prosesi öncesinde konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmayı önlemek için ön arıtım amaçlı kullanılmaktadır. Böylelikle ters osmoz membranlarının ekonomik ömrü uzatılmış olur.



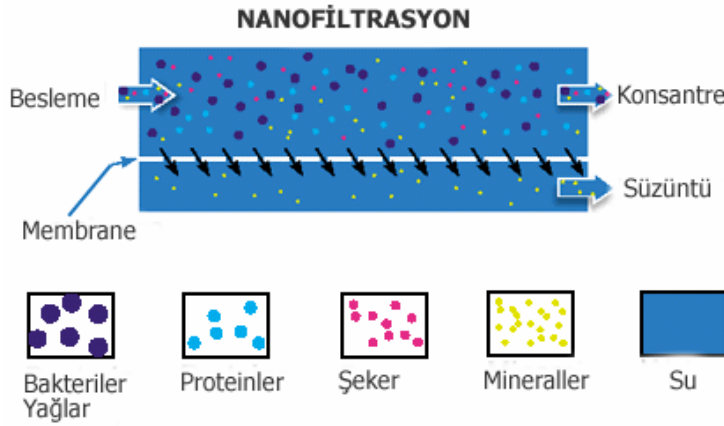
Şekil 2.8. Ultrafiltrasyon prosesinin şematik gösterimi

### 2.4.3. Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon, gözenek büyüklüğü bakımından ters osmoz ve ultrafiltrasyon prosesleri arasında bulunan yeni bir membran prodestir ve her ikisinin de özelliklerine sahiptir. Bu proses TO ve UF'un uygun bir çözüm olmadığı durumlarda kullanılır. Örneğin demineralizasyon, renk giderimi için TO ve UF ekonomik bir



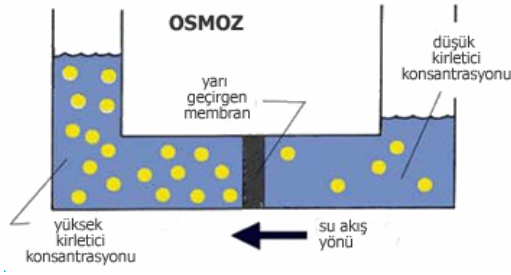
çözüm olmaz ise nanofiltrasyon kullanılabilir. NF membranlardan sadece boyutu 1 nm den daha küçük olan moleküller geçmektedir. Nanofiltrasyon ile arıtılmış su tek değerlikli iyonlar ve düşük molekül ağırlıklı organik maddeler içerir. NF membranlar su yumuşatma, boya geri dönüşümü, tuz giderimi, ürün ayırma ve atıksu artımında kullanılmaktadır (Koyuncu ve diğ. (2001)).



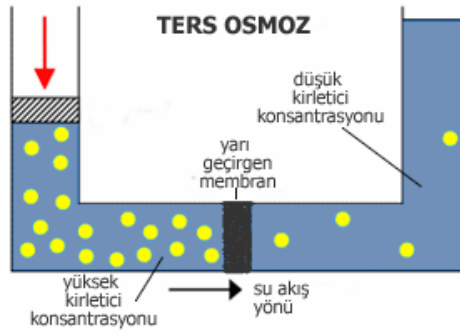
Şekil 2.9. Nanofiltrasyon prosesinin şematik gösterimi

#### 2.4.4. Ters Osmoz ( TO )

Ters Osmoz prosesini anlayabilmek için öncelikle osmoz olayını anlamak gerekir. Osmoz (Şekil 2.10) doğada gerçekleşen doğal bir olaydır. Şöyle ki yarı-geçirgen bir membranın iki tarafında sıvı bulunur. Bu iki sıvının içindeki iyonların konsantrasyonu birbirinden farklıysa yüksek konsantrasyona sahip sıvı tarafına doğru düşük konsantrasyonlu sıvıdan su geçişi olur ancak iyon geçişi olmaz. Böylece yüksek konsantrasyonlu sıvıya doğru bir saf su akışı olduğu için bu sıvının içindeki iyon konsantrasyonu düşmeye başlar. Düşük konsantrasyondaki sıvı içinde su miktarı da azaldığından bu sıvıda konsantrasyon yükselmeye başlar. Böylece iki sıvı arasındaki konsantrasyon farkı azalarak eşitlenir yani dengeye ulaşır. Bu olaya osmoz denilmektedir.



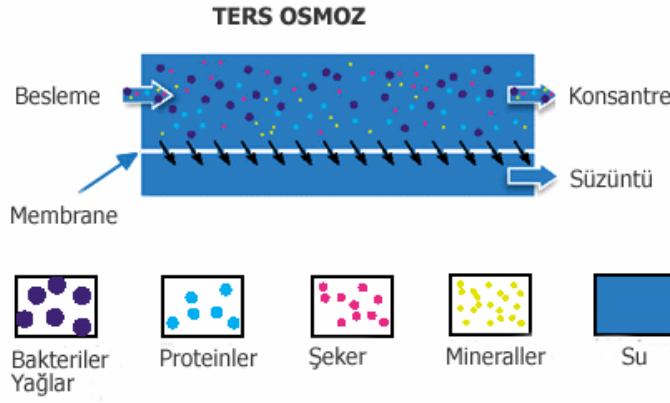
Şekil 2.10. Osmoz olayının şematik gösterimi



Şekil 2.11. Ters Osmoz olayının şematik gösterimi

Ters osmozun temel ilkesi membran içerisinden yalnızca su geçişine izin vermesidir. Bunun dışında kalan bütün maddeler (tuz, şeker vs.) membran tarafından tutulmaktadır. Arıtılan su kimyasal, fiziksel ve bakteriyolojik olarak saftır. Ters osmoz sistemlerinde kullanılan ve arıtma işleminin gerçekleştiği membranlar ham su içindeki bazı iyonlara karşı oldukça hassastırlar ve bu sebeple iyi bir ön arıtma sistemine ihtiyaç duyarlar.

Ters osmoz (Şekil 2.11), doğal osmoz olayının basınç kullanılarak ters yönde gerçekleştirilmesi ve saf su elde edilmesi işlemidir. Yani yüksek konsantrasyonlu sıvı bölgesine yüksek basınç uygulayarak (osmotik basınçtan çok daha yüksek), yüksek konsantrasyonlu sıvıdan düşük konsantrasyonlu sıvıya saf su geçişi sağlanır. Böylece yüksek konsantrasyona sahip sıvının iyon konsantrasyonu gittikçe artar ve sistemden deşarj edilir. Düşük konsantrasyonlu sıvıya doğru saf su geçişi olduğundan bu sıvının konsantrasyonu gittikçe düşerek saf suya yaklaşır ve arıtılmış su olarak kullanıma sevk edilir.



Şekil 2.12. Ters Osmoz prosesinin şematik gösterimi

## 2.5. Membran Performansı

Membranların performansını belirlemek için iki anahtar parametre vardır. Bunlar süzüntü akışı ve giderme verimidir (Mackey (1999)).

### 2.5.1. Akı

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarı olarak tarif edilir. Akı  $m^3 / m^2 .sn$  ve ya  $lt / m^2 .saat$  gibi birimlerle ifade edilmektedir. Filtrasyon başlangıcında temiz su akışı Darcy kanununa göre aşağıdaki ilişki ile ifade edilmektedir.

$$J = \frac{\Delta P}{\mu . R_m} \quad (1)$$

Burada,

$J$  : Akı,

$\Delta P$  : Mebrandaki basınç farkı,

$\mu$  : Akışkanın Vizkositesi,

$R_m$  : Membran hidrolik direnci,

olarak tanımlanmaktadır. Denklemden de anlaşılacağı üzere membran filtrasyonda, membrandan geçen süzüntü akımı, membrana uygulanan basınç ( $\Delta P$ ) ile doğru orantılıdır.

### 2.5.2. Giderme verimi

Giderme verimi, membran sisteminde membran tarafından tutulan kısmın bir ölçüsüdür ve % olarak ifade edilmektedir. Membranlarda giderme verimi R ile gösterilir ve boyutsuzdur. Bu ifade 0 ile 1 arasında değişmektedir. “0” bütün çözümlü maddelerin membranda geçtiğini “1” ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini göstermektedir (Koyuncu (2001)).

Membran proseslerde iki çeşit giderme verimi söz konusudur. Bunlar global (gözlenen) giderme verimi ( $R_0$ ) ve lokal (gerçek) giderme verimi ( $R_g$ )’dir. Global giderme verimi, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile besleme akımı konsantrasyonu arasındaki giderme verimini ifade ederken (denklem 2), lokal giderme verimi, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile çözeltinin membran yüzeyindeki konsantrasyonu arasındaki ilişkiden hesaplanarak belirlenen giderme verimini ifade etmektedir (denklem 3).

$$R_0 = \frac{c_f - c_p}{c_f} = 1 - \frac{c_p}{c_f} \quad (2)$$

$$R_g = \frac{c_m - c_p}{c_m} = 1 - \frac{c_p}{c_m} \quad (3)$$

Burada ,

$c_p$  : Süzüntü akımı konsantrasyonu,

$c_f$  : Besleme suyu konsantrasyonu,

$c_m$  : Membran yüzeyindeki konsantrasyonu,

İfade etmektedir.

## 2.6. Membran Performansına İşletme Şartlarının Etkisi

Membranların performansı, membran karakteristiklerine ve belseme suyunun özelliklerine göre değişmektedir. Ayrıca basınç, konsantrasyon, sıcaklık, pH ve yatay hızında membran performansı üzerinde etkisi vardır ([www.milipore.com](http://www.milipore.com)).

### 2.6.1. Basınç

Denklem 1'de de görüldüğü gibi basıncın artması akıyı da artırmaktadır. Konsantrasyon polarizasyonu etkisi söz konusu olduğunda eğer jel tabakasının direnci membran direncinden daha düşükse işletme basıncının artması ile akı değeri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Fakat jel tabakasının direnci membran direncinden büyük olduğun durumda basıncın artması ile akı değeri bir noktaya kadar artacak burada bir düzlüğe ulaşır ve bundan sonra basıncın artması akı değerini azaltabilir.

### 2.6.2. Konsantrasyon

Membran tarafından giderilen türlerin konsantrasyonu ne kadar az olursa akı değeri o kadar fazla olmaktadır. Çünkü belseme suyunun konsantrasyonun da meydana gelen artma aynı zamanda osmotik basınçta artış meydana getirmekte ve buda membrana uygulanan net basıncı azaltmaktadır. Dolayısıyla akı değerinde de azalma meydana gelmektedir (Koyuncu (2001)).

Aynı zamanda belseme suyunda çözünen maddelerin konsantrasyonunda meydana gelen artış membranın işletilmesi süresince membran üzerindeki çözünmüş madde konsantrasyonu artırmakta ve artan viskozite sonucu akı değerinde azalmaya neden olan konsantrasyon polarizasyonu meydana gelmektedir ([www.milipore.com](http://www.milipore.com)).

### 2.6.3. Sıcaklık

İşletme sıcaklığının artırılması normalde akı değerini de artırmaktadır. Yüksek sıcaklıklar çözünen maddenin difüzyon oranını artırmakta, çözücünün ise viskozitesini azaltmaktadır. Sıcaklıkta meydana gelen 1°C'lik artış akı değerinde %3-3.5 civarında bir artış meydana getirmektedir. En uygun sıcaklık değeri ekipmanın ve çözünen maddenin müsaade ettiği en yüksek sıcaklık değeridir.

#### 2.6.4. pH

Çözeltinin pH değerinde meydana gelen değişim genellikle çözünen maddelerin çökmesine neden olmaktadır. Buda membranda akı azalmasına neden olan ve istenmeyen bir durumdur. Bunu önlemek için en uygun pH değeri belirlenerek o pH değerinde çalışılmalıdır.

#### 2.6.5. Yatay hız (debi)

Yatay hız membran yüzeyinde meydana gelen konsantrasyon polarizasyonu etkisini azaltan en önemli faktörlerden birisidir. Yatay hız arttıkça membran yüzeyinde türbülans artmakta buda membran yüzeyinde oluşan kek tabakasının hidrolik direncini ve konsantrasyon polarizasyon tabakasının kalınlığını azaltmaktadır. (Koyuncu (2001))

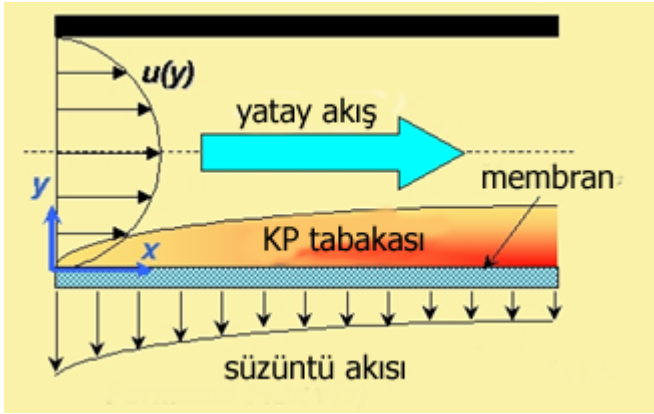
### 2.7. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Membran Tıkanması

Membran filtrasyon prosesinin performansı ve ekonomikliğı büyük ölçüde süzüntü akısına bağlıdır. Süzüntü akısında düzensizleşmelere neden olan iki önemli faktör vardır. Bunlar konsantrasyon polarizasyonu ve membran tıkanmasıdır. Bu iki olay membranı hem performansını etkiler hem de ekonomikliğini etkiler (Chellam ve diğ (1992)).

#### 2.7.1. Konsantrasyon polarizasyonu

Konsantrasyon polarizasyonu (KP) membran proseslerin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Konsantrasyon polarizasyonu olayı çözünen maddenin özellikleri, membranın karakteristikleri ve hidrodinamikler tarafından kontrol edilmektedir (Kim ve diğ.(2005)). Konsantrasyon polarizasyonu olayı suyun membrandan serbestçe geçmesi ve çözelti içerisindeki çözünmüş maddelerin membran tarafından tutulması sonucunda meydana gelmektedir ( Cornelissen ve diğ. (2005)).

Membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde birikmektedir. Bu da zamanla membran yüzeyinde konsantrasyon artışına sebep olmaktadır. Yatay akışlı bir membran prosesde, membrana yakın kısımlarda akışkanın hızı azalmaktadır. Membran yüzeyindeki hız azalmasının sebebi, viskoziteden dolayı kayma gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Yüzeyde akışkan hızı sıfır olmakta ve sınır tabakası teşekkül etmektedir. Bu sınır tabakasındaki konsantrasyon artışı, konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır (Koyuncu (2001)).



Şekil 2.13. Konsantrasyon polarizasyonu olayının şematik gösterimi

KP olayı pratikteki membran filtrasyon uygulamalarında önemlidir. Çünkü KP membran proseslerde verimi azaltıcı bir etki göstermekte ve membranın tersinmez (irreversible) tıkanma olayına doğru ilk adımı temsil etmektedir. Bununla birlikte membranın tıkanma olayının aksine KP tabakasının oluşumu kolayca tersinir. Bu tabaka eğer membrandaki basınç farklılığı giderilirse dağıtılabilir ( Aireya ve diğ. (1998) ).

Konsantrasyon polarizasyonu etkisini azaltmak için en etkili ve en basit yöntem, membran yatay hızının artırılmasıdır. Genellikle düşük molekül ağırlıklı maddelerin tutulması konsantrasyon polarizasyonu olayını artırır. Yüksek konsantrasyonlarda bu tabaka ikinci bir membran gibi davranır (www.milipore.com).

KP olayı membran proseslerinde daha fazla süzüntü oranı (akı) arzu edilmesinden beri önemini artırmıştır. Bu olayın tam olarak anlaşılması için bu alanda daha fazla çalışma yapılmaya başlanmıştır (Song (1995)). Konsantrasyon polarizasyonu

olayının tam olarak anlaşılması membran proseslerin optimizasyonu ve tasarımı için önemlidir ( Subramani ve diğ. (2005)).

### 2.7.2. Membran Tıkanması (Fouling)

Membran tıkanması membran yüzeyi üzerinde, çözünen maddelerin ve/veya çok küçük partiküllerin birikmesi, tortu oluşturması sonucunda meydana gelen ve membran akısında tersinmez azalmaya neden olan bir olaydır. Bu olay aynı zamanda küçük çözünmüş maddelerin membran gözenekleri içinde ve yüzeyde çökmesi ve kristalleşmesi sonucunda da meydana gelir (IUPAC (1996)). Tıkanma membran filtrasyon prosesinde en büyük problemlerden biridir. Tıkanma membran yüzeyi üzerinde süzüntü akısına karşı ek bir direnç oluşturur ve süzüntü akısında önemli bir azalma meydana gelir (Fane ve diğ. (1987)). Tıkanma membranda tersinmez zararlara, akı oranında azalmaya ve işletme fiyatlarında artışa neden olabilir (Visvanathan ve diğ. (2002), Del Pino ve diğ. (1999), Barger ve diğ. (1991), Zhu ve diğ. (1995)).

Tıkanma olayının membran performansı üzerindeki bu zararlı etkileri sonunda membranın işletilmesi ve bakım masraflarında artmasına neden olur. Bu yüzden bu yeni teknolojiyi daha ekonomik bir şekilde kullanmak için tıkanma olayının mekanizmasını anlamak fevkalade önemlidir (Lipp ve diğ. (1994), Mulder (1992)).

Membranı tıkayan maddeler (foulant) kabaca dört kategoride sınıflandırılmıştır.

1. Çözünmüş organik maddeler,
2. Kolloid veya partikül maddeler,
3. Çözünmez inorganik bileşikler,
4. Biyolojik türler (Bakteri,alg vs) (Potts ve diğ. (1984), Wend ve diğ. (2003), Brehant ve diğ. (2002)).

Bu maddeler arasında çözünmüş doğal organik maddeler ve askıda koloidal partiküller doğal suların membran filtrasyonun da birincil membran tıkanma



sebepleri olarak tespit edilmiştir (Lahoussine-Turcado ve diğ. (1990), AWWA Committee (1992)).

Membran yüzey tıkanmasının başlıca dört türü vardır. Bunlar kireçlenme (scaling) organik tıkanma, koloidal tıkanma ve biyolojik tıkanma problemleridir. Kireçlenme membran yüzeyi üzerine besleme çözeltileri içindeki minerallerin birikerek bir tabaka oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Organik tıkanma, membran yüzeyi ve besleme çözeltileri özelliklerine bağlı olarak, membran yüzeyine organik maddelerin adsorpsiyonu sonucunda oluşmaktadır. Koloidal tıkanma, askıda ve koloidal maddelerin membran yüzeyinde birikmesi sonucu oluşurken biyolojik tıkanma membran yüzeyinde biyolojik türlerin gelişmesi sonucunda meydana gelir (Basu ve diğ. (2002), Visvanathan ve diğ. (2002)).

Membranın tıkanmasına neden olan problemlerden kurtulmak için besleme çözeltilerinin ön arıtıma tabi tutulması önemlidir. Mesela, kireçlenme olayına neden olan karbonat iyonlarını gidermek için ortama asit ilave edilmektedir. Organik tıkanma, geri yıkama veya ortama asit ilavesi gibi fiziksel mekanizmalar ile kontrol edilmektedir ( Basu ve diğ. (2002)). Biyolojik tıkanma ise ortama sürekli kimyasal dezenfektanlar ilavesi ile veya ultraviyole ışınlar yardımı ile minimize edilmeye çalışılır. Diğer ön arıtma metotları ise granüler aktif karbon kullanma, pH ayarlama ve membranın periyodik temizlenmesidir ( Wend ve diğ. (2003), Visvanathan ve diğ. (2002), Brehant ve diğ. (2002)).

## **2.8. Literatürde Kullanılan Matematik Modeller**

Literatürde iki çeşit matematiksel modele rastlanmıştır. Bunlardan ilki membran yüzeyindeki konsantrasyon polarizasyon etkisinin ihmal edildiği Perry-Linder (1989) modeli, diğeri ise bu modelden esinlenerek geliştirilmiş konsantrasyon polarizasyon etkisinin dikkate alındığı Koyuncu (2001) modelidir.

$$R_s = 1 - \frac{(1 - \sigma) \cdot \left(1 + \frac{\nu \cdot c_{xm}}{c_{sm}}\right)^{0.5}}{1 - \sigma \cdot \exp\left(\frac{(1 - \sigma) \cdot J_v}{P_s}\right)}$$

Perry-Linder Modeli (1989)

(Konsantrasyon polarizasyon etkisi ihmal edilmiştir.)

Burada;

$R_s$  = Gerçek tuz giderme verimi,

$\sigma$  = Membrandaki geri dönüşüm katsayısı,

$c_{xm}$  = Çözelti içindeki organik iyonu konsantrasyonu,

$c_s$  = Çözelti içindeki tuz iyonu konsantrasyonu,

$\nu$  = Çözelti içindeki organik iyonunun yükü,

$J_v$  = Membrandan geçen akı,

$P_s$  = Çözelti içindeki çözünen maddenin geçirimsizlik katsayısını

ifade etmektedir.

$$R_{sg} = 1 - (1 - R_0) \cdot (\alpha) \cdot \left(1 + \frac{\nu \cdot c_{db}}{\alpha \cdot c_{sb}} \exp\left(\frac{J_v}{k_d}\right)\right)^{0.5}$$

İsmail Koyuncu Modeli (2001)

(Konsantrasyon polarizasyon etkisi dikkate alınmıştır.)

Burada;

$R_{sg}$  = Organik iyon varlığında gerçek tuz giderme verimi,

$R_0$  = Yalnızca tuz iyonu varlığında tuz giderme verimi,

$c_{db}$  = Çözelti içindeki boya iyonu konsantrasyonu,

$c_{sb}$  = Çözelti içindeki tuz iyonu konsantrasyonu,

$\nu$  = Çözelti içindeki organik iyonunun yükü,

$J_v$  = Membrandan geçen akı,

$\alpha$  = Tuz giderimine jel polarizasyonun etkisi ,

$k_d$  = Kütle transferi katsayısını

ifade etmektedir.

## **BÖLÜM 3. YAPAY SİNİR AĞLARI**

Bu bölüm, membran proseslerin verimini belirlemede kullandığımız Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniğinin temel prensiplerini içermektedir. Burada YSA kavramı sunulmuş ve YSA'nın temel özellikleri verilerek genel tanımı yapılmıştır. Sinir ağı topolojisi, işlem elemanın yapısı ve YSA'yı oluşturan elemanların özelliklerine değinilmiştir. YSA uygulamalarının oluşturma adımları olan; tasarım, öğrenme ve test aşamaları açıklanmıştır.

### **3.1.Giriş**

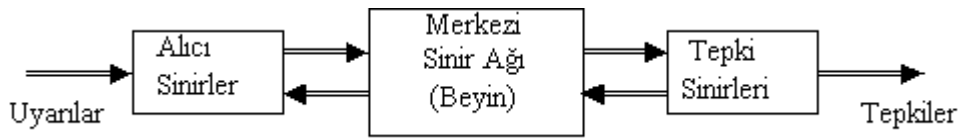
Yapay Sinir Ağları, Yapay Zeka Biliminin bir alt dalıdır ve insan beyninin varsayılan çalışma prensibini kendine model edinmiş yapay sistemlerdir. YSA öğrenme kabiliyeti, adaptasyonu, az bilgi ile çalışabilme özelliği, hızlı çalışması ve tanımlama kolaylığı ile modern bilimin en popüler konularının başında gelmektedir.

Yapay sinir ağı modelleri, algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile bilinen modellerden farklıdır. Bu özellikleri sayesinde YSA, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan hesapları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yapabilir. Algoritmik olmayan ve çok yoğun paralel işlem yapabilen YSA, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olmuştur (Çağlar (2001)).

YSA insan beynindeki sinir hücrelerinin öğrenme kabiliyetinin modellenmesi çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. İnsanın biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işleme sistemidir. Aşağıda biyolojik sinir sisteminden ve bir sinir hücresini oluşturan elemanların YSA'da nelere karşılık geldiğinden bahsedilmiştir.

### 3.2. Biyolojik Sinir Sistemi

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinde ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyine bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beyinin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 3.1’de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



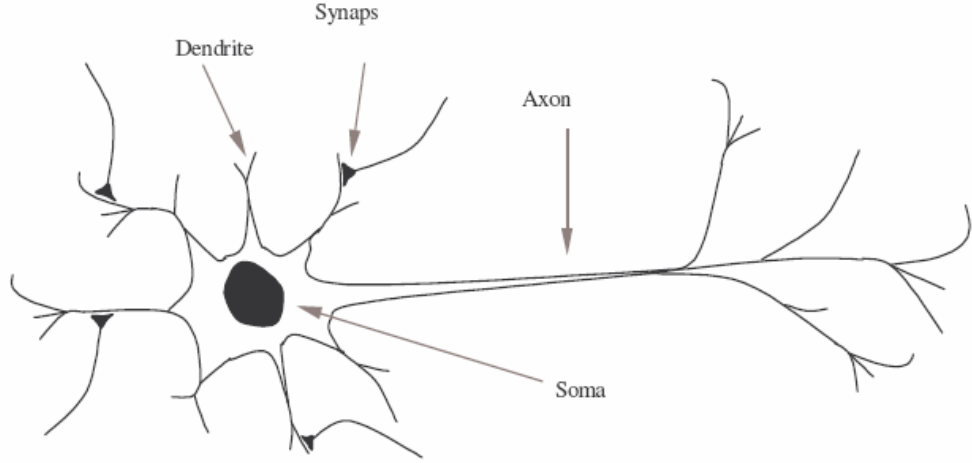
Şekil 3.1. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron) ve insan beyinde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir.

### 3.3. Biyolojik Sinir Hücresi (Nöron)

Sinir Hücreleri, sinir sisteminin temel işlem elemanıdır. Birbiriyle bağlantılı iki nöronun akson, dendrit, sinaps ve hücre gövdesi (soma) olmak üzere dört önemli bölümü bulunmaktadır.

- Dendrit
- Hücre Gövdesi (Soma)
- Akson
- Sinaps



Şekil 3.2. Basit bir biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri.

**Dendrit** : Nöronun ağaç köküne benzeyen, görevi hücreye girdilerin sağlanması olan uzantılardır.

**Hücre Gövdesi (Soma)** : Bir nöronun gövdesine soma adı verilir. Soma nucleus adı verilen hücre çekirdeğini içermektedir. Hücrenin yaşamasını sağlayan işlevleri görür. Sinapslar aracılığıyla dendritlere geçirilen iletiler birleşerek akson üzerinde elektriksel bir çıktı oluştururlar. Bu çıktının olup olmayacağı veya çıktının elektriksel olarak yoğunluğu, sinapsların etkileri sonucu hücreye gelen tüm girdilerin, toplam değeri tarafından belirlenmektedir. Somaya gelen girdilerin ağırlıklı toplamı akson üzerinde çıktı oluşturacak değere ulaştığında, bu değere "eşik değer" adı verilmektedir. Bu şekilde girdiler nöron tarafından değerlendirilerek çıktıya dönüştürülmüş olur.

**Akson:** Hücre çıktısını göndermeye yarayan uzantısıdır. Bir hücrenin tek bir akson uzantısı bulunur. Ancak bu akson uzantıdan çıkan çok sayıda uzantı ve bunların ucunda sinaptik bağlantılar bulunur.

**Sinaps:** Sinapslar, sinir hücrelerindeki aksonların, diğer sinir hücreleri ve/veya onların dendritleri üzerinde sonlanan özelleşmiş bağlantı noktalarıdır. Bu bağlantı noktalarının görevi aksondaki elektriksel iletinin diğer hücrelere aktarılmasıdır. Bu bağlantı noktalarında iletiler elektro-kimyasal süreçlerle diğer hücrelere geçirilir. Sinapslar bağlandıkları dendritde veya nöronda bölgesel olarak elektrik kuvvetini

pozitif veya negatif yönde etkileyebilme yeteneğine sahiptirler. Böylelikle bir nöronun diğerini etkileyebilmesi söz konusu olmaktadır.

*Bir biyolojik sinir hücresinin çalışma şekli şöyledir;*

Sinir hücresi, diğer sinir hücrelerinden gelen uyarıları (elektriksel sinyaller) sinapsları üzerinden dendritlerine alır. Bu sırada gelen sinyaller sinapslar tarafından güçlendirilir ya da zayıflatılır. Dendritler sinyalleri hücre gövdesine iletirler. Hücre gövdesi gelen sinyalleri birbirlerini kuvvetlendirme ve zayıflatma etkilerine göre işler. Eğer sonuçta sinyaller birbirlerini yeteri kadar kuvvetlendirerek bir eşik değerini aşabilirlerse, aksona sinyal gönderilir ve sinir aktif hale getirilir. Aksi halde, aksona sinyal gönderilmez ve sinir pasif durumda kalır.

### 3.4.YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi

YSA, beyindeki sinirlerin varsayılan çalışma prensibini taklit ederek sistemlere öğrenme, genelleme yapma, hatırlama gibi yetenekler kazandırmayı amaçlayan bir bilgi işleme sistemidir. Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, işlem elemanlarının birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, işlem elemanları arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Aşağıdaki tabloda bir sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Bir sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri

Sinir sistemi	YSA sistemi
Sinir	Yapay sinir (İşlem elemanı)
Sinaps	Ağırlık
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı

İnsan beyninin ve düşünme yeteneğinin taklit edilmesi isteği sanıldığı gibi aksine çok eski zamanlarda var olmuş bir istektir, insan beyni ve düşünebilme yeteneğine ilişkin ilk açıklayıcı teori geliştirme denemeleri Antik Yunan düşünürleri olan Plato (İ.Ö. 427-327) ve Aristoteles'e (İ.Ö.384-322) kadar uzanmaktadır. Daha sonra ise Descartes (1596-1650) insanın düşünme yeteneğiyle ilgilenen 18. yüzyıl düşünürü olmuştur.

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, Yapay Sinir Ağları denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır.

Yapay sinir ağlarının dayandığı ilk hesaplama modelinin temelleri 1940'ların başında araştırmalarına başlayan W.S. McCulloch ve W.A. Pitts'in, 1943 yılında yayınladıkları bir makaleyle atılmıştır. Daha sonra 1954 yılında B.G. Farley ve W.A. Clark tarafından bir ağ içerisinde uyarılara tepki veren, uyarılara adapte olabilen model oluşturulmuştur. 1960 yılı ise ilk nöral bilgisayarın ortaya çıkış yılıdır. 1963 yılında basit modellerin ilk eksiklikleri fark edilmiş, ancak başarılı sonuçların alınması 1970 ve 1980'lerde termodinamikteki teorik yapıların doğrusal olmayan ağların geliştirilmesinde kullanılmasına kadar gecikmiştir. 1985 yılı yapay sinir ağlarının oldukça tanındığı, yoğun araştırmaların başladığı yıl olmuştur (Mehra P. Ve diğ. (1992)).

### **3.5. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri**

Yukarıda verilen açıklamalardan, YSA'nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA, aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

### 3.5.1. Doğrusal Olmama

YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA'da doğrusal değildir. Bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

### 3.5.2. Öğrenme

YSA'nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, işlem elemanları arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA'nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez ya da tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemde aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

### 3.5.3. Genelleme

YSA, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir ya da bir sistemin eğitilmiş YSA modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir.

### 3.5.4. Uyarlanabilirlik

YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.



### 3.5.5. Hata Toleransı

YSA, çok sayıda işlem elemanının çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı işlem elemanlarının etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

### 3.5.6. Analiz ve Tasarım Kolaylığı

YSA'nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu işlem elemanlarından oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA'ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir.

## 3.6. YSA'nın Yapısı

İşlem elemanları bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ (network) olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce işlem elemanı bulunur. İşlem elemanlarının birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağını oluşturmaktadır.

Yapay sinir ağıyla aslında biyolojik sinir ağının bir modeli oluşturulmak istenmektedir. İşlem elemanlarının aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır.

Katmanların değişik şekilde bir birleriyle bağlanmaları değişik ağ mimarilerini doğurur. YSA'lar üç katmadan oluşur. Bu katmanlar sırasıyla;

- Girdi katmanı
- Ara Katman
- Çıktı Katmanıdır.

### 3.6.1. Girdi Katmanı

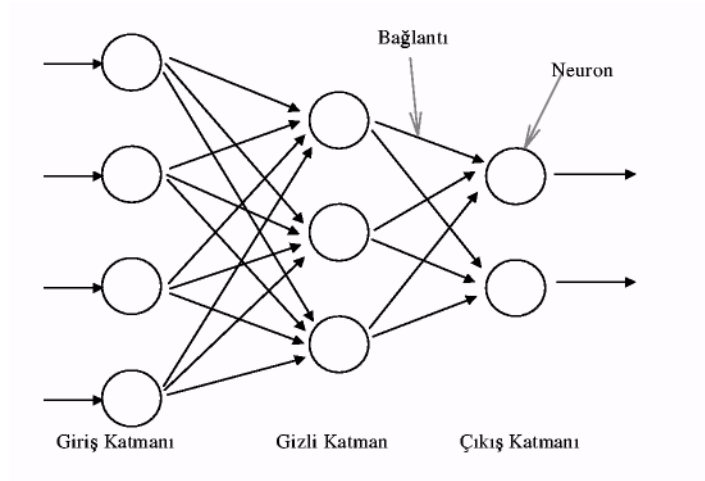
Bu katmandaki işlem elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.

### 3.6.2. Ara Katman (Gizli Katman)

Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde birden fazla ara katman olabilir.

### 3.6.3. Çıktı Katmanı

Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir.



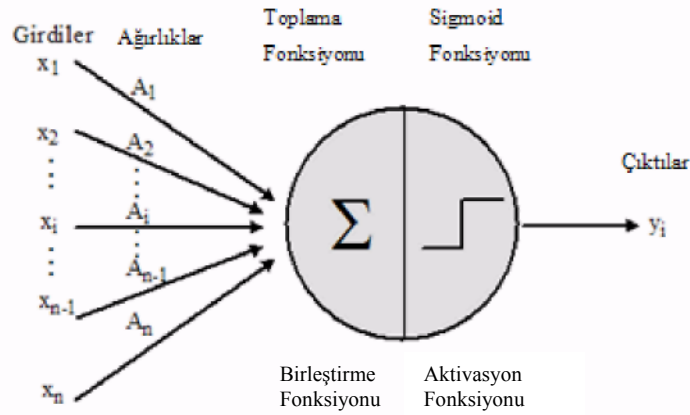
Şekil 3.3. Bir Yapay Sinir Ağı Modelinin Şematik Gösterimi

## 3.7. İşlem Elemanı

Biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir ağlarında da temel unsur, işlem elemanıdır. İşlem elemanı, YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük ve temel bilgi işleme birimidir. Ağ içinde yer alan tüm işlem elemanları bir veya birden fazla

girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler. Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen çıktılar olabileceği gibi başka işlem elemanlarına girdi olarak da kullanılabilirler. Geliştirilen işlem elemanı modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir işlem elemanı modeli 5 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Birleştirme Fonksiyonu
- Aktivasyon Fonksiyonu
- Çıktı



Şekil 3.4. Bir işlem elemanının yapısı

### 3.7.1. Girdiler

Girdiler, diğer işlem elemanlarından ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir.

### 3.7.2. Ağırlıklar

Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden işlem elemanına girer ve ağırlıklar, ilgili girişin işlem elemanı üzerindeki etkisini belirler. Ağırlıklar bir işlem elemanına girdi olarak kullanılacak değerlerin göreceli kuvvetini (matematiksel katsayısını) gösterir. Yapay sinir ağı içinde girdileri ile işlem elemanları arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunmaktadır. Böylelikle ağırlıklar her işlem elemanının her girdisi üzerinde etki yapmaktadır.

### 3.7.3. Birleştirme Fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonu, bir işlem elemanına gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Birleştirme fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan ya da çarpım fonksiyonu olabilir.

Toplama Fonksiyonu  $v = \sum x_i A_i$

A: İşlem elemanının ağırlıklar matrisini

x: İşlem elemanının giriş vektörünü

v: İşlem elemanının net girişini

y: İşlem elemanının çıkışını

### 3.7.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Transfer fonksiyonu olarak da geçen aktivasyon fonksiyonu, birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek işlem elemanının çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. İşlem elemanı modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır. Geçiş fonksiyonları içinde en çok kullanılanı sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Örneğin eğer ağın bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid fonksiyonu, ortalama sapmanın öğrenilmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılması önerilmektedir.

Aktivasyon fonksiyonları bir YSA'da işlem elemanının çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler genellikle  $[0,1]$  veya  $[-1,1]$  arasındadır. YSA'da kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevi alınabilir olması ve süreklilik arz etmesi gereklidir. Lineer veya doğrusal olmayan transfer

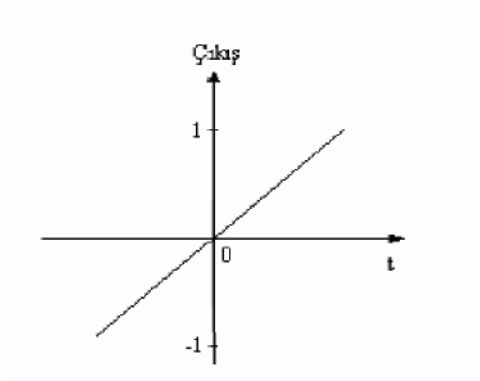
fonksiyonlarının kullanılması YSA'ların karmaşık ve çok farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır.

Aktivasyon Fonksiyonu  $y = F(v)$

Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır.

### 3.7.4.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyon

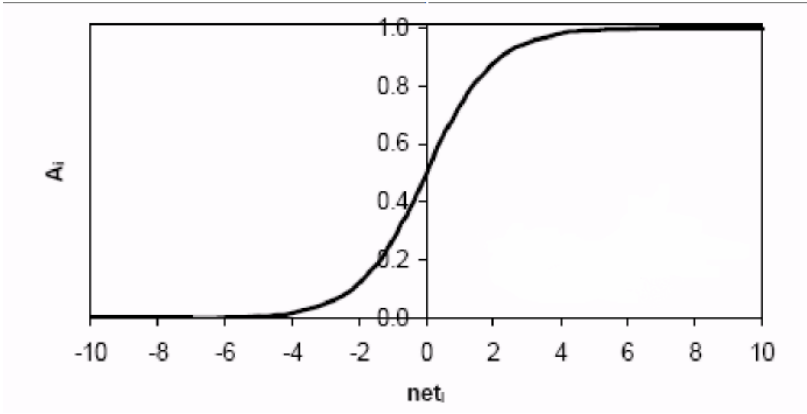
Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA'da ya da genellikle katmanlı YSA'nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak  $y=Kv$  şeklinde tanımlanabilir. "K" sabit bir katsayıdır. YSA'ların çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon şekilde verilmiştir.



Şekil 3.5. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

### 3.7.4.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, girdinin her değeri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir.



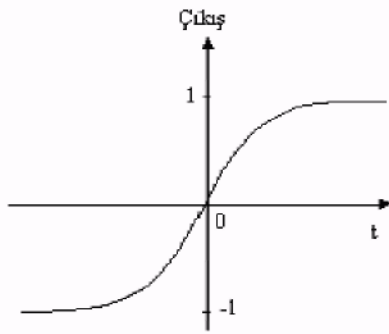
Şekil 3.6. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyon

Sigmoid fonksiyonunun formülü;

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \text{ şeklindedir.}$$

### 3.7.4.3. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu

Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonunun biraz farklı şeklidir. Giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktivasyon fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonun çıktı aralığı 0 ve 1 olurken, hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıktısı -1 ve 1 aralığında oluşmaktadır.



Şekil 3.6. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu

Tanjant fonksiyonunun formülü;

$$y = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{2x}} \text{ şeklindedir.}$$

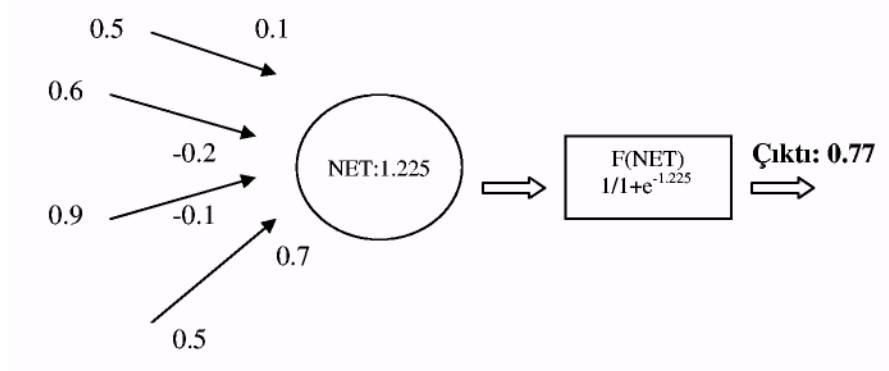
Yukarıda anlatılan aktivasyon fonksiyonlarından başka, literatürde geçen diğer aktivasyon fonksiyonları;

- Basamak Fonksiyonu
- Kutuplamalı Basamak Fonksiyonu
- Parçalı Doğrusal Fonksiyon

### 3.7.5. Çıktı

Aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra elde edilen değer, çıktı değeridir.

*Bir İşlem elemanının Çalışma Prensipleri Örneği;*



Ağırlıklı toplam alınarak işlem elemanına gelen net bilgi, şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Net : } v = 0.5 * (0.1) + 0.6 * (-0.2) + 0.9 * (-0.1) + 0.5 (0.7) = 1.225$$

işlem elemanının sigmoid fonksiyonuna göre çıktısı;

$$\text{Çıktı : } y = \frac{1}{1 + e^{-1.225}} = 0.77' \text{ dir.}$$

### 3.8. YSA'nın Uygulama Alanları

Son yıllarda YSA'lar, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. Yapay sinir ağları aşağıdaki özellikleri gösteren alanlarda kullanıma uygun bir araçtır.

- Çok değişkenli problem uzayı,
- Probleme ilişkin değişkenler arasında karmaşık etkileşim,
- Çözüm uzayının bulunmaması, tek bir çözümün olması veya çok sayıda çözüm bulunması.

YSA'lar insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde aşağıdaki konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

- Öğrenme
- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Tahmin
- Özellik Belirleme
- Optimizasyon

YSA'ları çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile YSA'nın uygulama alanları aşağıdaki gibi 6 grup içerisinde toplanabilir.

#### 3.8.1. Arıza Analizi ve Tespiti

Bir sistemin, cihazın ya da elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinelerinin, uçakların ya da bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.



### **3.8.2. Tıp Alanında**

Kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

### **3.8.3. Savunma Sanayi**

Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesnelere/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s gibi alanlara uygulanmıştır.

### **3.8.4. Haberleşme**

Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır.

### **3.8.5. Üretim**

Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak v.s.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır.

### **3.8.6. Otomasyon ve Kontrol**

Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur.

## **3.9. YSA Uygulamalarının Geliştirilme Adımları**

Bir YSA uygulamasının geliştirilmesi süreci, tasarım, öğrenme/eğitme ve test/uygulama olarak üç safhada incelenebilir.

### 3.9.1. Tasarım

Tasarım, problemin veya geliştirilmekte olan uygulamanın, tamamen anlaşılmasının ve buna bağlı olarak planlamanın olduğu ilk safhadır. Burada öncelikle probleme uygun bir YSA mimarisi seçilir. Sonra, problemin giriş ve çıkış katmanlarındaki parametreler kesin olarak tanımlanır. Bu parametreler, kalitatif/nitelik bildiren veya kantitatif/miktar bildiren tiplerde olabilirler. Daha sonra, kullanılacak ağ mimarisi ile uyumlu olarak bu parametreler uygun değerlere dönüştürülür. Bu işlem, verilerin ikili (binary) veya sürekli (continuous) değerlere dönüştürülmesi ile gerçekleştirilebilir.

YSA yapısı hakkında bir karara varıldıktan sonra, gizli katman sayısı ve her bir katmandaki işlem elemanı sayısı belirlenir. YSA'nın en iyi performans gösterdiği, ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan, optimum katman ve işlem elemanı sayıları deneme-yanılma ile belirlenir. Artık YSA tasarlanmıştır ve eğitime hazırdır (Çağlar (2001)).

### 3.9.2. YSA'da Öğrenme

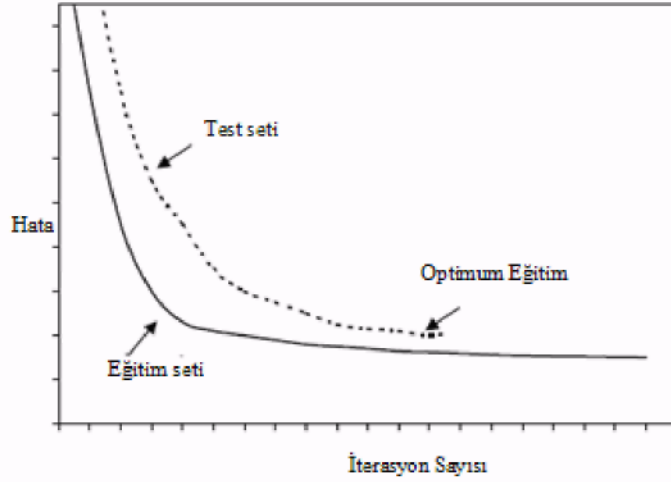
Yapay sinir ağının en önemli özelliği, öğrenme yeteneğidir. Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın probleme ait doğru çıktıları üretmesi için optimum ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Bilgi, bağlantılarda ağırlıklar şeklinde dağıtıldığı için tek bir bağlantı herhangi anlamlı bir bilgi ifade etmez. Yani, anlamlı bir bilgi oluşturmak için işlem elemanlarından oluşan bir bağlantı grubu gerekmektedir. Problemin en iyi çözümü için ağın, bağlantılarına ait doğru ağırlık değerine sahip olması istenir. Öğrenme, ağırlık değerinin değişimini ifade eden bir öğrenme kuralına dayanır. Geliştirilen birçok öğrenme kuralı vardır (Wasserman (1989)). Literatürde üç tip öğrenme stratejisinden söz edilir.

Denetimli öğrenmede, ağı eğitmek için bir öğretici gerekir. Öğretici, çıktı katmanında ağ kararının ne olması gerektiğini belirler. Diğer yandan öğrenmede kullanılacak olan örneklerin seçimi de öğretici tarafından yapılır. Girdiler ve doğru çıktı örnekleri ağına verilir. Ağ, girdiyi işleyerek çıktıyı üretir ve üretilen çıktıyı dışarıdan belirlenen çıktı ile karşılaştırır. Her defasında bağlantılardaki ağırlıklar, daha iyi çıktıyı üretmek için yeniden ayarlanır. Bu işlem kabul edilebilir bir hata düzeyine erişinceye kadar devam eder.

Destekli öğrenmede de bir öğreticiye ihtiyaç vardır. Ancak, çıktının ne olması gerektiği ağa verilmez. Ağa bildirilen sadece çıktının doğru veya yanlış olduğudur.

Denetimsiz öğrenme diğerlerinin aksine bir öğreticiye gerek duymaz. Bu stratejide ağ, girdi/çıkı eşleştirmesini düzenlemek için kendi kararlarını geliştirir. Bu nedenle, denetimsiz öğrenme stratejisini kullanan ağlar, kendi kendine organize olan ağlar olarak tanımlanır.

YSA'da bilginin temsili çok önemlidir. Ağ yapısı ne kadar güzel olursa olsun ya da öğrenme ne kadar iyi gerçekleşirse gerçekleşsin, eğer ağa girilen bilgiler tutarlı değilse, üretilen sonuçlar da tutarlı ve isabetli olmayacaktır. Öğrenme seti, ağa problemin öğretilmesinde kullanılan girdi ve çıktılardan oluşan bir settir. Denetimli öğrenmede, çıktılar sette bulunurken destekli öğrenme ve denetimsiz öğrenmede bulunmazlar. Öğrenme işlemi için, çoğu zaman bir eğitim algoritması kullanılır ve ağırlıkların nasıl düzenleneceği bu algoritma tarafından belirlenir.



Şekil 3.7. Eğitim ve test seti üzerinde hatayı gösteren tipik bir eğitim eğrisi

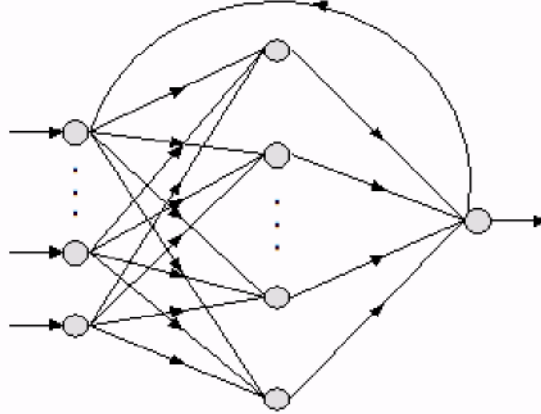
Tipik bir öğrenme işleminde, öğrenme sürecini sona erdirmek için önceden belirlenmiş bir hata kriterine ulaşıncaya kadar öğrenme örnekleri ağa defalarca gösterilir. Ağ tarafından öngörülen çıkış ile istenen çıkış arasındaki hata oranı, daha önce belirlenen sınıra erişmiş ise, ağın problemi yeterince kavradığı kabul edilir (Şekil 3.7).

Günümüzde kullanılan sinir ağ modelleri, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bir veya birden fazla gizli katmanı olmak üzere en az üç veya daha fazla katmandan meydana gelir. Girdi katmanı her girdi örneğini sadece bir sonraki katmana aktarmaktan, son iki katman ise bilgiyi işlemekten sorumludur, işlem elemanları, bir önceki ve bir sonraki katmandaki elemanlarla bağlantılıdır. Bir önceki katman elemanları bir sonraki katman elemanlarına sadece girdi gönderebilirler, tersinden bir işlem gerçekleşmez. Aynı katmandaki elemanların birbirleri arasında bağlantı yoktur.

Ağ dışından gelen bilgiler girdi katmanında bir işleme tabi tutulmadan hiyerarşik yapıya uygun olarak ara katmandaki elemanlara iletilir. Bilgi işleme sadece ara katmanlardaki elemanlar ve çıktı katmanındaki elemanlarla gerçekleşir ve ağ dışına sonuç işlenmiş bir şekilde verilir, buna ileri doğru işlem adı verilir.

### 3.9.3. Hatayı Geriye Yayma Ağı Öğrenme Prosedürü

Hatayı geriye yayma ağı prosedüründe iki safha vardır (Rumelhart ve diğ. (1986));



Şekil 3.8. Hatayı geri yayma prosedürü örnek şekli

1. Ağın gerçekleşen çıktıları ve aktivasyon seviyelerini hesaplamak,
2. Ağın istenen ve gerçekleşen çıktıları arasındaki hatayı geriye doğru yaymak.

Hatayı geriye yayma ağı modelinde (Şekil 3.8) öğrenme adımları aşağıdaki gibidir. Dördüncü adıma kadar ileri, son üç adım ise geriye doğru işlem adımlarıdır;

1. Ağ yapısı tanımlanır (girdi, çıktı, ara katman sayısı ve ara katman eleman sayısı),
2. Başlangıç ağ parametreleri belirlenir (ağırlıklar, biaslar). Ağ bağlantılarının başlangıç ağırlıkları rasgele atanır,
3. Girdiler ve çıktılardan oluşan öğrenme setinden bir örnek ağa tanıtılır,
4. Her işlem elemanı için toplam girdi ve transfer değerleri hesaplanarak ağın son çıktısı bulunur,
5. İstenen sonuç ile ağ çıktısı arasındaki hata belirlenir,
6. Aradaki hata çıktı katmanından başlayarak geriye doğru bağlantı ağırlıklarına göre dağıtılır,
7. Eğer hata kabul edilebilir seviyede ise işlem durdurulur, aksi halde 3. adıma geri dönülür.

Hatayı geriye yaymada kullanılan birçok eğitime algoritması vardır. Bunlardan bazıları;

- En hızlı azalan gradyant yöntemi (geri yayılım, GY)
- Konjuge gradyant yöntemi (KGY)
- Ölçeklenmiş konjuge gradyant yöntemi (ÖKGY) dir

#### 3.9.4. Test/Uygulama

YSA eğitime sırasında edindiği bilgileri, eğitime sırasında kullanılmamış (daha önce karşılaşmadığı) bilgiler için çözümler üreterek "genelleme" yapar. Test işlemi sonucunda, test seti için elde edilen sonuçlar yeterli yaklaşıklıkta ise, YSA'nın güvenilirliği onaylanmış olur. YSA başarılı bir şekilde eğitildikten sonra kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Her şeye rağmen yeterli doğruluk elde edilemiyorsa, YSA'nın mimarisinde değişiklikler yapılır, eğitime ve test işlemleri tekrarlanır. En iyi sonuç, eldeki eğitim setinin problemin çözüm aralıklarını daha iyi temsil edecek şekilde seçilmesiyle ve eğitim setinin artırılmasıyla elde edilir.

## **BÖLÜM 4. ÖNERİLEN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ ve UYGULAMASI**

Bu çalışmada membran proseslerin veriminin belirlenmesinde YSA yaklaşımı kullanılacaktır. Bu amaçla literatürden elde edilen 216 adet deney veri ve sonuçları YSA modelinin eğitim ve test setleri için kullanılacaktır. YSA'dan elde edilen sonuçlar daha önceden literatürden toplanmış olan çeşitli model sonuçları ve deney sonuçları ile kıyaslanacaktır.

Burada kullanılan YSA modeli geriye yayılım (Back Propagation) ağı modelidir. Bu modelde birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu olarakda sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Membran proses veriminin belirlenmesi doğrusal olmayan bir problem olduğundan ve ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritmasının diğer algoritmalara göre daha hızla sonuç vermesinden dolayı hatayı geriye yayma algoritması olarak mevcut ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritması kullanılmıştır.

Deneysel veri tabanı olarak İ.Koyuncu (2001) tarafından yapılan doktora çalışmasından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Bu çalışmadaki 216 adet verim deneyi alınmış ve bunların 162 tanesi YSA'nın eğitiminde 54 tanesi de YSA'nın test edilmesinde kullanılmıştır.

Önerilen YSA modelinin girdi katmanında, tuz konsantrasyonu ( $C_{sd}$ , gr/lit ), boya konsantrasyonu ( $C_{db}$ , gr/lit), yatay akış hızı ( $v$ , m/sn), pH ve basınç ( $\Delta P$ , bar) olmak üzere 5 parametre çıktı katmanında ise  $R_o$  (% verim) olmak üzere 1 parametre kullanılmıştır. Tablo 4.1'de bu parametrelerin minimum ve maksimumları verilmiştir.

Tablo 4.1. Veritabanındaki parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

Değişkenler	Minimum	Maksimum
$Csb(g/lt)$	1	80
$Cdb(g/lt)$	0	15
$v(m/sn)$	0.11	1.11
$pH$	4	10
$DP(bar)$	8	28
$Rdeney(\%)$	0	0.817

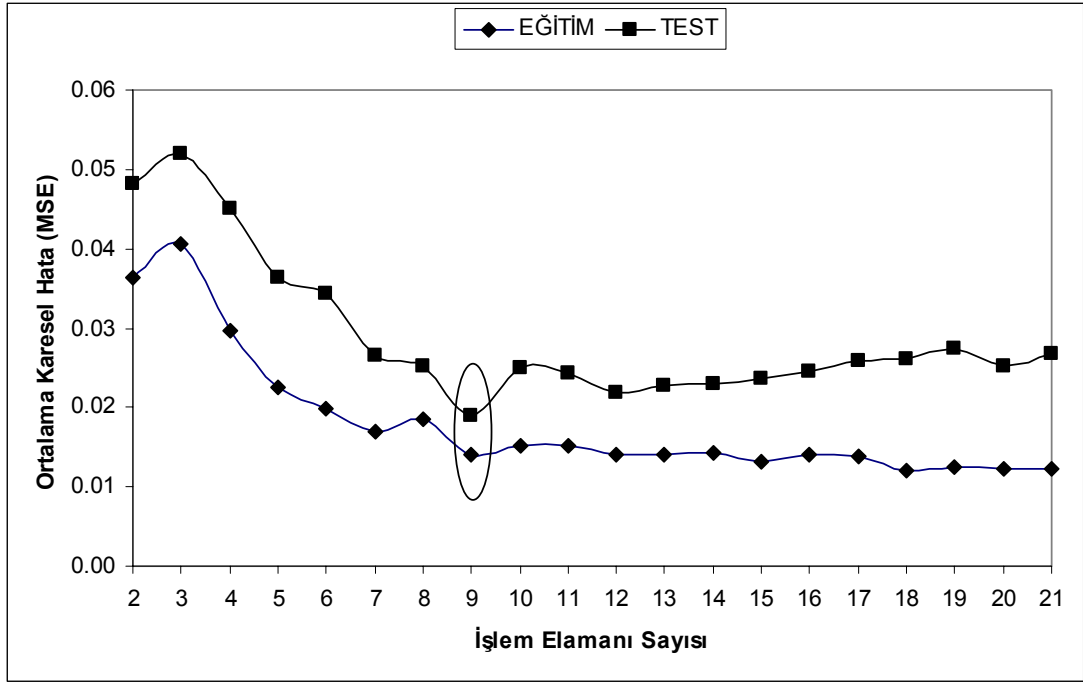
Başlangıçta 216 adet deney veri ve sonuçları YSA'nın en uygun ağ yapısını belirlemek üzere 191 tanesi eğitim setinde ve 25 tanesi test setinde kullanılmak üzere ikiye ayrılmıştır. YSA modelinde en uygun ağ yapısını belirlemek için gizli katman sayısı bir ve iki katmanlı olarak seçilerek tek katmanlı modellerde 2 ila 21 işlem elemanı için, iki gizli katmanlı modellerde ise işlem elemanlarının farklı varyasyonları için modellerin performansları araştırılmıştır. Burada performansın değerlendirilmesinde ortalama karesel hata (MSE) kullanılmıştır. Bu yöntemde YSA'dan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları arasındaki en az ortalama karesel hatayı veren ağ yapısı saptanmaya çalışılmıştır. MSE aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_0 - R_{ysa})$$

Burada  $R_0$  deneyden elde edilen verim değeri,  $R_{ysa}$  YSA'dan elde edilen verim değeri ve  $n$  veri setindeki örnek sayısını göstermektedir.

Sonuç olarak eğitim setinde 0,0140 ve test setinde 0,0190 olmak üzere en az ortalama karesel hatayı veren tek gizli katmanlı ve 9 işlem elemanlı ağ yapısının en uygun olduğu deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Şekil 4.1'de tek gizli katmanlı işlem elemanı sayılarına bağlı olarak eğitim ve test sonuçlarının ortalama karesel hataları verilmiştir. Bundan sonra test seti örneklerini artırarak daha gerçekçi bir model elde etmek amacıyla eğitim setinde 162 ve test setinde 54 veri olmak üzere setler yeniden oluşturulmuştur. Bu yeni veri setleri en uygun ağ yapısı belirlenmiş

olan YSA'nda analiz edilmiş ve YSA'dan elde edilen sonuçlar deney ve model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların çizelge halinde özeti EK1A ve EK1B'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tek gizli katmanlı modelin işlem elemanı sayısına bağlı olarak eğitim ve test sonuçlarının ortalama karesel hataları

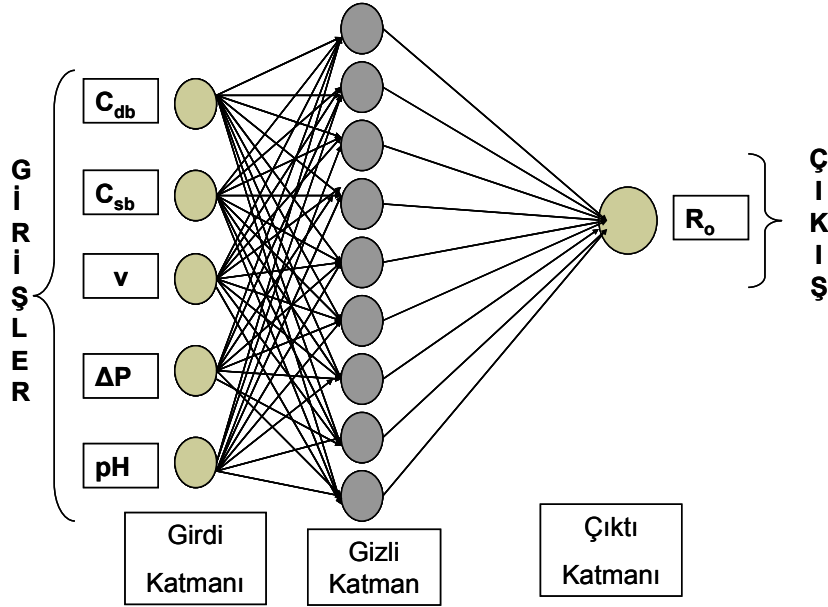
#### 4.1. Önerilen Model ve Programın Tanıtılması

Önerilen YSA modelinin mimarisi Şekil 4.2'de girdi ve çıktı katmanı bilgileri ise Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Girdi ve Çıktı Katmanı Bilgileri

Simgesi	Açıklaması
Csb	Tuz konsantrasyonu (g/lt)
Cdb	Boya konsantrasyonu (g/lt)
v	Yatay akış hızı (m/sn)
pH	pH
DP	Basınç (bar)
Jv	Akı (lt m <sup>2</sup> /sa)

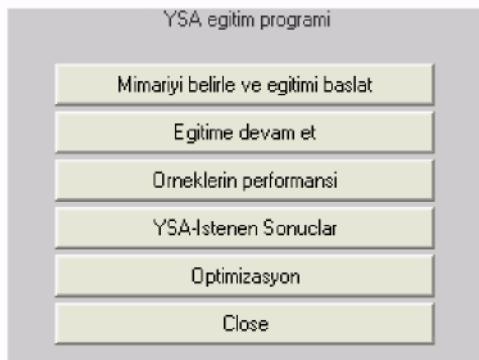




Şekil 4.2. Önerilen YSA modelinin mimarisi.

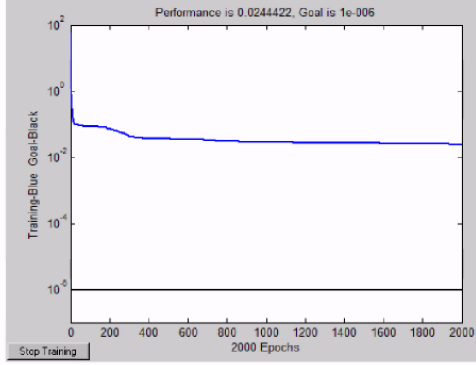
MATLAB tabanlı geliştirilen programın çalıştırılmasıyla Şekil 4.3’de gösterilen arayüz ekranda oluşturulur. Önce geliştirilecek YSA modelinin mimarisi belirlenir ve eğitim başlatılır.

Eğitim, ağırlık değerlerinin rasgele atanması ile başlatılır. Hedeflenen çıktı değerleri ile YSA modelinin sonuçları arasındaki sapmadan oluşan hatalar, ağırlık değerleri değiştirilerek azaltılır. Bu işlemin eğitim setinin tüm örneklerine uygulanması bir iterasyonu (epoch) oluşturur ve optimum ağırlık değerleri bulununcaya kadar iterasyon işlemine program içinde devam eder.

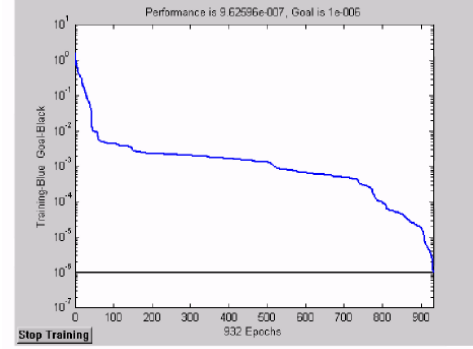


Şekil 4.3. MATLAB tabanlı oluşturulan programın arayüzü

Hedeflenen çıktı ile bulunan çıktı arasındaki, hata, daha önce belirlenen hata oranına ulaştığında iterasyon durdurulur (Şekil 4.5). İlk belirlenen iterasyon sayısı sonucunda hedeflenen eşik değerine ulaşılamaması halinde "eğitime devam et" tuşuna basılarak istenen hedef yakalanıncaya kadar eğitime devam edilir.

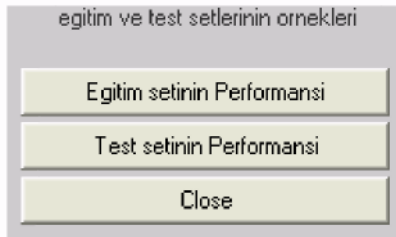


Şekil 4.4. Hata azalım performans grafiği



Şekil 4.5. İstenen hata hedefine ulaşılmış grafik

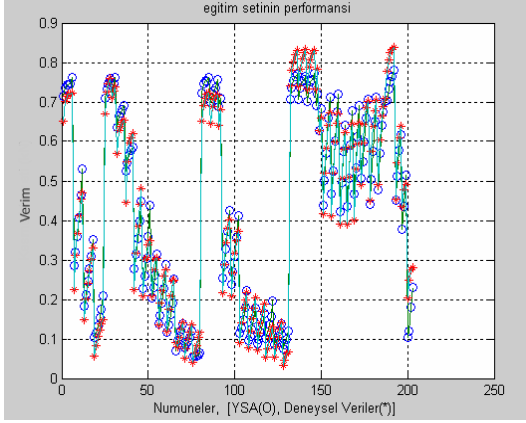
İstenilen hata oranına ulaşıldığında yeterince eğitilen YSA artık test edilmeye hazırdır. "Örneklerin performansı" tuşuna basılarak Şekil 4.6'daki arayüz ekranda belirir. "Eğitim setinin performansı" tuşuna basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçlar ve bunların ortalama karesel hata değeri eğitim seti için ekranda görüntülenir.



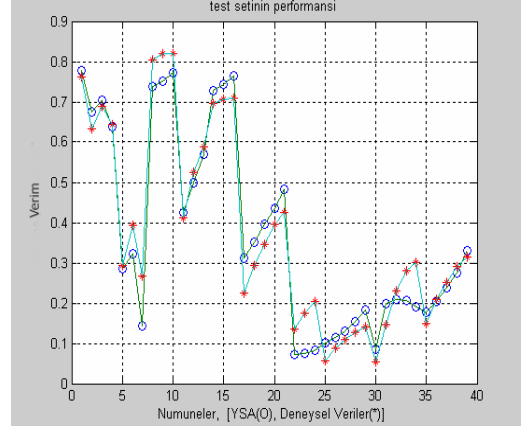
Şekil 4.6. Örneklerin performansı arayüzü

"Test setinin performansı" tuşuna basıldığında ise eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçlar ve bunların ortalama karesel hata değeri test seti için ekranda görüntülenir. Bu işlemler sonunda ayrıca eğitim seti için (Şekil 4.6) ve test seti için (Şekil 4.7) YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların grafiği her bir örnek için

ayrı bir pencerede görüntülenir. Daha sonra Close düğmesine basılarak YSA eğitim programı arayüzüne geri dönlür.



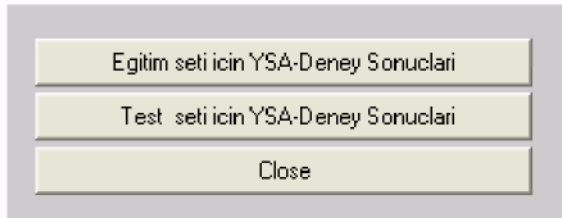
Şekil 4.7. YSA eğitim setinin performansı



Şekil 4.8. YSA test setinin performans

Grafiklerde düşey eksen verim değerlerini değerlerini, yatay eksen ise örnek sayısını göstermektedir. Deneysel sonuçları yıldız işareti ile YSA modelinin sonuçları yuvarlak semboller ile gösterilmiştir. Örnek sayısı eğitim setinde 162 adet ve test setinde ise 54 adet olarak seçilmiştir.

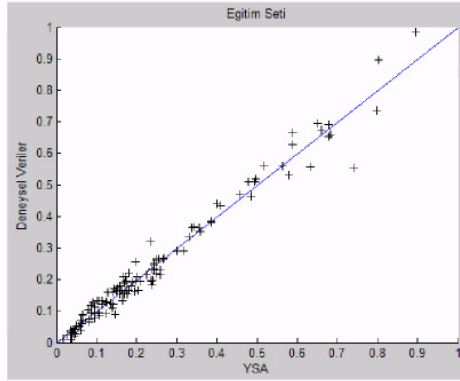
Arayüzdeki (Şekil 4.3) "YSA-istenlen Sonuçlar" düğmesine basılarak Şekil 4.8'deki arayüz ekrana gelir.



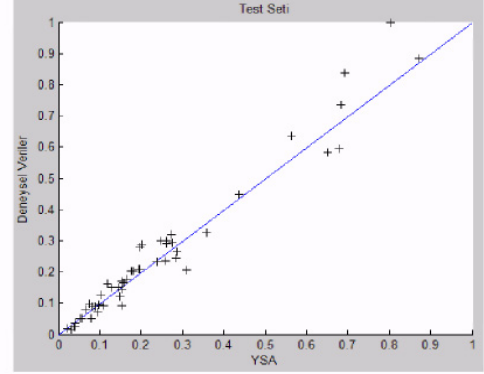
Şekil 4.9. YSA istenen sonuçlar arayüzü

"Eğitim seti için YSA-Deney sonuçları" düğmesine basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların  $x=y$  doğrusu üzerindeki dağılımları eğitim seti için (Şekil 4.9), "Test seti için YSA-Deney sonuçları" düğmesine basıldığında ise

eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların  $x=y$  doğrusu üzerindeki dağılımları test seti için (Şekil 4.10) grafikler halinde çizdirilir. YSA modelinin sonuçları ile deneysel bulgu değerlerinin  $x=y$  doğrusundaki dağılımları YSA modelinin problemi öğrenme performansının hangi aralıkta olduğunu gösterir.



Şekil 4.10. YSA-istenen sonuçların eğitim seti için  $x=y$  grafiği üzerinde gösterimi



Şekil 4.11. YSA-istenen sonuçların test seti için  $x=y$  grafiği üzerinde gösterimi

## **BÖLÜM 5. YAPAY SİNİR AĞLARI ANALİZ SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bu bölümde parametrik analiz yapılmıştır. Bunun için eğitimi tamamlanmış olan YSA'da girdi katmanındaki değişkenlerden dördünü sabit alarak birini belli bir aralıkta değiştirmek suretiyle YSA'dan yeni verim değerleri üretilmiştir. Parametrik analizle üretilen yeni verim değerlerinin bir kısmının deney sonuçları da mevcut olduğundan bu deney sonuçları YSA'dan üretilen sonuçlarla grafikler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde YSA sonuçları ile deney sonuçları arasındaki uyumluluk gösterilmiş ve her bir parametrenin ayrı ayrı verime etkisi tespit edilmiştir.

### **5.1. YSA Analiz Çalışması**

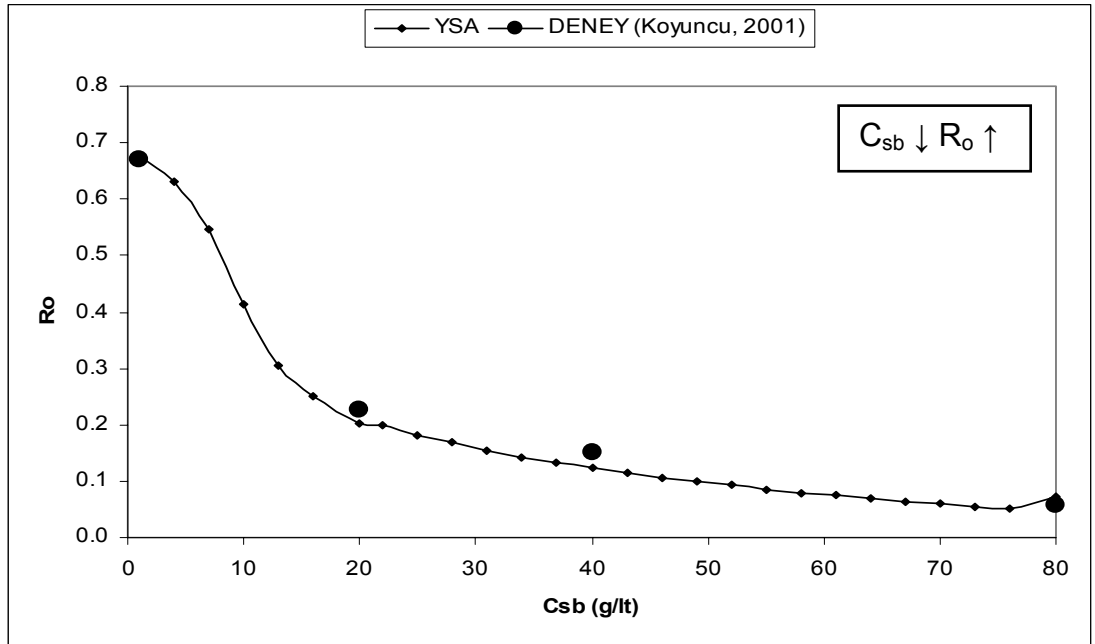
Burada YSA ile yapılan analiz çalışmasının sonuçları değerlendirilmiştir. Literatürden toplanan deneysel veriler MATLAB tabanlı geliştirilmiş program ile analiz edilmiştir.

Analiz çalışması 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada 216 deney sonucunu 191 tanesi eğitim ve 25 tanesi test seti olmak üzere ikiye bölünmüştür. Bu setler kullanılarak bu probleme uygun YSA'nın ağ yapısının tek katmanlı ve 9 işlem elemanlı ağ yapısı olduğu belirlenmiştir. İkinci aşamada 162 eğitim setinde 54 tanesi test setinde olmak üzere test seti örnekleri artırılarak veri setleri analiz edilmiş ve YSA'dan elde edilen sonuçlar deney sonuçları ve mevcut model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. En son olarak da parametrik analiz yapılarak birçoğunun daha önceden deneyleri yapılmamış olan değişik konsantrasyon, basınç, pH ve yatay akış hızındaki verim değerleri YSA'dan elde edilerek ve mevcut deney sonuçları ile uyumluluğu karşılaştırılmıştır.

Aşağıda parametrik analizden elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları karşılaştırılarak her bir parametrenin verime etkisi tespit edilmiştir.

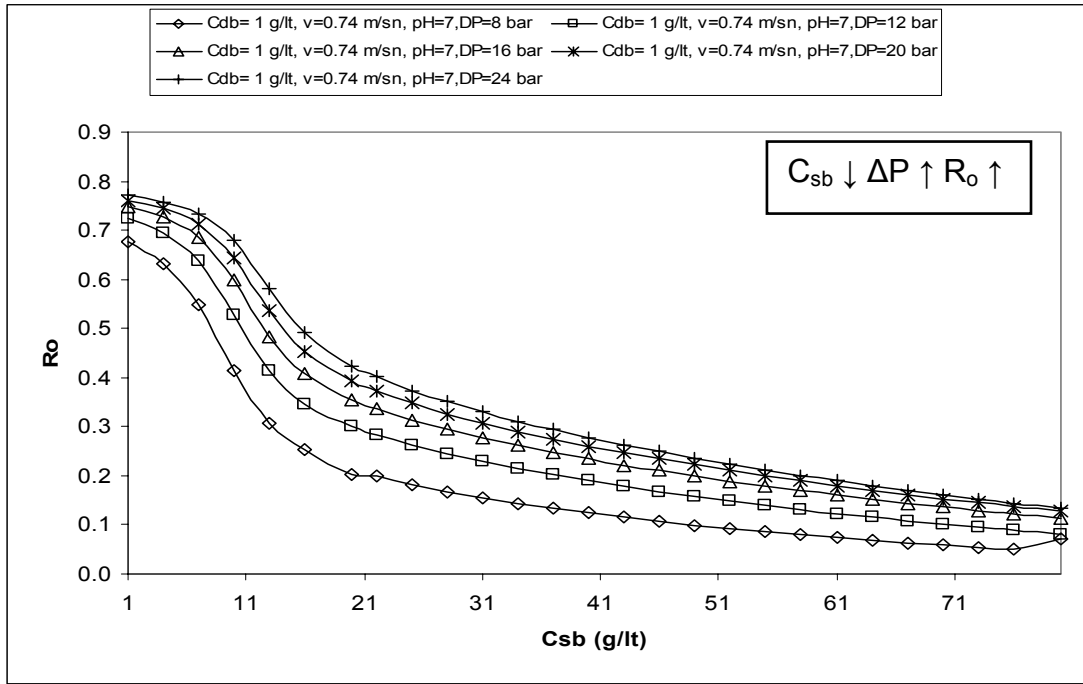
### 5.1.1. Tuz Konsantrasyonunun Etkisi

Burada YSA'daki girdi değişkenlerinde tuz konsantrasyonu dışındaki diğer dört değişken sabit alınarak tuz konsantrasyonunun 1-80 gr/lt aralığında değiştirilmesi ile YSA'dan yeni verim örnekleri üretilmiştir. Boya konsantrasyonu 1 gr/lt, yatay akış hızı 0.74 m/sn, pH 7 ve basınç 8 bar olacak şekilde sabit tutulmuştur. Şekil 5.1'de YSA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçları ile ne kadar uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Tuz ve boya karışımı çözeltisinde tuz giderme verimine, tuz konsantrasyonunun etkisi

Şekil 5.2 'de tuz konsantrasyonu değişirken aynı zamanda basınçta 8-24 bar arasında değiştirilerek basınç ve tuz konsantrasyonu artışı ile birlikte, tuz giderme veriminin değişimi gösterilmiştir. Buna göre tuz konsantrasyonunun azalması ve basıncın artması tuz giderme verimini artırmaktadır.

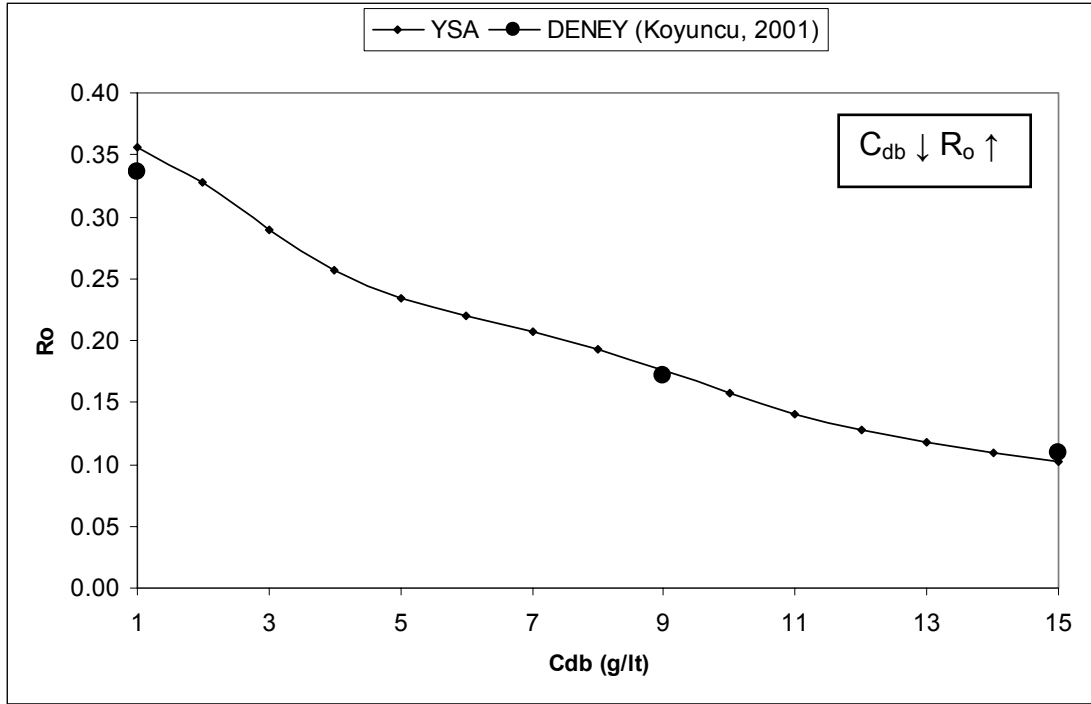


Şekil 5.2. Tuz konsantrasyonu-giderme verimi ilişkisine basıncın etkisi

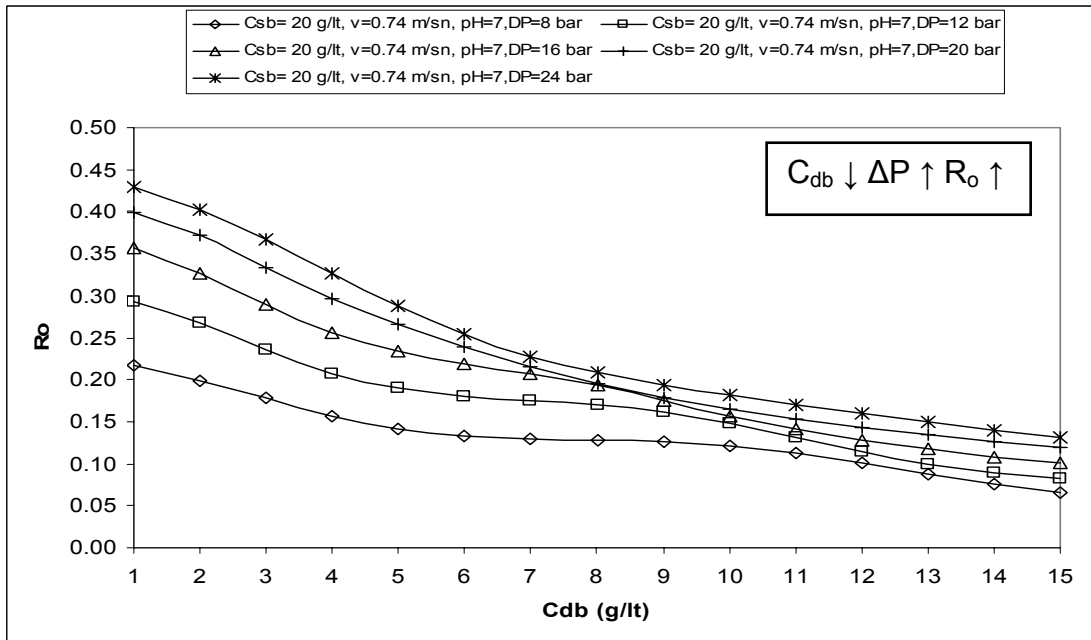
### 5.1.2. Boya Konsantrasyonunun Etkisi

Bu kısımda boya konsantrasyonundaki değişimin verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun için YSA girdi değişkenlerinden tuz konsantrasyonu 20 gr/l, yatay akış hızı 0.74 m/sn, pH 7 ve basınç 16 bar sabit alınıp boya konsantrasyonu 1-15 gr/l arasında değiştirilerek YSA'dan yeni verim örnekleri elde edilmiştir.

Şekil 5.3'de YSA'dan elde edilen sonuçlar ve deney sonuçları grafik halinde gösterilmiştir. Grafikte YSA'dan elde edilen sonuçların istenilen hedefe çok iyi yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 5.3. Tuz ve boya karışımı çözeltilisinde tuz giderme verimine boya konsantrasyonunun etkisi



Şekil 5.4. Boya konsantrasyonu-giderme verimi ilişkisine basıncın etkisi

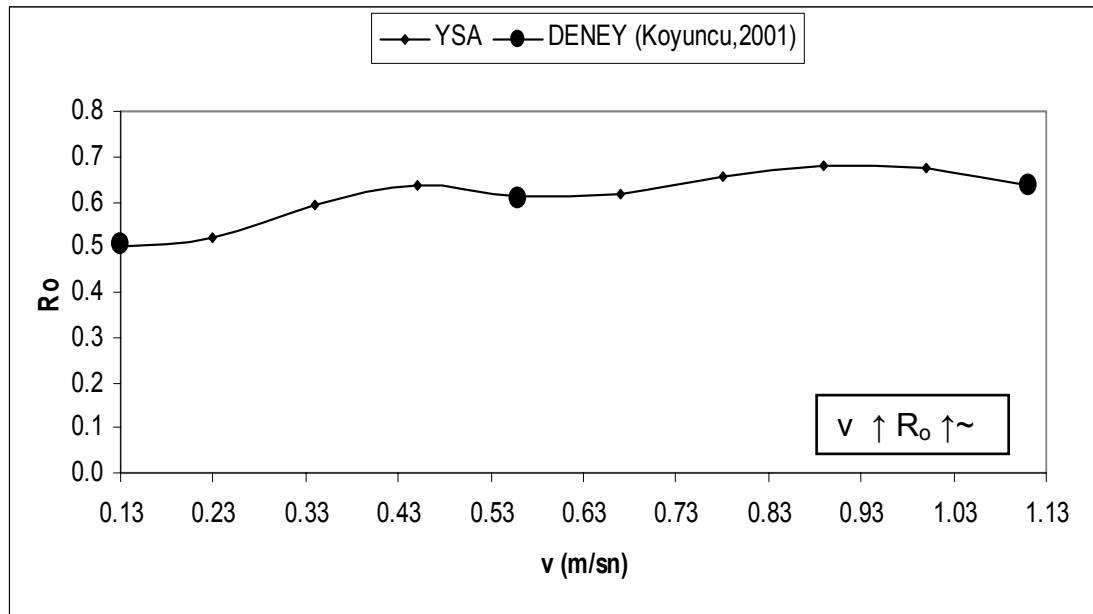


Şekil 5.4 'de boya konsantrasyonu değişirken aynı zamanda basınçta 8-24 bar arasında değiştirilerek basınç ve boya konsantrasyonu artışı ile birlikte, tuz giderme veriminin değişimi gösterilmiştir. Buna göre boya konsantrasyonunun azalması ve basıncın artması tuz giderme verimini artırmaktadır.

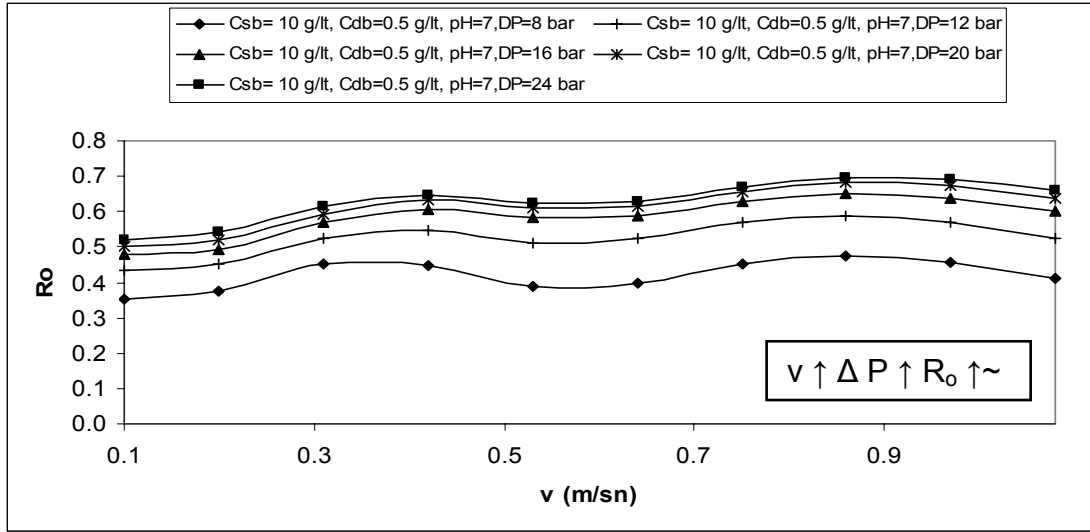
### 5.1.3. Yatay Akış Hızının Etkisi

Bu kısımda yatay akış hızındaki değişimin verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun için YSA girdi değişkenlerinden tuz konsantrasyonu 10 gr/lt, boya konsantrasyonu 0.5 gr/lt, pH 7 ve basınç 20 bar sabit alınıp yatay akış hızı 0.13-1.13 m/sn arasında değiştirilerek YSA'dan yeni verim örnekleri elde edilmiştir.

Şekil 5.5'de YSA'dan elde edilen sonuçlar ve deney sonuçları grafik halinde gösterilmiştir. Grafiktende görüldüğü gibi hızda meydana gelen değişim verimi etkilemektedir. Fakat hızın verim üzerinde çok büyük bir etkisi yoktur. Yatay akış hızındaki artış membran yüzeyindeki konsantrasyon polarizasyonu etkisini azalttığından dolayı verimi bir miktar artırmaktadır.



Şekil 5.5. Tuz ve boya karışımı çözeltilisinde tuz giderme verimine yatay akış hızının etkisi



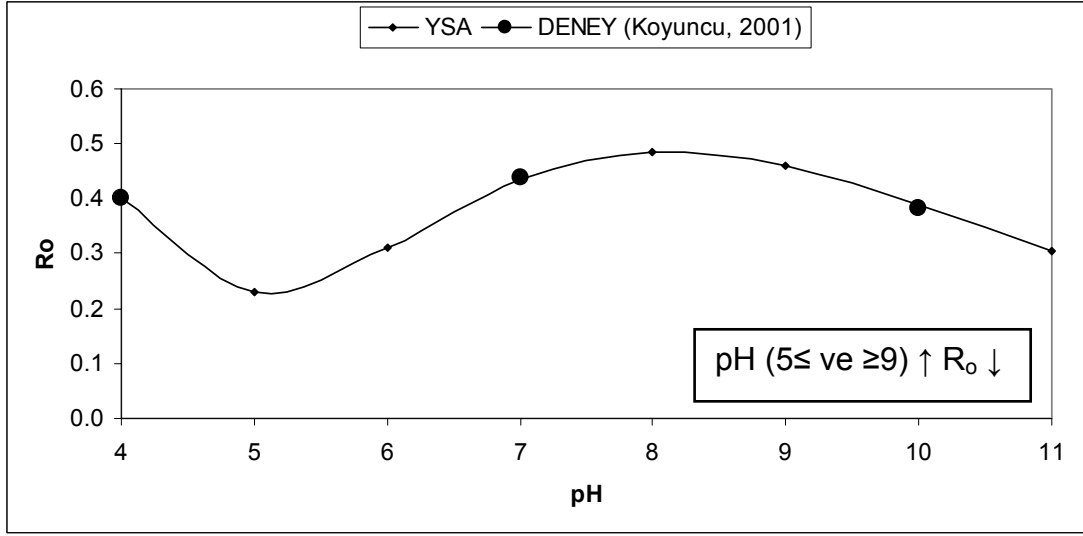
Şekil 5.6. Yatay akış hızı-giderme verimi ilişkisine basıncın etkisi

Şekil 5.6 'da yatay akış hızı değişirken aynı zamanda basınçta 8-24 bar arasında değiştirilerek basınç ve yatay akış hızı artışı ile birlikte, tuz giderme veriminin değişimi gösterilmiştir. Burada yatay akış hızının ve basıncın artması tuz giderme verimini artırmaktadır.

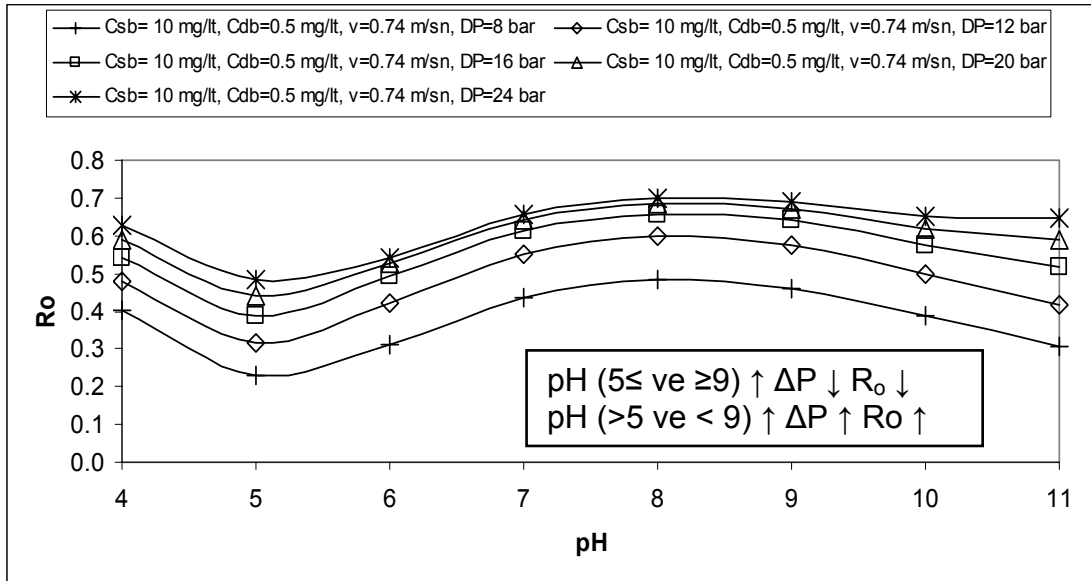
#### 5.1.4. pH'ın Etkisi

Bu kısımda pH'daki değişimin verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun için YSA girdi değişkenlerinden tuz konsantrasyonu 10 gr/lit, boya konsantrasyonu 0.5 gr/lit, yatay akış hızı 0.74 m/sn ve basınç 8 bar sabit alınıp pH 4-11 arasında değiştirilerek YSA'dan yeni verim örnekleri elde edilmiştir.

Şekil 5.7'de YSA'dan elde edilen sonuçlar ve deney sonuçları grafik halinde gösterilmiştir. Burada pH'ın 5 olduğu değerde iken minimum verim elde edilmiştir. Fakat mevcut deneysel veritabanımızda pH 5 iken yapılmış olan deney sonucu bulunmadığından dolayı gerçekte bu pH değerinde böyle bir etki söz konusu olup olmadığını bilmiyoruz. Gerçekte pH 5'de iken minimum giderme veriminin olup olmadığı anlamak için bu deneyin yapılması gerekmektedir.



Şekil 5.7. Tuz ve boya karışımı çözeltisinde tuz giderme verimine pH'nin etkisi



Şekil 5.8. pH-giderme verimi ilişkisine basıncın etkisi

Şekil 5.8 'de pH değişirken aynı zamanda basınçta 8-24 bar arasında değiştirilerek basınç ve pH artışı ile birlikte, tuz giderme veriminin değişimi gösterilmiştir. Burada en yüksek verim değeri pH 7-9 arasında iken ve basıncında 24 bar olduğu değerdir.

Yukarıdaki grafiklere göre her bir parametrenin verim üzerindeki etkisi önem sırasına koyacak olursak; basıncın artması her ne şekilde olursa olsun verimi

artırdığından dolayı, boya ve tuz konsantrasyonundaki değişim verimi büyük miktarda etkilediğinden dolayı bu parametrelerin verim üzerindeki etkisi çok önemlidir. Yatay akış hızının artması membran üzerindeki çözünmüş maddelerin konsantrasyon polarizasyonu etkisini azaltmakta ve pH'daki değişim çözelti içindeki çözünmüş maddelerin çökelme özelliğini etkilediğinden dolayı bu iki parametrede verim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Buna göre membran verimi açısından;

- Basınç ( $\Delta P$ ): çok önemli
- Tuz ve boya giriş konsantrasyonu ( $C_{sb}$ ,  $C_{db}$ ): çok önemli
- Yatay akış hızı ( $v$ ): Önemli
- pH : Önemli bir etkiye sahiptir diyebiliriz.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada membran proseslerin veriminin belirlenmesinde Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımının etkinliği araştırılmıştır. Bunun için öncelikle membran proseslerin veriminin belirlenmesinde kullanılan mevcut matematik modeller araştırılmıştır. Daha sonra verime etki eden parametreler belirlenerek literatürden toplanan 216 adet deneysel veri ve sonuçlarının 162 tanesi YSA'nın eğitim setinde 54 tanesi test setinde kullanılmak şartıyla verimi belirlemede en uygun katmanlı ve işlem elemanlı YSA modeli bulunmaya çalışılmıştır. Bunu belirlerken deney ve YSA sonuçları arasında en az ortalama karesel hatayı veren model belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre uygun YSA modelinin tek katmanlı ve 9 işlem elemanlı olduğu belirlenmiştir. Bu modelde 0,0140 eğitim setinde 0,0190 test setinde olmak üzere en az ortalama karesel hata elde edilmiştir.

En uygun YSA modeli belirlendikten sonra deney sonuçları YSA'dan elde edilen verim sonuçları ve modelden elde edilen sonuçlar ile ortalama karesel hataları açısından karşılaştırılmıştır. Buna göre ortalama karesel hatalar YSA için 0.0264, Koyuncu modeli için 0.0103 ve Perry-Linder modeli için 0.0731'dir. Buna göre deney sonuçlarına en yakın sonuçlar koyuncunun model sonuçları, daha sonra YSA sonuçlarıdır. Bunun nedeni koyuncu modelindeki bazı parametrelerin deney sonuçlarına göre belirlenmesidir. Buna rağmen YSA'nında deney sonuçlarına çok yakın sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Bundan sonra parametrik analiz ile YSA tarafından verim örnekleri çoğaltılarak her bir parametrenin verim üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Buna göre verim üzerinde basınç ve tuz boya konsantrasyonunun çok önemli, yatay akış hızı ve pH'ında önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu yapılan çalışmaların sonucunda YSA'nın membran proseslerin verimini belirlemede etkin ve kullanışlı bir metot olduğu gösterilmiştir. Deneyler çok pahalıya

mal olmakta ve uzun zaman almaktadır. YSA'nın bizim çalışmalarımıza faydası bir kısım deneylerin yapılarak aradaki deneysel çalışmaların sonuçlarını YSA kullanarak üretilebilir. Bu şekilde hem zamandan kazanmış hem de maliyeti azaltmış oluruz.

Bu çalışmada verimi etkileyen parametreler YSA'ya girdi olarak verim ise çıktı olarak verilerek YSA eğitilmiş ve test ve test edilmiştir. Eğitimi tamamlanmış olan YSA çeşitli girdi parametrelerinde verimin ne olduğunu tahmin etmektedir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmada istenen bir verim değerinde girdi parametrelerinin ne olması gerektiğini tahmin eden bir YSA modeli geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

Aireya D., Yao S., Wuc J., Chenc V., Fanec A.G., Popea J.M., An Investigation of Concentration Polarization Phenomena in Membrane Filtration of Colloidal Silica Suspensions by NMR Micro-İmaging, *Journal of Membrane Science* 145 (1998) 145-158

Amjad Z., *Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry, and Industrial Applications*, Van Nostrand Reinhold Inc, New York, NY (1993)

AWWA Membrane Technology Research Committee, Committee Report: Membrane Process in Potable Water Treatment, *J. of AWWA*, 84 (1992) 59-67

Barger M. and Carnahan R.P., Fouling Prediction in Reverse Osmosis Processes, *Desalination*, 83 (1991) 3-33

Basu O.D., Huck P.M., Biological Reactor-Coupled Membrane Processes for Organics Removal from Drinking Water. *Proceedings, Membranes in Drinking and Industrial Water Production Conference*. (2002)

Brehant A., Bonnelye V., and Perez M., Comparison of MF/UF Pretreatment with Conventional Filtration Prior to RO Membranes for Surface Seawater 144 (2002) 353-360

Bruggen B.V., Vandecasteele C., Gestel T.V., Doyenb W. and Leysenb R., A Review of Pressure-Driven Membrane Processes in Wastewater Treatment and Drinking Water Production, *Environmental Progress*, 22 (2003) 46-56

Cladera A., Mari A.R., Shear Design Procedure for Reinforced Normal and High-Strength Concrete Beams Using Artificial Neural Networks. Part I: Beams Without Stirrups, *Engineering Structures* 26 (2004), 917-926

Cornelissen E. R., Verdouw J., Gijsbertsen-Abrahamse A. J., Hofman J.A.M.H., A Nanofiltration Retention Model for Trace Contaminants in Drinking Water Sources, *Desalination* 178 (2005) 179-192

Çağlar, N., *Yapay Sinir Ağları ile Binaların Dinamik Analizi*, Doktora Tezi, Sakarya 2001

Del Pino M.P., and Durham B., Wastewater Reuse Thorough Dual-Membrane Processes: Opportunities for Sustainable Water Sources 124 (1999) 271-277

- Fane A.G. and Fell C.J.D., A Review of Fouling and Fouling Control in Ultrafiltration, *Desalination*, 62 (1987) 117-136
- IUPAC Recommendations, Terminology for Membranes and Membrane Processes, *Journal of Membrane Science*, 120 (1996)149–159.
- Jacangelo J.G., Patania N.L., and Trussell R.H., Membranes in Water, *Civil Engineering*, May (1989) 68-71
- Jacangelo, J., G., Chellam, S., The Membrane Treatment, *Civil Engineering*. 68 (1998), 42-46
- Jesus G.A., Mathematical Modeling of The Pressure-Driven Performance of McMaster Pore Filled Membranes, Thesis of Doctorate, Hamilton, Canada, 2002
- Kim S., Hoek E.M.V., Modeling Concentration Polarization in Reverse Osmosis Processes, *Desalination* 186 (2005) 111–128
- Koyuncu İ. ve Topacık D., Effect of Organic Ion on Separation of Salts by Nanofiltration Membranes, *Journal of Membrane Sciences*, 195 (2002) 247-263
- Koyuncu İ., Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi, Doktora Tezi, 2001
- Lahoussine –Turcdo V., Wiesner M.R., and Bottero J.Y., Fouling in Tangential-Flow Filtration: The Effect of Colloid Size and Coagulation Treatment, *J. of Membrane Science*, 52 (1990) 173-190
- Lipp P., Gimbel R., and Frimmel F.H., Parameters Influencing the Rejection Properties of FT39 Membranes, *J. of Membrane Science*, 97 (1994) 37-52
- Liu T., The Application of Membranes in Environmental Protection, *Desalination*, 62 (1987) 149-164
- Mehra P. and Wah B. J. Artificial Neural Networks: Concepts and Theory, IEEE Computer Society Press, Washington, 1992, p 45
- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, New York, United States, Water Environment Federation, 2003
- Morin O.J., Membrane Plants in North America, *J. of AWWA*, 86 (1992) 42-54
- Mulder M., Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands (1992)
- Parekh B.S., Reverse Osmosis Technology, Marcel Dekker Inc., New York, NY(1988)



Potts D.E., Alhert R.C., and Wang S.S., A Critical Review of Fouling of Reverse Osmosis Membranes, Academic Press inc. , Orlando, Florida, (1984)

Song L. and Elimelech M., Theory of Concentration Polarization in Crossflow Filtration, J. Chem. Soc. Faraday Trans. 91(1995), 3389-3398

Subramani A., Kim S., Hoek E. M.V., Pressure, Flow, and Concentration Profiles in Open and Spacer-Filled Membrane Channels, Journal of Membrane Science, 2005, Article in Press

Visvanathan C., Boonthanon N., Sathasivan A., and Jegatheesa V., Pretreatment of Seawater for Biodegradable Organic Content Removal Using Membrane Bioreactor. Desalination. 153(2002) 133-140

Weber W.J., Processes for Advanced Treatment of Water, Water Sci. Tech., 40 (1999) 11-19

Wehiau P., Study on The Effect of Multiple Factors on RO and NF Membranes' Performance and Rejection Efficiency, Thesis of Doctorate, 2003

Wend C.F., Steward P.S., Jones W. and Camper A.K., Pretreatment for Membrane Water Treatment Systems: A Laboratory Study, Water Research, 37 (2003) 3367-3378

Wiesner M.R., Hackney J., Sethi S., Jacangelo J.G., and Laine J.M., Cost Estimates for Membrane Filtration and Conventional Treatment, J. Of AWWA, 86 (1994) 33-41

Winfield B.A., The Treatment of Sewage Effluents By Reverse Osmosis-pH Based Studies of The Fouling Layer and its Removal, Water Research , 13 (1979) 561-564

Yıldız, E., Çapraz Akış Ultrafiltrasyon Tekniği ile İçme Sularından Nitrit ve Nitrat Uzaklaştırılması, Y. Lisans Tezi, Erzurum, 1995

Zhu X. and Elimelech M., Fouling Reverse Osmosis Membranes by Aluminum Oxide Colloids, Journal of Environmental Engineering, Dec (1995) 884-892

<http://www.millipore.com/ehandbook.nsf/docs/Ufmembranefiltration>

## **EKLER**

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
2	Eğitim Seti	1	0.040
		2	0.036
		3	0.041
		4	0.041
		5	0.036
		6	0.036
		7	0.041
		8	0.041
		9	0.037
		10	0.039
	Test Seti	1	0.052
		2	0.049
		3	0.052
		4	0.052
		5	0.048
		6	0.048
		7	0.054
		8	0.052
		9	0.045
		10	0.054
3	Eğitim Seti	1	0.029
		2	0.029
		3	0.040
		4	0.026
		5	0.034
		6	0.028
		7	0.030
		8	0.025
		9	0.028
		10	0.036
	Test Seti	1	0.042
		2	0.044
		3	0.052
		4	0.041
		5	0.046
		6	0.042
		7	0.045
		8	0.043
		9	0.037
		10	0.046

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
4	Eğitim Seti	1	0.0231
		2	0.0269
		3	0.0229
		4	0.0251
		5	0.0233
		6	0.0228
		7	0.0242
		8	0.0251
		9	0.0239
		10	0.0262
	Test Seti	1	0.0380
		2	0.0396
		3	0.0392
		4	0.0430
		5	0.0377
		6	0.0372
		7	0.0412
		8	0.0431
		9	0.0399
		10	0.0362
5	Eğitim Seti	1	0.0208
		2	0.0214
		3	0.0240
		4	0.0228
		5	0.0230
		6	0.0229
		7	0.0205
		8	0.0205
		9	0.0231
		10	0.0223
	Test Seti	1	0.0385
		2	0.0295
		3	0.0374
		4	0.0373
		5	0.0400
		6	0.0392
		7	0.0368
		8	0.0282
		9	0.0364
		10	0.0353

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
6	Eğitim Seti	1	0.0176
		2	0.0177
		3	0.0214
		4	0.0217
		5	0.0193
		6	0.0187
		7	0.0230
		8	0.0203
		9	0.0229
		10	0.0176
	Test Seti	1	0.0244
		2	0.0282
		3	0.0272
		4	0.0352
		5	0.0275
		6	0.0363
		7	0.0311
		8	0.0321
		9	0.0382
		10	0.0239
7	Eğitim Seti	1	0.0168
		2	0.0211
		3	0.0175
		4	0.0193
		5	0.0192
		6	0.0187
		7	0.0189
		8	0.0189
		9	0.0197
		10	0.0172
	Test Seti	1	0.0255
		2	0.0270
		3	0.0299
		4	0.0302
		5	0.0263
		6	0.0324
		7	0.0247
		8	0.0267
		9	0.0316
		10	0.0242

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
8	Eğitim Seti	1	0.0198
		2	0.0158
		3	0.0173
		4	0.0161
		5	0.0176
		6	0.0153
		7	0.0168
		8	0.0168
		9	0.0187
		10	0.0166
	Test Seti	1	0.0294
		2	0.0246
		3	0.0271
		4	0.0247
		5	0.0324
		6	0.0220
		7	0.0268
		8	0.0249
		9	0.0254
		10	0.0258
9	Eğitim Seti	1	0.0174
		2	0.0177
		3	0.0151
		4	0.0160
		5	0.0181
		6	0.0172
		7	0.0169
		8	0.0153
		9	0.0174
		10	0.0150
	Test Seti	1	0.0313
		2	0.0266
		3	0.0203
		4	0.0271
		5	0.0224
		6	0.0265
		7	0.0264
		8	0.0234
		9	0.0307
		10	0.0223

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
10	Eğitim Seti	1	0.0160
		2	0.0149
		3	0.0165
		4	0.0152
		5	0.0176
		6	0.0161
		7	0.0145
		8	0.0148
		9	0.0154
		10	0.0148
	Test Seti	1	0.0249
		2	0.0227
		3	0.0296
		4	0.0223
		5	0.0232
		6	0.0234
		7	0.0218
		8	0.0246
		9	0.0352
		10	0.0227
11	Eğitim Seti	1	0.0149
		2	0.0164
		3	0.0160
		4	0.0149
		5	0.0146
		6	0.0148
		7	0.0153
		8	0.0142
		9	0.0156
		10	0.0159
	Test Seti	1	0.0225
		2	0.0251
		3	0.0300
		4	0.0229
		5	0.0244
		6	0.0254
		7	0.0301
		8	0.0205
		9	0.0239
		10	0.0275

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
12	Eğitim Seti	1	0.0160
		2	0.0144
		3	0.0141
		4	0.0143
		5	0.0135
		6	0.0155
		7	0.0143
		8	0.0147
		9	0.0137
		10	0.0145
	Test Seti	1	0.0234
		2	0.0225
		3	0.0213
		4	0.0254
		5	0.0274
		6	0.0222
		7	0.0223
		8	0.0269
		9	0.0236
		10	0.0235
13	Eğitim Seti	1	0.0156
		2	0.0142
		3	0.0141
		4	0.0136
		5	0.0145
		6	0.0151
		7	0.0141
		8	0.0141
		9	0.0132
		10	0.0140
	Test Seti	1	0.0304
		2	0.0217
		3	0.0240
		4	0.0232
		5	0.0245
		6	0.0226
		7	0.0219
		8	0.0220
		9	0.0215
		10	0.0246



**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
14	Eğitim Seti	1	0.0134
		2	0.0138
		3	0.0137
		4	0.0143
		5	0.0132
		6	0.0151
		7	0.0146
		8	0.0136
		9	0.0154
		10	0.0141
	Test Seti	1	0.0233
		2	0.0222
		3	0.0221
		4	0.0226
		5	0.0216
		6	0.0262
		7	0.0226
		8	0.0260
		9	0.0237
		10	0.0227
15	Eğitim Seti	1	0.0125
		2	0.0136
		3	0.0132
		4	0.0130
		5	0.0134
		6	0.0133
		7	0.0132
		8	0.0130
		9	0.0136
		10	0.0141
	Test Seti	1	0.0218
		2	0.0231
		3	0.0257
		4	0.0215
		5	0.0316
		6	0.0237
		7	0.0303
		8	0.0207
		9	0.0215
		10	0.0241

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
16	Eğitim Seti	1	0.0134
		2	0.0124
		3	0.0131
		4	0.0132
		5	0.0133
		6	0.0139
		7	0.0130
		8	0.0132
		9	0.0133
		10	0.0129
	Test Seti	1	0.0238
		2	0.0227
		3	0.0213
		4	0.0263
		5	0.0246
		6	0.0247
		7	0.0285
		8	0.0251
		9	0.0241
		10	0.0202
17	Eğitim Seti	1	0.0126
		2	0.0127
		3	0.0131
		4	0.0128
		5	0.0130
		6	0.0133
		7	0.0133
		8	0.0127
		9	0.0130
		10	0.0125
	Test Seti	1	0.0206
		2	0.0215
		3	0.0241
		4	0.0249
		5	0.0232
		6	0.0252
		7	0.0279
		8	0.0222
		9	0.0218
		10	0.0246

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
18	Eğitim Seti	1	0.0128
		2	0.0141
		3	0.0127
		4	0.0125
		5	0.0131
		6	0.0128
		7	0.0126
		8	0.0124
		9	0.0126
		10	0.0128
	Test Seti	1	0.0335
		2	0.0271
		3	0.0229
		4	0.0272
		5	0.0212
		6	0.0274
		7	0.0214
		8	0.0270
		9	0.0289
		10	0.0224
19	Eğitim Seti	1	0.0126
		2	0.0131
		3	0.0122
		4	0.0126
		5	0.0118
		6	0.0136
		7	0.0120
		8	0.0124
		9	0.0128
		10	0.0134
	Test Seti	1	0.0209
		2	0.0296
		3	0.0228
		4	0.0240
		5	0.0263
		6	0.0244
		7	0.0276
		8	0.0224
		9	0.0249
		10	0.0287

**Ek 1A. Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
20	Eğitim Seti	1	0.0121
		2	0.0127
		3	0.0132
		4	0.0124
		5	0.0121
		6	0.0127
		7	0.0126
		8	0.0124
		9	0.0125
		10	0.0125
	Test Seti	1	0.0281
		2	0.0232
		3	0.0270
		4	0.0231
		5	0.0227
		6	0.0251
		7	0.0260
		8	0.0246
		9	0.0291
		10	0.0234
21	Eğitim Seti	1	0.0121
		2	0.0118
		3	0.0117
		4	0.0122
		5	0.0126
		6	0.0121
		7	0.0118
		8	0.0121
		9	0.0129
		10	0.0126
	Test Seti	1	0.0255
		2	0.0232
		3	0.0306
		4	0.0269
		5	0.0266
		6	0.0299
		7	0.0267
		8	0.0258
		9	0.0264
		10	0.0263

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
2	1	Eğitim Seti	1	0.0408
			2	0.0462
			3	0.0462
			4	0.0404
			5	0.0360
		Test Seti	1	0.0441
			2	0.0421
			3	0.0421
			4	0.0487
			5	0.0434
2	3	Eğitim Seti	1	0.0292
			2	0.0416
			3	0.0348
			4	0.0377
			5	0.0293
		Test Seti	1	0.0401
			2	0.0390
			3	0.0414
			4	0.0368
			5	0.0390
2	5	Eğitim Seti	1	0.0343
			2	0.0294
			3	0.0293
			4	0.0350
			5	0.0266
		Test Seti	1	0.0408
			2	0.0495
			3	0.0396
			4	0.0375
			5	0.0458
2	7	Eğitim Seti	1	0.0259
			2	0.0255
			3	0.0308
			4	0.0255
			5	0.0251
		Test Seti	1	0.0399
			2	0.0449
			3	0.0358
			4	0.0380
			5	0.0418
2	9	Eğitim Seti	1	0.0231
			2	0.0222
			3	0.0229
			4	0.0249
			5	0.0408
		Test Seti	1	0.0478
			2	0.0448
			3	0.0448
			4	0.0448
			5	0.0389

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
3	1	Eğitim Seti	1	0.0276
			2	0.0265
			3	0.0327
			4	0.0326
			5	0.0258
		Test Seti	1	0.0345
			2	0.0465
			3	0.0418
			4	0.0419
			5	0.0437
3	3	Eğitim Seti	1	0.0240
			2	0.0308
			3	0.0282
			4	0.0220
			5	0.0221
		Test Seti	1	0.0401
			2	0.0419
			3	0.0472
			4	0.0368
			5	0.0470
3	5	Eğitim Seti	1	0.0193
			2	0.0196
			3	0.0209
			4	0.0209
			5	0.0231
		Test Seti	1	0.0421
			2	0.0399
			3	0.0378
			4	0.0359
			5	0.0391
3	7	Eğitim Seti	1	0.0198
			2	0.0203
			3	0.0213
			4	0.0223
			5	0.0208
		Test Seti	1	0.0434
			2	0.0401
			3	0.0360
			4	0.0365
			5	0.0404
3	9	Eğitim Seti	1	0.0177
			2	0.0194
			3	0.0187
			4	0.0229
			5	0.0264
		Test Seti	1	0.0379
			2	0.0406
			3	0.0405
			4	0.0485
			5	0.0474

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
4	1	Eğitim Seti	1	0.0276
			2	0.0237
			3	0.0386
			4	0.0255
			5	0.0239
		Test Seti	1	0.0346
			2	0.0404
			3	0.0472
			4	0.0360
			5	0.0385
4	3	Eğitim Seti	1	0.0217
			2	0.0165
			3	0.0215
			4	0.0189
			5	0.0261
		Test Seti	1	0.0462
			2	0.0388
			3	0.0359
			4	0.0489
			5	0.0496
4	5	Eğitim Seti	1	0.0171
			2	0.0183
			3	0.0184
			4	0.0229
			5	0.0186
		Test Seti	1	0.0362
			2	0.0386
			3	0.0357
			4	0.0416
			5	0.0392
4	7	Eğitim Seti	1	0.0205
			2	0.0156
			3	0.0182
			4	0.0165
			5	0.0172
		Test Seti	1	0.0293
			2	0.0433
			3	0.0423
			4	0.0369
			5	0.0331
4	9	Eğitim Seti	1	0.0166
			2	0.0154
			3	0.0155
			4	0.0164
			5	0.0164
		Test Seti	1	0.0363
			2	0.0383
			3	0.0356
			4	0.0356
			5	0.0340

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
5	1	Eğitim Seti	1	0.0247
			2	0.0256
			3	0.0198
			4	0.0249
			5	0.0253
		Test Seti	1	0.0382
			2	0.0464
			3	0.0444
			4	0.0410
			5	0.0417
5	3	Eğitim Seti	1	0.0172
			2	0.0173
			3	0.0165
			4	0.0249
			5	0.0179
		Test Seti	1	0.0378
			2	0.0364
			3	0.0410
			4	0.0364
			5	0.0353
5	5	Eğitim Seti	1	0.0169
			2	0.0167
			3	0.0171
			4	0.0159
			5	0.0180
		Test Seti	1	0.0361
			2	0.0405
			3	0.0367
			4	0.0398
			5	0.0353
5	7	Eğitim Seti	1	0.0145
			2	0.0210
			3	0.0167
			4	0.0143
			5	0.0149
		Test Seti	1	0.0414
			2	0.0503
			3	0.0360
			4	0.0337
			5	0.0350
5	9	Eğitim Seti	1	0.0149
			2	0.0162
			3	0.0151
			4	0.0170
			5	0.0146
		Test Seti	1	0.0448
			2	0.0392
			3	0.0384
			4	0.0365
			5	0.0433



**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
6	1	Eğitim Seti	1	0.0197
			2	0.0190
			3	0.0187
			4	0.0216
			5	0.0275
		Test Seti	1	0.0381
			2	0.0380
			3	0.0377
			4	0.0350
			5	0.0359
6	3	Eğitim Seti	1	0.0203
			2	0.0153
			3	0.0178
			4	0.0161
			5	0.0166
		Test Seti	1	0.0431
			2	0.0407
			3	0.0373
			4	0.0385
			5	0.0407
6	5	Eğitim Seti	1	0.0155
			2	0.0151
			3	0.0160
			4	0.0156
			5	0.0148
		Test Seti	1	0.0533
			2	0.0373
			3	0.0362
			4	0.0330
			5	0.0391
6	7	Eğitim Seti	1	0.0146
			2	0.0174
			3	0.0152
			4	0.0142
			5	0.0151
		Test Seti	1	0.0445
			2	0.0380
			3	0.0380
			4	0.0437
			5	0.0355
6	9	Eğitim Seti	1	0.0133
			2	0.0158
			3	0.0146
			4	0.0138
			5	0.0144
		Test Seti	1	0.0399
			2	0.0374
			3	0.0402
			4	0.0358
			5	0.0366

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
7	1	Eğitim Seti	1	0.0190
			2	0.0191
			3	0.0193
			4	0.0189
			5	0.0200
		Test Seti	1	0.0364
			2	0.0393
			3	0.0381
			4	0.0381
			5	0.0534
7	3	Eğitim Seti	1	0.0156
			2	0.0151
			3	0.0155
			4	0.0190
			5	0.0188
		Test Seti	1	0.0358
			2	0.0427
			3	0.0382
			4	0.0348
			5	0.0354
7	5	Eğitim Seti	1	0.0163
			2	0.0148
			3	0.0151
			4	0.0152
			5	0.0150
		Test Seti	1	0.0362
			2	0.0370
			3	0.0381
			4	0.0379
			5	0.0371
7	7	Eğitim Seti	1	0.0154
			2	0.0137
			3	0.0133
			4	0.0147
			5	0.0152
		Test Seti	1	0.0381
			2	0.0350
			3	0.0359
			4	0.0377
			5	0.0365
7	9	Eğitim Seti	1	0.0147
			2	0.0145
			3	0.0131
			4	0.0129
			5	0.0136
		Test Seti	1	0.0384
			2	0.0443
			3	0.0483
			4	0.0375
			5	0.0439

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
8	1	Eğitim Seti	1	0.0229
			2	0.0190
			3	0.0188
			4	0.0188
			5	0.0204
		Test Seti	1	0.0442
			2	0.0363
			3	0.0424
			4	0.0330
			5	0.0365
8	3	Eğitim Seti	1	0.0173
			2	0.0157
			3	0.0153
			4	0.0163
			5	0.0144
		Test Seti	1	0.0374
			2	0.0417
			3	0.0344
			4	0.0356
			5	0.0325
8	5	Eğitim Seti	1	0.0132
			2	0.0150
			3	0.0146
			4	0.0136
			5	0.0140
		Test Seti	1	0.0461
			2	0.0362
			3	0.0361
			4	0.0383
			5	0.0374
8	7	Eğitim Seti	1	0.0130
			2	0.0142
			3	0.0139
			4	0.0139
			5	0.0140
		Test Seti	1	0.0369
			2	0.0571
			3	0.0509
			4	0.0381
			5	0.0350
8	9	Eğitim Seti	1	0.0140
			2	0.0132
			3	0.0140
			4	0.0137
			5	0.0135
		Test Seti	1	0.0381
			2	0.0404
			3	0.0352
			4	0.0357
			5	0.0387

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
9	1	Eğitim Seti	1	0.0196
			2	0.0184
			3	0.0194
			4	0.0184
			5	0.0175
		Test Seti	1	0.0399
			2	0.0332
			3	0.0405
			4	0.0351
			5	0.0363
9	3	Eğitim Seti	1	0.0155
			2	0.0140
			3	0.0159
			4	0.0155
			5	0.0155
		Test Seti	1	0.0358
			2	0.0411
			3	0.0330
			4	0.0347
			5	0.0350
9	5	Eğitim Seti	1	0.0140
			2	0.0126
			3	0.0140
			4	0.0145
			5	0.0134
		Test Seti	1	0.0419
			2	0.0393
			3	0.0350
			4	0.0338
			5	0.0341
9	7	Eğitim Seti	1	0.0132
			2	0.0129
			3	0.0123
			4	0.0142
			5	0.0132
		Test Seti	1	0.0370
			2	0.0386
			3	0.0498
			4	0.0407
			5	0.0398
9	9	Eğitim Seti	1	0.0124
			2	0.0131
			3	0.0132
			4	0.0126
			5	0.0123
		Test Seti	1	0.0504
			2	0.0364
			3	0.0430
			4	0.0410
			5	0.0413

**Ek 1B. İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi (Devamı)**

1. Katman İşlem Elemanı Sayısı	2. Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama No	Ortalama Karesel Hata (MSE)
10	1	Eğitim Seti	1	0.0172
			2	0.0174
			3	0.0163
			4	0.0164
			5	0.0167
		Test Seti	1	0.0327
			2	0.0357
			3	0.0424
			4	0.0343
			5	0.0336
10	3	Eğitim Seti	1	0.0146
			2	0.0162
			3	0.0138
			4	0.0133
			5	0.0143
		Test Seti	1	0.0619
			2	0.0384
			3	0.0373
			4	0.0358
			5	0.0384
10	5	Eğitim Seti	1	0.0133
			2	0.0135
			3	0.0144
			4	0.0140
			5	0.0142
		Test Seti	1	0.0371
			2	0.0466
			3	0.0404
			4	0.0395
			5	0.0373
10	7	Eğitim Seti	1	0.0133
			2	0.0130
			3	0.0119
			4	0.0116
			5	0.0134
		Test Seti	1	0.0388
			2	0.0380
			3	0.0471
			4	0.0459
			5	0.0350
10	9	Eğitim Seti	1	0.0122
			2	0.0133
			3	0.0123
			4	0.0115
			5	0.0125
		Test Seti	1	0.0425
			2	0.0410
			3	0.0394
			4	0.0425
			5	0.0419

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları

Uygulama No	Membran Prosesler							Rtahmin			Rdeney/Rtahmin				
	E/T	C <sub>b</sub> (g/l)	C <sub>a</sub> (g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	R <sub>deney</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>
1	T	1	0	0.74	7	8	0.651	-	-	0.528	0.702	-	-	1.23	0.93
2	E	1	0	0.74	7	12	0.702	-	-	0.558	0.731	-	-	1.26	0.96
3	E	1	0	0.74	7	16	0.714	-	-	0.588	0.741	-	-	1.21	0.96
4	E	1	0	0.74	7	20	0.719	-	-	0.618	0.745	-	-	1.16	0.96
5	T	1	0	0.74	7	24	0.721	-	-	0.648	0.748	-	-	1.11	0.96
6	E	1	0	0.74	7	28	0.722	-	-	0.679	0.751	-	-	1.06	0.96
7	T	20	0	0.74	7	8	0.225	-	-	0.419	0.242	-	-	0.54	0.93
8	E	20	0	0.74	7	12	0.312	-	-	0.450	0.319	-	-	0.69	0.98
9	E	20	0	0.74	7	16	0.368	-	-	0.480	0.364	-	-	0.77	1.01
10	T	20	0	0.74	7	20	0.412	-	-	0.510	0.405	-	-	0.81	1.02
11	E	20	0	0.74	7	24	0.455	-	-	0.540	0.447	-	-	0.84	1.02
12	E	20	0	0.74	7	28	0.469	-	-	0.570	0.485	-	-	0.82	0.97
13	T	40	0	0.74	7	8	0.148	-	-	0.306	0.139	-	-	0.48	1.07
14	E	40	0	0.74	7	12	0.202	-	-	0.336	0.204	-	-	0.60	0.99
15	E	40	0	0.74	7	16	0.240	-	-	0.366	0.241	-	-	0.66	1.00
16	T	40	0	0.74	7	20	0.273	-	-	0.396	0.268	-	-	0.69	1.02
17	E	40	0	0.74	7	24	0.300	-	-	0.426	0.293	-	-	0.70	1.03
18	E	40	0	0.74	7	28	0.330	-	-	0.457	0.317	-	-	0.72	1.04
19	T	80	0	0.74	7	8	0.056	-	-	0.078	0.048	-	-	0.72	1.17
20	E	80	0	0.74	7	12	0.084	-	-	0.108	0.089	-	-	0.78	0.95
21	E	80	0	0.74	7	16	0.107	-	-	0.138	0.116	-	-	0.78	0.92
22	E	80	0	0.74	7	20	0.123	-	-	0.168	0.135	-	-	0.73	0.91
23	E	80	0	0.74	7	24	0.138	-	-	0.198	0.147	-	-	0.70	0.94
24	T	80	0	0.74	7	28	0.148	-	-	0.229	0.151	-	-	0.65	0.98

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	E/T	Membran Prosesler					Rtahmin			Rdeney/Rtahmin					
		C <sub>b</sub> (g/l)	C <sub>a</sub> (g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	R <sub>deney</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>
25	T	1	1	0.74	7	8	0.596	0.602	0.634	0.509	0.676	0.99	0.99	1.17	0.88
26	E	1	1	0.74	7	12	0.638	0.634	0.694	0.539	0.711	1.01	1.01	1.18	0.90
27	E	1	1	0.74	7	16	0.638	0.631	0.718	0.569	0.721	1.01	1.01	1.12	0.89
28	E	1	1	0.74	7	20	0.615	0.618	0.732	0.599	0.725	1.00	1.00	1.03	0.85
29	E	1	1	0.74	7	24	0.607	0.612	0.735	0.630	0.727	0.99	0.99	0.96	0.83
30	T	1	9	0.74	7	8	0.237	0.238	0.351	0.358	0.224	1.00	1.00	0.66	1.06
31	E	1	9	0.74	7	12	0.283	0.287	0.449	0.388	0.294	0.99	0.99	0.73	0.96
32	E	1	9	0.74	7	16	0.302	0.293	0.489	0.419	0.296	1.03	1.03	0.72	1.02
33	E	1	9	0.74	7	20	0.287	0.289	0.517	0.449	0.283	0.99	0.99	0.64	1.01
34	E	1	9	0.74	7	24	0.275	0.278	0.537	0.479	0.273	0.99	0.99	0.57	1.01
35	T	20	1	0.74	7	8	0.212	0.204	0.220	0.401	0.203	1.04	1.04	0.53	1.04
36	E	20	1	0.74	7	12	0.252	0.289	0.312	0.431	0.295	0.87	0.87	0.58	0.86
37	E	20	1	0.74	7	16	0.336	0.345	0.382	0.461	0.354	0.97	0.97	0.73	0.95
38	E	20	1	0.74	7	20	0.378	0.375	0.439	0.491	0.395	1.01	1.01	0.77	0.96
39	E	20	1	0.74	7	24	0.403	0.376	0.478	0.521	0.424	1.07	1.07	0.77	0.95
40	T	20	9	0.74	7	8	0.104	0.106	0.169	0.250	0.109	0.98	0.98	0.42	0.95
41	E	20	9	0.74	7	12	0.168	0.168	0.263	0.280	0.160	1.00	1.00	0.60	1.05
42	E	20	9	0.74	7	16	0.171	0.172	0.271	0.310	0.177	0.99	0.99	0.55	0.96
43	E	20	9	0.74	7	20	0.177	0.186	0.305	0.341	0.185	0.95	0.95	0.52	0.96
44	E	20	9	0.74	7	24	0.200	0.190	0.315	0.371	0.192	1.05	1.05	0.54	1.04
45	T	20	15	0.74	7	8	0.015	0.011	0.143	0.137	0.027	1.36	1.36	0.11	0.56
46	E	20	15	0.74	7	12	0.073	0.082	0.214	0.167	0.073	0.89	0.89	0.44	1.01
47	E	20	15	0.74	7	16	0.109	0.107	0.240	0.197	0.103	1.02	1.02	0.55	1.06
48	E	20	15	0.74	7	20	0.115	0.111	0.244	0.228	0.120	1.04	1.04	0.51	0.96

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	E/T	Membran Prosesler					Rtahmin			Rdeney/Rtahmin					
		C <sub>b</sub> (g/l)	C <sub>a</sub> (g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	R <sub>deney</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>
49	T	40	1	0.74	7	8	0.136	0.131	0.147	0.287	0.124	1.04	1.04	0.47	1.10
50	E	40	1	0.74	7	12	0.186	0.188	0.205	0.317	0.191	0.99	0.99	0.59	0.98
51	T	40	1	0.74	7	16	0.220	0.228	0.249	0.347	0.231	0.96	0.96	0.63	0.95
52	E	40	1	0.74	7	20	0.257	0.261	0.288	0.377	0.261	0.98	0.98	0.68	0.99
53	E	40	1	0.74	7	24	0.282	0.279	0.313	0.407	0.289	1.01	1.01	0.69	0.98
54	T	40	9	0.74	7	8	0.080	0.081	0.112	0.136	0.063	0.99	0.99	0.59	1.28
55	E	40	9	0.74	7	12	0.128	0.127	0.168	0.166	0.122	1.01	1.01	0.77	1.05
56	E	40	9	0.74	7	16	0.155	0.152	0.202	0.197	0.156	1.02	1.02	0.79	0.99
57	E	40	9	0.74	7	20	0.173	0.176	0.240	0.227	0.176	0.98	0.98	0.76	0.98
58	E	40	9	0.74	7	24	0.185	0.184	0.256	0.257	0.191	1.01	1.01	0.72	0.97
59	T	40	15	0.74	7	8	0.000	0.005	0.080	0.023	0.016	0.00	0.00	0.00	0.00
60	E	40	15	0.74	7	12	0.058	0.051	0.136	0.053	0.052	1.14	1.14	1.09	1.12
61	E	40	15	0.74	7	16	0.082	0.077	0.171	0.084	0.079	1.06	1.06	0.98	1.04
62	E	40	15	0.74	7	20	0.096	0.101	0.210	0.114	0.094	0.95	0.95	0.84	1.02
63	E	40	15	0.74	7	24	0.102	0.103	0.214	0.144	0.105	0.99	0.99	0.71	0.97
64	T	80	1	0.74	7	8	0.051	0.048	0.056	0.059	0.071	1.06	1.06	0.87	0.72
65	E	80	1	0.74	7	12	0.068	0.078	0.087	0.089	0.124	0.87	0.87	0.76	0.55
66	E	80	1	0.74	7	16	0.088	0.096	0.107	0.119	0.150	0.92	0.92	0.74	0.59
67	E	80	1	0.74	7	20	0.117	0.113	0.125	0.149	0.156	1.04	1.04	0.78	0.75
68	E	80	1	0.74	7	24	0.125	0.124	0.140	0.180	0.147	1.01	1.01	0.70	0.85
69	T	80	9	0.74	7	8	0.003	0.012	0.043	-0.092	0.011	0.25	0.25	-0.03	0.27
70	E	80	9	0.74	7	12	0.036	0.037	0.067	-0.062	0.038	0.97	0.97	-0.58	0.95
71	E	80	9	0.74	7	16	0.060	0.063	0.093	-0.031	0.061	0.95	0.95	-1.91	0.98
72	E	80	9	0.74	7	20	0.083	0.083	0.112	-0.001	0.082	1.00	1.00	-71.97	1.01



EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	Membran Prosesler							Rtahmin			Rdeney/Rtahmin				
	E/T	C <sub>b</sub> (g/l)	C <sub>a</sub> (g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	Rdeney	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>
73	E	80	9	0.74	7	24	0.104	0.100	0.129	0.029	0.103	1.04	1.04	3.58	1.01
74	T	80	15	0.74	7	16	0.014	0.017	0.080	-0.144	0.036	0.82	0.82	-0.10	0.39
75	E	80	15	0.74	7	20	0.032	0.036	0.098	-0.114	0.045	0.89	0.89	-0.28	0.71
76	E	80	15	0.74	7	24	0.060	0.055	0.116	-0.084	0.051	1.09	1.09	-0.72	1.18
77	T	1	1	1.11	7	8	0.567	0.580	0.612	0.552	0.565	0.98	0.98	1.03	1.00
78	E	1	1	1.11	7	12	0.630	0.627	0.656	0.582	0.631	1.00	1.00	1.08	1.00
79	E	1	1	1.11	7	16	0.654	0.649	0.676	0.613	0.652	1.01	1.01	1.07	1.00
80	E	1	1	1.11	7	20	0.659	0.661	0.688	0.643	0.660	1.00	1.00	1.03	1.00
81	E	1	1	1.11	7	24	0.665	0.665	0.691	0.673	0.664	1.00	1.00	0.99	1.00
82	T	1	1	0.41	7	8	0.532	0.535	0.606	0.470	0.541	0.99	0.99	1.13	0.98
83	E	1	1	0.41	7	12	0.584	0.580	0.652	0.500	0.584	1.01	1.01	1.17	1.00
84	E	1	1	0.41	7	16	0.596	0.594	0.673	0.531	0.594	1.00	1.00	1.12	1.00
85	E	1	1	0.41	7	20	0.600	0.597	0.684	0.561	0.595	1.01	1.01	1.07	1.01
86	E	1	1	0.41	7	24	0.590	0.596	0.686	0.591	0.594	0.99	0.99	1.00	0.99
87	T	1	1	0.11	7	8	0.475	0.472	0.601	0.435	0.454	1.01	1.01	1.09	1.05
88	E	1	1	0.11	7	12	0.501	0.503	0.643	0.465	0.495	1.00	1.00	1.08	1.01
89	E	1	1	0.11	7	16	0.500	0.507	0.662	0.496	0.506	0.99	0.99	1.01	0.99
90	E	1	1	0.11	7	20	0.502	0.499	0.673	0.526	0.507	1.01	1.01	0.95	0.99
91	T	1	1	0.11	7	24	0.498	0.495	0.675	0.556	0.506	1.01	1.01	0.90	0.98
92	T	20	1	1.11	7	8	0.206	0.202	0.219	0.444	0.201	1.02	1.02	0.46	1.03
93	E	20	1	1.11	7	12	0.267	0.264	0.289	0.474	0.269	1.01	1.01	0.56	0.99
94	E	20	1	1.11	7	16	0.293	0.303	0.341	0.504	0.296	0.97	0.97	0.58	0.99
95	E	20	1	1.11	7	20	0.306	0.321	0.393	0.535	0.310	0.95	0.95	0.57	0.99
96	E	20	1	1.11	7	24	0.320	0.305	0.423	0.565	0.313	1.05	1.05	0.57	1.02

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	Membran Prosesler							Rtahmin			Rdeney/Rtahmin				
	E/T	C <sub>b</sub> (g/l)	C <sub>d</sub> (g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	Rdeney	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>	R <sub>koyuncu</sub>	R <sub>periy-İnder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>
97	T	20	1	0.41	7	8	0.188	0.178	0.211	0.362	0.160	1.06	1.06	0.52	1.17
98	E	20	1	0.41	7	12	0.232	0.240	0.283	0.392	0.225	0.97	0.97	0.59	1.03
99	E	20	1	0.41	7	16	0.256	0.273	0.339	0.422	0.260	0.94	0.94	0.61	0.98
100	E	20	1	0.41	7	20	0.267	0.274	0.376	0.453	0.281	0.97	0.97	0.59	0.95
101	T	20	1	0.41	7	24	0.264	0.256	0.399	0.483	0.297	1.03	1.03	0.55	0.89
102	E	20	1	0.11	7	8	0.160	0.153	0.203	0.327	0.155	1.05	1.05	0.49	1.03
103	E	20	1	0.11	7	12	0.200	0.203	0.262	0.357	0.200	0.99	0.99	0.56	1.00
104	T	20	1	0.11	7	16	0.230	0.234	0.312	0.387	0.219	0.98	0.98	0.59	1.05
105	E	20	1	0.11	7	20	0.240	0.240	0.346	0.417	0.230	1.00	1.00	0.57	1.04
106	E	20	1	0.11	7	24	0.230	0.229	0.369	0.448	0.239	1.00	1.00	0.51	0.96
107	T	80	1	1.11	7	8	0.085	0.081	0.089	0.102	0.082	1.05	1.05	0.83	1.04
108	E	80	1	1.11	7	12	0.120	0.126	0.139	0.132	0.127	0.95	0.95	0.91	0.95
109	E	80	1	1.11	7	16	0.142	0.153	0.175	0.163	0.145	0.93	0.93	0.87	0.98
110	E	80	1	1.11	7	20	0.157	0.163	0.198	0.193	0.154	0.96	0.96	0.81	1.02
111	E	80	1	1.11	7	24	0.168	0.163	0.217	0.223	0.162	1.03	1.03	0.75	1.04
112	T	80	1	0.41	7	8	0.064	0.055	0.076	0.020	0.062	1.16	1.16	3.16	1.03
113	E	80	1	0.41	7	12	0.093	0.091	0.117	0.050	0.099	1.02	1.02	1.84	0.94
114	E	80	1	0.41	7	16	0.117	0.116	0.150	0.081	0.118	1.01	1.01	1.45	1.00
115	E	80	1	0.41	7	20	0.127	0.133	0.175	0.111	0.129	0.95	0.95	1.15	0.99
116	E	80	1	0.41	7	24	0.142	0.146	0.202	0.141	0.138	0.97	0.97	1.01	1.03
117	T	80	1	0.11	7	8	0.054	0.051	0.071	-0.015	0.062	1.06	1.06	-3.63	0.87
118	E	80	1	0.11	7	12	0.084	0.089	0.114	0.015	0.090	0.94	0.94	5.48	0.93
119	E	80	1	0.11	7	16	0.104	0.107	0.138	0.046	0.103	0.97	0.97	2.28	1.01
120	E	80	1	0.11	7	20	0.116	0.118	0.168	0.076	0.109	0.98	0.98	1.53	1.06

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	Membran Prosesler							Rtahmin			Rdeney/Rtahmin				
	E/T	Csb(g/l)	Cdb(g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	$\Delta P$ (bar)	Rdeney	Rkoynucu	Rpeny-İnder	Reg. Analizi	Rysa	Rkoynucu	Rpeny-İnder	Reg. Analizi	Rysa
121	E	80	1	0.11	7	24	0.115	0.112	0.188	0.106	0.114	1.03	1.03	1.09	1.01
122	T	80	9	0.74	5	12	0.030	0.025	0.059	-0.065	0.034	1.20	1.20	-0.46	0.88
123	E	80	9	0.74	5	16	0.048	0.054	0.087	-0.035	0.056	0.89	0.89	-1.36	0.86
124	E	80	9	0.74	5	20	0.075	0.074	0.107	-0.005	0.072	1.01	1.01	-15.10	1.05
125	E	80	9	0.74	5	24	0.085	0.084	0.117	0.025	0.084	1.01	1.01	3.37	1.02
126	T	80	9	0.74	7	8	0.003	0.010	0.040	-0.092	0.011	0.30	0.30	-0.03	0.27
127	E	80	9	0.74	7	12	0.036	0.038	0.065	-0.062	0.038	0.95	0.95	-0.58	0.95
128	E	80	9	0.74	7	16	0.060	0.064	0.091	-0.031	0.061	0.94	0.94	-1.91	0.98
129	E	80	9	0.74	7	20	0.083	0.083	0.110	-0.001	0.082	1.00	1.00	-71.97	1.01
130	T	80	9	0.74	7	24	0.104	0.100	0.127	0.029	0.103	1.04	1.04	3.58	1.01
131	E	80	9	0.74	9	8	0.000	0.011	0.018	-0.088	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00
132	E	80	9	0.74	9	12	0.025	0.027	0.031	-0.058	0.024	0.93	0.93	-0.43	1.05
133	E	80	9	0.74	9	16	0.040	0.041	0.046	-0.028	0.040	0.98	0.98	-1.45	1.01
134	E	80	9	0.74	9	20	0.050	0.046	0.051	0.003	0.052	1.09	1.09	18.80	0.96
135	E	1	0.1	0.74	7	8	0.703	0.717	0.738	0.526	0.701	0.98	0.98	1.34	1.00
136	T	1	0.1	0.74	7	12	0.761	0.756	0.778	0.556	0.730	1.01	1.01	1.37	1.04
137	E	1	0.1	0.74	7	16	0.782	0.775	0.800	0.586	0.740	1.01	1.01	1.33	1.06
138	E	1	0.1	0.74	7	20	0.777	0.786	0.819	0.616	0.744	0.99	0.99	1.26	1.04
139	E	1	0.1	0.74	7	24	0.780	0.783	0.828	0.647	0.747	1.00	1.00	1.21	1.04
140	E	1	0.5	0.74	7	8	0.664	0.681	0.729	0.518	0.693	0.98	0.98	1.28	0.96
141	E	1	0.5	0.74	7	12	0.740	0.726	0.773	0.548	0.724	1.02	1.02	1.35	1.02
142	E	1	0.5	0.74	7	16	0.747	0.751	0.800	0.579	0.733	0.99	0.99	1.29	1.02
143	E	1	0.5	0.74	7	20	0.758	0.759	0.816	0.609	0.737	1.00	1.00	1.24	1.03
144	E	1	0.5	0.74	7	24	0.752	0.757	0.824	0.639	0.740	0.99	0.99	1.18	1.02

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	Membran Prosesler						Rtahmin			Rdeney/Rtahmin					
	E/T	Csb(g/lt)	Cdb(g/lt)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	$\Delta P$ (bar)	Rdeney	Rkoyuncu	Rpeny-linder	Reg. Analizi	Rysa	Rkoyuncu	Rpeny-linder	Reg. Analizi	Rysa
145	T	1	1	0.74	7	8	0.652	0.657	0.709	0.509	0.676	0.99	0.99	1.28	0.96
146	E	1	1	0.74	7	12	0.718	0.719	0.769	0.539	0.711	1.00	1.00	1.33	1.01
147	E	1	1	0.74	7	16	0.745	0.738	0.790	0.569	0.721	1.01	1.01	1.31	1.03
148	E	1	1	0.74	7	20	0.752	0.750	0.807	0.599	0.725	1.00	1.00	1.25	1.04
149	E	1	1	0.74	7	24	0.745	0.752	0.815	0.630	0.727	0.99	0.99	1.18	1.02
150	E	1	5	0.74	7	8	0.524	0.538	0.626	0.434	0.533	0.97	0.97	1.21	0.98
151	T	1	5	0.74	7	12	0.637	0.618	0.697	0.464	0.620	1.03	1.03	1.37	1.03
152	E	1	5	0.74	7	16	0.664	0.652	0.728	0.494	0.650	1.02	1.02	1.34	1.02
153	E	1	5	0.74	7	20	0.670	0.670	0.747	0.524	0.662	1.00	1.00	1.28	1.01
154	E	1	5	0.74	7	24	0.652	0.671	0.748	0.554	0.668	0.97	0.97	1.18	0.98
155	E	10	0.5	0.13	7	8	0.362	0.353	0.409	0.396	0.367	1.03	1.03	0.92	0.99
156	T	10	0.5	0.13	7	12	0.456	0.467	0.523	0.426	0.447	0.98	0.98	1.07	1.02
157	E	10	0.5	0.13	7	16	0.484	0.520	0.586	0.456	0.485	0.93	0.93	1.06	1.00
158	E	10	0.5	0.13	7	20	0.506	0.531	0.625	0.486	0.505	0.95	0.95	1.04	1.00
159	E	10	0.5	0.13	7	24	0.518	0.494	0.657	0.516	0.517	1.05	1.05	1.00	1.00
160	E	10	0.5	0.56	7	8	0.388	0.407	0.415	0.446	0.389	0.95	0.95	0.87	1.00
161	E	10	0.5	0.56	7	12	0.507	0.508	0.517	0.476	0.506	1.00	1.00	1.06	1.00
162	T	10	0.5	0.56	7	16	0.579	0.571	0.582	0.506	0.568	1.01	1.01	1.14	1.02
163	E	10	0.5	0.56	7	20	0.609	0.620	0.639	0.537	0.605	0.98	0.98	1.14	1.01
164	E	10	0.5	0.56	7	24	0.637	0.638	0.670	0.567	0.630	1.00	1.00	1.12	1.01
165	E	10	0.5	1.11	7	8	0.397	0.411	0.409	0.510	0.393	0.97	0.97	0.78	1.01
166	E	10	0.5	1.11	7	12	0.522	0.517	0.517	0.540	0.523	1.01	1.01	0.97	1.00
167	T	10	0.5	1.11	7	16	0.588	0.596	0.598	0.571	0.597	0.99	0.99	1.03	0.99
168	E	10	0.5	1.11	7	20	0.637	0.639	0.643	0.601	0.643	1.00	1.00	1.06	0.99

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	Membran Prosesler							Rtahmin			Rdeney/Rtahmin				
	E/T	Csb(g/l)	Cdb(g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	Rdeney	Rkoyuncu	Rpery-İnder	Reg. Analizi	Rysa	Rkoyuncu	Rpery-İnder	Reg. Analizi	Rysa
169	E	10	0.5	1.11	7	24	0.657	0.661	0.668	0.631	0.671	0.99	0.99	1.04	0.98
170	E	10	1	0.13	7	8	0.346	0.336	0.386	0.386	0.342	1.03	1.03	0.90	1.01
171	T	10	1	0.13	7	12	0.441	0.445	0.502	0.416	0.427	0.99	0.99	1.06	1.03
172	E	10	1	0.13	7	16	0.473	0.495	0.575	0.447	0.470	0.96	0.96	1.06	1.01
173	E	10	1	0.13	7	20	0.496	0.493	0.620	0.477	0.495	1.01	1.01	1.04	1.00
174	E	10	1	0.56	7	8	0.388	0.396	0.386	0.437	0.393	0.98	0.98	0.89	0.99
175	E	10	1	0.56	7	12	0.512	0.507	0.505	0.467	0.508	1.01	1.01	1.10	1.01
176	T	10	1	0.56	7	16	0.576	0.575	0.582	0.497	0.572	1.00	1.00	1.16	1.01
177	E	10	1	0.56	7	20	0.613	0.616	0.640	0.527	0.613	1.00	1.00	1.16	1.00
178	E	10	1	1.11	7	8	0.398	0.398	0.397	0.501	0.398	1.00	1.00	0.79	1.00
179	E	10	1	1.11	7	12	0.527	0.526	0.526	0.531	0.524	1.00	1.00	0.99	1.01
180	T	10	1	1.11	7	16	0.588	0.589	0.590	0.561	0.588	1.00	1.00	1.05	1.00
181	E	10	1	1.11	7	20	0.640	0.640	0.642	0.591	0.628	1.00	1.00	1.08	1.02
182	E	10	0.5	0.74	4	8	0.400	0.397	0.487	0.461	0.397	1.01	1.01	0.87	1.01
183	E	10	0.5	0.74	4	12	0.483	0.518	0.594	0.491	0.489	0.93	0.93	0.98	0.99
184	T	10	0.5	0.74	4	16	0.545	0.566	0.641	0.522	0.544	0.96	0.96	1.04	1.00
185	E	10	0.5	0.74	4	20	0.585	0.595	0.684	0.552	0.587	0.98	0.98	1.06	1.00
186	E	10	0.5	0.74	4	24	0.631	0.589	0.701	0.582	0.624	1.07	1.07	1.08	1.01
187	E	10	0.5	0.74	7	8	0.439	0.446	0.447	0.467	0.454	0.98	0.98	0.94	0.97
188	E	10	0.5	0.74	7	12	0.573	0.570	0.573	0.497	0.573	1.01	1.01	1.15	1.00
189	T	10	0.5	0.74	7	16	0.630	0.632	0.635	0.527	0.632	1.00	1.00	1.19	1.00
190	T	10	0.5	0.74	7	20	0.670	0.670	0.675	0.558	0.666	1.00	1.00	1.20	1.01
191	E	10	0.5	0.74	7	24	0.690	0.692	0.701	0.588	0.687	1.00	1.00	1.17	1.00
192	E	10	0.5	0.74	10	8	0.383	0.390	0.487	0.473	0.382	0.98	0.98	0.81	1.00

EK 2. Deneysel veriler ve YSA sonuçları (Devamı)

Uygulama No	Membran Prosesler						Rtahmin			Rdeney/Rtahmin					
	E/T	C <sub>b</sub> (g/l)	C <sub>d</sub> (g/l)	V(m <sup>3</sup> /sn)	pH	ΔP(bar)	Rdeney	R <sub>kyuncu</sub>	R <sub>peny-linder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>	R <sub>kyuncu</sub>	R <sub>peny-linder</sub>	Reg. Analizi	R <sub>ysa</sub>
193	E	10	0.5	0.74	10	12	0.506	0.527	0.603	0.503	0.506	0.96	0.96	1.01	1.00
194	T	10	0.5	0.74	10	16	0.564	0.596	0.662	0.533	0.575	0.95	0.95	1.06	0.98
195	E	10	0.5	0.74	10	20	0.617	0.625	0.686	0.563	0.621	0.99	0.99	1.10	0.99
196	E	10	0.5	0.74	10	24	0.653	0.648	0.707	0.594	0.650	1.01	1.01	1.10	1.00
197	E	1	1	0.74	7	8	0.711	0.746	0.754	0.509	0.676	0.95	0.95	1.40	1.05
198	E	1	1	0.74	7	12	0.778	0.777	0.786	0.539	0.711	1.00	1.00	1.44	1.10
199	T	1	1	0.74	7	16	0.795	0.797	0.807	0.569	0.721	1.00	1.00	1.40	1.10
200	E	1	1	0.74	7	20	0.807	0.806	0.817	0.599	0.725	1.00	1.00	1.35	1.11
201	E	1	1	0.74	7	24	0.817	0.809	0.820	0.630	0.727	1.01	1.01	1.30	1.12
202	E	10	1	0.74	7	8	0.404	0.418	0.449	0.458	0.388	0.97	0.97	0.88	1.04
203	E	10	1	0.74	7	12	0.517	0.509	0.541	0.488	0.508	1.02	1.02	1.06	1.02
204	T	10	1	0.74	7	16	0.561	0.569	0.605	0.518	0.573	0.99	0.99	1.08	0.98
205	E	10	1	0.74	7	20	0.596	0.591	0.633	0.548	0.615	1.01	1.01	1.09	0.97
206	T	10	1	0.74	7	24	0.596	0.597	0.641	0.578	0.644	1.00	1.00	1.03	0.92
207	T	20	1	0.74	7	8	0.242	0.251	0.290	0.401	0.203	0.96	0.96	0.60	1.19
208	E	20	1	0.74	7	12	0.320	0.353	0.391	0.431	0.295	0.91	0.91	0.74	1.09
209	E	20	1	0.74	7	16	0.404	0.395	0.432	0.461	0.354	1.02	1.02	0.88	1.14
210	T	20	1	0.74	7	20	0.433	0.436	0.475	0.491	0.395	0.99	0.99	0.88	1.10
211	E	20	1	0.74	7	24	0.455	0.450	0.490	0.521	0.424	1.01	1.01	0.87	1.07
212	T	80	1	0.74	7	8	0.157	0.160	0.204	0.059	0.071	0.98	0.98	2.67	2.21
213	E	80	1	0.74	7	12	0.198	0.205	0.248	0.089	0.124	0.97	0.97	2.22	1.60
214	E	80	1	0.74	7	16	0.218	0.223	0.266	0.119	0.150	0.98	0.98	1.83	1.45
215	E	80	1	0.74	7	20	0.228	0.231	0.274	0.149	0.156	0.99	0.99	1.53	1.46
216	T	80	1	0.74	7	24	0.240	0.235	0.279	0.180	0.147	1.02	1.02	1.34	1.64

## ÖZGEÇMİŞ

Beytullah EREN, 27.01.1983 Giresun doğumludur. İlköğretim ve ortaöğretim eğitimini Giresun'da tamamlamıştır. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü ve 2005 yılında da Endüstri Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olup halen Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak devam etmektedir.