

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Handan SUBAŞI

**YAPAY SİNİR AĞI İLE ATIKSU ARITMA PERFORMANSININ
MODELLENMESİ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY SİNİR AĞI İLE ATIKSU ARITMA
PERFORMANSININ MODELLENMESİ**

Handan SUBAŞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/..... Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu
İle Kabul Edilmiştir.

.....
Yrd.Doç.Dr. Çağatayhan Prof.Dr.Ahmet YÜCEER Doç.Dr.Ramazan BİLGİN
Bekir ERSÜ ÜYE ÜYE
DANIŞMAN

Bu tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2009YL16

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY SİNİR AĞI İLE ATIKSU ARITMA PERFORMANSININ MODELLENMESİ

Handan SUBAŞI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Çağatayhan Bekir ERSÜ
Yıl: 2010, Sayfa: 102
Jüri : Prof.Dr. Ahmet YÜCEER
Doç.Dr. Ramazan BİLGİN
Yrd.Doç.Dr. Çağatayhan Bekir ERSÜ

Bu çalışmada; Yapay Sinir Ağı ile Atıksu Arıtma Performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, modelleme için MATLAB R2008a kullanılmıştır. Çalışma esnasında kullanılan veriler yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan datalarıdır (Marahatta, 2004). Çalışmada farklı giriş parametreleri kullanılarak farklı çıkış parametrelerinin arıtma verimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buradan yola çıkarak bu parametreler sırası ile $KOI_{giriş}$, $KOI_{çıkış}$, Toplam Katı $giriş$, Toplam Katı Madde $çıkış$, Uçucu Askıda Katı Madde $giriş$, Uçucu Askıda Katı Madde $çıkış$ ve Sıcaklık parametreleri kullanılmıştır. Bu model yaklaşımına göre modellemede kullanılan verilerden arıtma tesisi performansına en çok etki eden parametreler önem sırasına göre KOI , TKM, UAKM ve Sıcaklık parametreleri olmuştur. Model arıtma tesisi verilerini %98 yaklaşıklıkla tahmin edebilmiştir. Buna göre, literatürde belirtilen diğer kinetik ve matematiksel modellerin yanında yapay sinir ağlarının da arazi ölçekli evsel atıksu arıtma tesisleri için kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Modelleme, Atıksu Arıtma Tesisleri, Performans, Yapay Sulak Alanlar

ABSTRACT

MSc THESIS

MODELING WASTE WATER TREATMENT PERFORMANCE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Handan SUBAŞI

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF BASIC AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING

Supervisor : Asst.Prof. Çağatayhan Bekir ERSÜ

Year: 2010, Page: 102

Jury : Prof. Ahmet YÜCEER

Assoc.Prof. Ramazan BİLGİN

Asst.Prof. Çağatayhan Bekir ERSÜ

This study aimed modelling of waste water treatment performance using artificial neural networks. In this study, MATLAB R2008a was used as a modelling tool. The data used in the study were provided from a vegetated submerged bed system (Marahatta, 2004). In this study, some different input parameters were used to determine the treatment performance based on various output parameters. These parameters were, COD_{inf} , COD_{eff} , Total Solid_{inf}, Total Solid_{eff}, Volatile Suspended Solids_{inf}, Volatile Suspended Solids_{eff} and Temperature respectively. According to this model approach, the parameters demonstrated the highest effect on treatment plant performance were COD, TS, VSS, and temperature. Treatment plant data model estimated %98 accuracy. According to the literature, with other kinetic and mathematical models ANN is a very useful tool for modeling full-scale wastewater treatment plants.

Anahtar kelimeler: Artificial Neural Networks, Modelling, Waste Water Treatment Plant, Performance, Sequencing Batch Reactor

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başlarken bana sağladıkları manevi ve maddi destekleri ile aileme, bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, bana yol gösteren Sn. Prof.Dr. Ahmet YÜCEER’e teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ATIKSU ARITMA PERFORMANSININ MODELLENMESİ” konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile daima yol gösteren danışman hocam Sn. Yrd.Doç.Dr. Çağatayhan Bekir ERSÜ ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekan Yardımcısı Doç.Dr. Galip SEÇKİN’e ve çok sevgili yüksek lisans arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca; yüksek lisans çalışmalarım esnasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanlığı’na ve maddi destek veren Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne (Proje no: MMF2009YL16) içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
1.GİRİŞ	1
1.1. Çevre ve Kirlenme	1
1.2. Çevre Kirliliğinin Sınıflandırılması ve Kaynakları	3
1.2.1. Kirliliğin Sınıflandırılması	3
1.2.1.1. Fiziksel Kirlenme	3
1.2.1.2. Kimyasal Kirlenme	4
1.2.1.3. Biyolojik Kirlenme	4
1.2.2. Yüzeysel Sularda Kirletici Etki Yapabilecek Unsurlar	4
1.3. Çevre Kirlenmesinin Önlenmesinde Model Uygulamalarının Önemi	8
1.4. Modellemenin Mantığı ve Aşamaları	9
1.5. Model Sınıflandırılması ve Kullanım Amaçları	11
1.5.1. Hava Kalitesi Modelleri	11
1.5.2. Araç Emisyonları	11
1.5.3. Suda Pestisit Konsantrasyonlarını Belirleme Modelleri	12
1.5.4. Arayüzey modelleri	14
1.5.5. Maruz Kalma Modelleri	14
1.5.6. Su Kalitesi ve Havza Modelleri	16
2. YAPAY ZEKÂ VE YAPAY SİNİR AĞLARI	18
2.1. Yapay Zekânın Gelişim Süreci	18
2.1.1. İnsan Gibi Düşünen Sistemler	19
2.1.2. Rasyonel Düşünen Sistemler	19
2.2. Biyolojik Sinir Sistemi	20
2.3. Yapay Sinir Ağı (YSA)	21

2.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri.....	22
2.3.1.1. Doğrusal Olmama.....	22
2.3.1.2. Öğrenme.....	23
2.3.1.3. Genelleme	23
2.3.1.4. Uyarlanabilirlik	23
2.3.1.5. Hata Toleransı	24
2.3.1.6. Donanım ve Hız	24
2.3.1.7. Analiz ve Tasarım Kolaylığı.....	24
2.3.2. YSA'nın Uygulama Alanları.....	24
2.4. Yapay Hücre Modelleri	25
2.4.1. Statik Hücre Modeli.....	26
2.4.2. Aktivasyon Fonksiyonları	27
2.4.2.1. Doğrusal ve Doyumlu-Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu:	27
2.4.2.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	28
2.4.2.3. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu	29
2.4.2.4. Diğer Aktivasyon Fonksiyonları	30
2.4.3. Dinamik Hücre Modelleri	30
2.4.3.1. FIR Filtre Ağırlıklı Dinamik Hücre Modeli.....	30
2.4.3.2. RC-Dinamik Hücre Modeli.....	31
2.5. Yapay Sinir Ağları Yapıları.....	31
2.5.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA)	32
2.5.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)	33
2.5.3. Bellek Hücreli YSA Yapıları (BHYSA)	34
2.5.4. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları (RTFA)	35
2.5.5. Fonksiyonel Link Ağları (FLA)	37
2.5.6. Çağrışımlı Bellek Ağları (ÇBA).....	38
2.5.7. Modül Yapay Sinir Ağları (MYSA)	39
2.6. Aktivasyon Fonksiyonları.....	40
2.6.1. İşlemci Eleman (Yapay Nöron).....	41
2.7. YSA İle Hesaplamanın Özellikleri.....	42
2.8. YSA'ların Yapılarına Göre Sınıflandırılması	42

2.8.1. İleri Beslemeli Ağlar	43
2.8.2. Geri Beslemeli Ağlar	43
2.9. YSA'ların Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması	44
2.9.1. Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)	44
2.9.2. Danışmansız Öğrenme (Unsupervised Learning)	45
2.9.3. Takviyeli öğrenme (Reinforcement Learning)	46
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	47
4. MATERYAL VE METOD	59
4.1. Materyal	60
4.1.1. Marahatta (2004)'nın Çalışması	60
4.1.1.1. Sistemin Fiziksel Tasarımı	60
4.1.1.2. Veri toplama çalışması	62
4.1.1.4. Modelleme çalışması	63
4.1.2. Yeni Modelleme Yaklaşımı (Mevcut Model)	64
4.2. Metod	64
4.2.1. YSA Model Çalışmaları	64
4.2.2. Veri Analizi	65
4.2.3. Veri Ön Çalışması	65
4.2.4. Model Girdilerinin Belirlenmesi	66
4.2.5. Eğitim ve Sınama	68
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	70
5.1. Atıksu Karakteri	70
5.2. Modelleme Performansı	70
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
7. REFERANSLAR	82
8. ÖZGEMİŞ	89
9. EKLER	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Enerji sektörünün su kaynaklarına etkileri	6
Çizelge 1.2. Araç Emisyonları Modelleri(www.epa.gov/OMSWWW/models.htm) .	12
Çizelge 1.3. Suda pestisit belirleme modelleri(www.epa.gov/ ada/csmos.html)	13
Çizelge 1.4. Arayüzey Modelleri(www.epa.gov/ ada/csmos.html)	14
Çizelge 1.5. Yeraltı Suyu Modelleri(www.epa.gov/ceampubl)	15
Çizelge 1.6. Besin Zinciri Modelleri(www.epa.gov/ceampubl)	16
Çizelge 1.7. Çoklu yüzey Modelleri(www.epa.gov/ceampubl)	16
Çizelge 3.1. Yapay sinir ağlarının kullanım alanları	49
Çizelge 3.2. Yapay sinir ağında kullanılan parametreler ve kullanım amaçları	50
Çizelge 4.1. Sistemin dizayn parametreleri(Marahatta,2004).....	61
Çizelge 4.2. Kullanılan standart test metodları(Marahatta, 2004)	62
Çizelge 4.3. Septik tank çıkışı reaktör girişi atıksu karakteristikleri	
(Marahatta, 2004).....	63
Çizelge 5.1. Modellerin girdi- çıktı değerleri ve model oluşumları	71
Çizelge 5.2. Sırası ile 1-2-3-4 girdi parametreleri ve 1 çıktı ($KOI_{\text{çıkış}}$) parametresi ile YSA modelleri	77
Çizelge 5.3. Sırası ile 1-2-3-4 girdi parametreleri ve 1 çıktı ($TKM_{\text{çıkış}}$) parametresi ile YSA modelleri	78
Çizelge 5. 4. Sırası ile 1-2-3-4 girdi parametreleri ve 1 çıktı ($UAKM_{\text{çıkış}}$) parametresi ile YSA modelleri.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Model Yapısının Ana Bileşenleri (Chapra 1997; Chau ve ark., 2002).....	10
Şekil 2.1. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	20
Şekil 2.2. Biyolojik Sinir Hücresi ve Bileşenleri	21
Şekil 2.3. Yapay hücre modeli	26
Şekil 2.4. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	28
Şekil 2.5. Sigmoid (tanh) aktivasyon fonksiyonu	29
Şekil 2.6. Eşik aktivasyon fonksiyonu.....	29
Şekil 2.7. FIR filtre ağırlıklı dinamik hücre modeli	30
Şekil 2.8. FIR filtre olarak tasarlanan ağırlıklar	31
Şekil 2.9. RC- dinamik bir hücre modeli	31
Şekil 2.10. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA	32
Şekil 2.11. Geri Beslemeli İki Katmanlı YSA	33
Şekil 2.12. Yöresel geri-küresel ileri beslemeli (YGKİ) yapay sinir ağı.....	34
Şekil 2.13. Bellek hücreli yapay sinir ağı ve bellekli bir hücrenin yapısı	35
Şekil 2.14. Radyal tabanlı fonksiyon ağı	36
Şekil 2.15. Fonksiyonel link ağı.....	37
Şekil 2.16. Çağrışımli Bellek Ağları	38
Şekil 2.17. Modül yapay sinir ağları.....	39
Şekil 2.18. YSA’larda en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları a) sigmoid, b) doğrusal c) hiperbolik tanjant ve d) keskin sınırlayıcı.....	41
Şekil 2.19. Bir işlemci elemanı (yapay nöron).....	42
Şekil 2.20. İleri beslemeli ağ için blok diyagram.....	43
Şekil 2.21. Geri beslemeli ağ için blok diyagram	44
Şekil 2.22. Danışmanlı öğrenme yapısı	45

Şekil 2.23. Danışmansız öğrenme yapısı	45
Şekil 2.24. Takviyeli öğrenme yapısı	46
Şekil 4.1. Genel bir sulak alanın elementleri	61
Şekil 5.1. Sırası ile 1-2-3-4 girdi,1 çıktı ($KOI_{\text{çıkış}}$) parametrelerinin eğitime ve test grafikleri.....	72
Şekil 5.2. Sırası ile 1-2-3-4 input,1 output ($TKM_{\text{çıkış}}$) parametrelerinin eğitime ve test grafikleri.....	74
Şekil 5.3. Sırası ile 1-2-3-4 input, 1 output ($UAKM_{\text{çıkış}}$) parametrelerinin eğitime ve test grafikleri.....	76

1.GİRİŞ

1.1. Çevre ve Kirlenme

Doğal kaynaklar, hem ekonomik hem de sosyal açıdan büyük bir zenginlik göstergesidir. Toprak, yeraltı ve yer üstü suları, doğal bitki örtüsü, ormanlar ve iklim, ekonomik kaynaklarımızla birlikte çevreyi oluşturan doğal unsurlardır. İktisadî açıdan kaynakların kıt olması ve ancak bir maliyet karşılığında kullanılabilmesi, bu kaynakların en önemli yönüdür. Doğal kaynakların gerektiği gibi kullanılmaması ve bunların yenilenemez kaynakları oluşturması geçen zaman içerisinde çevre sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Teknolojideki gelişmeler, sanayileşme, düzensiz şehirleşme, aşırı nüfus artışı, doğal kaynakların aşırı ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi, çevre problemlerinde belirgin bir artışa neden olmaktadır. İnsanlar doğa ile ortak bir şekilde yaşamlarını sürdürmekte ve bundan dolayı da düzensiz kullanım sonucu doğa, önemli ölçüde bozunma gerçekleştirmektedir. Artan nüfusa paralel olarak doğa, daha yoğun kullanılmakta ve tahrip edilmektedir. Kirlenme sonucu bozulan denge, toplumu hem ekonomik hem de sosyokültürel açıdan olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluk hem sağlık açısından hem de ekonomik açıdan birçok probleme neden olmaktadır. Çevre; canlı varlıkları yaşamları süresince etkileyen her türlü sosyal, kültürel, tarihî, fizikî ve iklime bağlı faktörlerin tamamı olarak tanımlanmaktadır. Çevre, ekolojik sistem ve eko sistem olarak da bilinmektedir. Ekosistem, karşılıklı olarak madde alış verişini yapacak biçimde birbirine etki yapan canlı organizmalarla cansız maddelerin bulunduğu herhangi bir doğa parçasıdır. İnsan ihtiyaçlarını karşılayan mal ve hizmet üretimi için hava, su, toprak, orman, madenler gibi doğal kaynakları kullanmaktayız. Nüfus ve gelirdeki artışa paralel olarak insan ihtiyaçları değişik boyutlar kazanmakta ve artmaktadır. Refah düzeyi yükseldiği için giderek daha fazla ürün ortaya çıkmakta, kaynaklar daha çok kullanılmakta, daha çok ham madde sarf edilmektedir. Bütün bu faaliyetler, doğal çevreyi ve doğal dengeyi etkilemekte ve bozmaktadır. Doğal denge korunmadığı takdirde, tabiattaki canlıların birbirleriyle olan ve fiziksel çevreyle ilişkileri ve onların sağlıklı gelişme ortamı kalmayacaktır. Ekolojik dengeyi oluşturan canlı ve

cansız varlıklar zincirindeki herhangi bir kopma veya bozulma, çevre sorunlarını ortaya çıkaracaktır. Gene başka bir ifadeyle çevre; insan veya başka bir canlının yaşamı boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını, insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. Çevre kirlenmesi, doğanın kendini temizleme kapasitesinden fazla olan kirlenmenin çevrede meydana getirdiği birikimler ve değişikliklerdir. Gene başka bir ifadeyle çevre kirlenmesi; herhangi bir şeyin olmaması gereken yerde olması durumudur. İnsanların meydana getirdikleri atıklar, tabiat tarafından kendiliğinden yok edilemiyorsa ve bu durum tabiatın temizleme gücünü aşıyorsa çevre kirliliği oluşacak ve doğal denge bozulacaktır. Üretim sonucunda meydana gelen artık ve atıklar da eklenince, çevre bozulması ve çevre kirlenmesinin boyutları genişlemektedir. Kullanılan doğal kaynakların ve yaban hayatının büyük kısmının tekrar yerine konulamaması ve yenilenememesi, bu kaynakların zamanla yok olmasına ve bunun da büyük bir tehdit oluşturmaya neden olmaktadır. Yaban hayatı dediğimiz canlılar, mikroorganizmalar, deniz ve okyanus canlıları, yabanî bitki örtüsü ve ormanlardır. Ekonomik gelişme, sanayileşme, zenginleşme gibi iktisadî kavramlar, tamamen yukarıda sözü edilen kaynakların yoğun kullanımı ile yakından ilgilidir. Gene insanlar, toplumsal yaşam ilişkileri içerisinde doğal kaynaklar kullanarak, teknoloji geliştirerek, ekonomik faaliyetlerde bulunurlar. Bu faaliyetlerin gelişimi ile insanlar kendilerine yapay çevreyi oluştururlar. Toplamlar, yapay çevre içindeki yaşam koşullarını geliştirirken doğa ile sürekli bir ilişki içindedir. İnsan ve doğa arasındaki bu ilişki, ekolojik sistemin bir parçasıdır. İnsanoğlu'nun yeryüzünde yaşamaya ve kendisine ait yapay çevre oluşturmaya başlamasından bu yana insan ve doğa arasındaki denge, insan aleyhine devamlı olarak bozulmuştur. Özellikle son yıllarda ekolojik dengeyi süratle bozarak çevre sorunları yaratan insan, bu sorunların kendisine dönmesi ve sağlığını olumsuz yönde etkilemesi üzerine çevre bilincine varabilmiş ve bu kavramı kabul etmiştir. Bilinmesi gereken en önemli olgu ise, dünya üzerindeki herhangi bir sistemde ortaya çıkabilecek bir uyumsuzluğun diğer birçok ekosistemleri de etkileyeceğidir. Örneğin; atmosferde bulunan ozon tabakasındaki delinme, dünyayı çeşitli tehlikelerle yüz

yüze getirmiştir. Doğal çevrenin istismarı ve buna bağlı olarak son yıllarda ortaya çıkan diğer sorunlar ise şunlardır:

- Radyoaktif sızıntılar,
- Verimli tarım topraklarının tarım dışı amaçlarla kullanılması uyugun tarım ilaçlarının kullanılmaması,
- Gürültü,
- Hava kirliliği,
- Hızlı ve düzensiz kentleşme.

1.2. Çevre Kirliliğinin Sınıflandırılması ve Kaynakları

Çevrenin temel unsurlarından olan doğa, kendine has fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir. Dolayısıyla, çevre kirlenmesinin sınıflandırılması da bu özelliklere göre yapılır.

1.2.1. Kirliliğin Sınıflandırılması

1.2.1.1. Fiziksel Kirlenme

Çevreyi meydana getiren toprak, su ve havanın yani fiziksel unsurların fiziksel özelliklerinin tamamının veya bir kısmının insana bağlı olarak, insan, hayvan ve bitki sağlığını tehdit edecek ve bu durumu olumsuz yönde etkileyecek biçimde bozulması, değişmesi ve uyum sağlayamaması olayıdır. Örneğin; çeşitli fabrika atıklarının akarsu ve göllere boşaltılması, doğal erozyon ile toprakların göl ve denizlere taşınması açık kahverenginden, kırmızı siyaha kadar değişen renk almasına neden olmaktadır. Bu olay suların fiziksel kirlenmesidir. Bu durum ise balıkları ve ortam ekosistemini olumsuz yönde etkilemektedir.

1.2.1.2. Kimyasal Kirlenme

Doğal çevreyi oluşturan unsurların kimyasal özelliklerinin gene insan faaliyetleri sonucu ya da doğal nedenler sonucu canlıların hayati faaliyetlerini ve aktivitelerini olumsuz yönde etkileyecek biçimde bozulmasıdır. Örneğin; çeşitli fabrika katı ve sıvı atıklarının verimli tarım arazilerine veya akarsu ve nehirlerle boşaltılması söz konusu tarım topraklarının, akarsu ve göllerinin zararlı ağır metallerle kirlenerek kimyasal kirlenmeye maruz kaldığını gösterir.

1.2.1.3. Biyolojik Kirlenme

Doğal ortamı oluşturan toprak, hava ve suyun çeşitli mikroorganizmalarla kirlenmesi veya o ortama dış etkenler tarafından çeşitli mikroorganizmalar içeren bir deşarj yapılması dolayısıyla mikrobiyolojik yapının bozulması mikrobiyal kirlenmeyi, aynı ortamların mikroorganizmalarla kirlenmesi ise biyolojik kirlenmeyi tanımlar. Örneğin, tarım alanlarının kanalizasyon suyu ile sulanması veya kanalizasyon sularının akarsu, göl ve denizlere boşaltılması ile kanalizasyon sularında bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmalar toprağa, suya ve atmosfere geçerek bu ortamların mikrobiyolojik kirlenmesine yol açar.

Çevre unsurlarına göre çevre kirliliği 4 gruba ayrılır.

- a)Hava kirliliği
- b)Toprak kirliliği
- c)Su kirliliği
- d)Gürültü kirliliği

1.2.2. Yüzeysel Sularda Kirletici Etki Yapabilecek Unsurlar

Yeryüzündeki su kirlenmesi canlı varlıkların yaşamaları bakımından büyük önem teşkil etmektedir. Her şeyden önce sular çok büyük bir canlı ekosistemi durumundadır. Bundan dolayı dünyanın en büyük besin maddeleri deposu sulardadır. Bir an için suda hayatın son bulduğunu farz edelim. Dünyadaki canlı varlıklar zinciri

kökten sarsılır. Suların kirlenmesinin bir önemli yanı da dünyamızda mevcut olan bütün suların (bazı iç deniz ve göller hariç) birbirine bağlı olup tek bir sistem teşkil etmelidir. Sürekli ve etkili bir su kirlenmesi çok uzun zaman sonra bütün dünya sularının kirlenmesine neden olabilir. Dolayısı ile sulardaki bütün hayat böyle bir durumdan olumsuz yönde etkilenebilir. Günümüzde suların ciddi ve düşündürücü kirlenme şekli, petrol ve petrol ürünlerinin su üzerinde ince bir tabaka teşkil etmeleriyle meydana gelir. Petrol ve ürünleri her şeyden önce bol miktarda kullanılmaktadırlar. Aksine bu ve benzeri maddeler suda erimediklerinden dolayı, dağılıp büyük su kütlelerinde kaybolmazlar. Aksine suyun yüzeyine yayıldıkça yayılırlar ve önlem alınmaz ise çok büyük alanları kapsarlar. Kaza sonunda suya dökülen büyük miktarlardaki petrol vs. ürünlerini büyük oranda toplayabilen pek çok yöntemler bulunmaktadır. Çizelge 1.1’de enerji sektörünün su kaynaklarına etkileri belirtilmiştir.

Çizelge 1.1. Enerji sektörünün su kaynaklarına etkileri

Enerji kaynağı		Su
Fosil yakıtların atıkları		Asit ve tuzlu madenden sızma, madenden sıvı atık, bol su gereği, su ile yıkama gereği depolanma yerinden su kirliliği
KÖMÜR	SO _x , NO _x toz, CO ₂ , CH ₄	
PETROL ÜRÜNLERİ	H ₂ S üretimi, SO ₄ , NO ₄ , CO ₄ , CO ₃ , HC ₂ , amonyak, toz, iz elementler, CO ₂	Mazot, petrol ve sızıntılar ve dökülmesi Bol su gereği
GAZ	HC emisyonu (metan), NO _x , CO ₂ , H ₂ S ve yanma kökenli emisyon	Sıvı atıkların ortadan kaldırılması
Fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretimi SO ₂ , NO ₂ , CO, CO ₂ , HC, iz elementler, toz, uzun mesafe taşınma ve kirleticilerin tortusu, sera etkisi		Bol su gereği Doğal su kaynağına sıcaklık vermesi
Uranyum yakıt döngüsü ve nükleer santralden elektrik Radyoaktif toz, atmosfere verilen gazlı maddeler (F, NO _x), noble gazı, soğutucu kulelerin yerel iklim etkisi		Maden sızıntısı Yeraltı suyu kirlenmesi Bol su gereği Doğal su kaynağına sıcaklık vermesi Sıvı radyonüklidlerin emisyonu
DİĞER		
SU Büyük barajların yerel iklim etkisi		Su döngüsüne etkisi Su kaynaklarının ve kalitesinin bozulması
Yenilenebilen enerji kaynakları Biyomas: Biyomasın yanması Jeotermal: Hava kirliliği, toz Güneş: Jeotermal Rüzgâr: Hava kirliliği		Biyomasın dönüştürülmesi Su kirliliği Jeotermal Bol su gereği

Yüzeysel sularda kirlenici etki yapabilecek unsurlar Dünya Sağlık Örgütü'nce (WHO) sınıflandırılmıştır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir *Bakteriler, Virüsler ve Diğer Hastalık Yapıcı Canlılar*: Suların hijyen açısından kirlenmesine ve suların patojen yani hastalık taşıyıcı bir etken olabilmesine neden olan bu canlılar genellikle hastalıkla veya portör (hastalık taşıyıcı) olan hayvan ve insanların dışkı ve idrarlarından kaynaklanır. Bulaşıcı etki ya da bu atıklarla doğrudan temasla veya atıkların karıştığı sulardan dolaylı olarak gerçekleşir. İçme suyu temini açısından hijyenik kirlenme önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Organik Maddelerden Kaynaklanan Kirlenme: Ölmüş hayvan ve bitki artıkları ile tarımsal artıkların yüzeysel sulara karışması sonucunda ortaya çıkan kirlenmedir.

Endüstri Atıkları: Çeşitli endüstri faaliyetleri sonucu oluşurlar ve fenol, arsenik, siyanür, krom, kadmiyum gibi toksik maddeler içerirler.

Yağlar ve Benzeri Maddeler: Tankerler veya boru hatlarıyla taşınan petrolün kazalar sonucunda yüzeysel sulara karışmasının yarattığı olumsuz etkiler açısından önem taşımaktadır.

Sentetik Deterjanlar: Sentetik Deterjanlar içerdikleri fosfatlar yüzeysel sularda ötrofikasyona ve dolayısıyla ikincil kirlenmeye neden olmaktadır. Sentetik deterjanların evlerde kullanılmaya başlaması evsel atık sularının özelliğini değiştirmiş ve bu sulara endüstriyel sularda rastlanılan benzer nitelikler vermiştir.

Radyoaktivite: Radyoaktif kirlenme hastanelerden, araştırma kuruluşlarında ve bazı endüstri dallarından kaynaklanabilmektedir. Nükleer silah denemeleri sonucunda artan radyoaktivite, yağmur sularını da kirletmekte ve bunun sonucu olarak yüzeysel sular, radyoaktif kirlenmeye maruz kalmaktadır.

Zirai Mücadele İlaçları: Bu tür ilaçların kullanıldığı sebze ve meyvelerin yıkanması sonucu sulara karışırlar. Bunların besin zincirine girmesi ekosistemlerde önemli sorunlar yaratır.

Yapay Organik Kimyasal Maddeler: Bu maddelerin üretimleri giderek artmaktadır. Bu yapay maddelerin, yerlerini aldıkları doğal maddelere göre kirleticilik dereceleri daha fazladır.

İnorganik Tuzlar: Çok yüksek dozlarda kirletici olduklarından suları içme, sulama ve birçok endüstriyel kullanım için uygunsuz duruma getirebilirler.

Yapay ve Doğal Tarımsal Gübreler: Gübrelerin içerdiği azot ve fosfor, sulamadan dönen drenaj suları ile yüzeysel sulara karışır.

Atık Isı: Tek geçişli soğutma suyu sistemlerine sahip termik santraller, yüzeysel sulara büyük miktarlarda atık ısı verir. Sıcaklığı da artmış sular, içme suyu kaynağı olarak uygun değildir.

1.3. Çevre Kirlenmesinin Önlenmesinde Model Uygulamalarının Önemi

Geçmiş yıllarda, öneminin farkına varılamayan kirlilik kavramı; günümüzde çok önemli bir hal almaya başlamıştır. Bu durumun üstesinden gelmenin en iyi yolu kirliliği olduğu yerde yani kaynağında azaltmaktır. Fakat zaman geçtikçe bu durum daha karmaşık bir hal almaya başlamıştır. Günümüzdeki kirlenmenin daha ileriki zamanlarda çok büyük sorunlar ortaya çıkaracağı gözle görülür bir durumdur. İşte buradan yola çıkarak araştırmacılar çeşitli modeller oluşturmaya başlamışlardır. Bu modellerin amacı gelecekte oluşabilecek sorunları tahmin etmek, kirlenmenin gelecekte daha aza indirgenmesi veya tamamen önlenmesi, ekosistem iyileştirmeleri, arıtma tesislerinin laboratuvar ölçekli reaktörlere gerek kalmadan verimlerinin belirlenmesi vb. dir. Bilindiği üzere kirlenme; hava, su, toprak kirlenmesi olarak sınıflandırılabilir. Bu model oluşumlarına örnek olarak; su ekosistemi modellemeleri örnek verilebilir. İçeriği çok geniş olan bir mühendislik uygulamasında birçok yazılım kullanılmaktadır. Bunlar;

- Matematiksel modelleme yazılımları (hidrolojik, hidrodinamik, su kalitesi ve havza modelleme yazılımları)
- Matematiksel modellemeye yardımcı yazılımları (senaryo üreticiler, model parametre tahmin yazılımları, genel amaçlı duyarlılık analizi yapan yazılımlar, vb.)
- Coğrafi bilgi sistemi yazılımları
- Mühendislik/ tasarım yazılımları
- Diğer yazılımlar (program geliştirme araçları, elektronik tablolama yazılımları, veritabanı yazılımları, vb.)(Sivri ve ark., 2005).

Modelleme; belirli hedeflere ulaşmak için gerçek bir sistemin simülasyonu veya performansını değerlendiren temel bilgi ve deneyimin uygulanması prosesidir. Yaygın olarak kullanılan modelleme yaklaşımında çevresel açıdan üç farkı model sınıflaması vardır. Bunlar; fiziksel modeller, matematiksel modeller ve ampirik modellerdir. Bu modellerin hepsi birbirinden farklı olmasına rağmen birbirlerini tamamlayıcı özelliktedir.

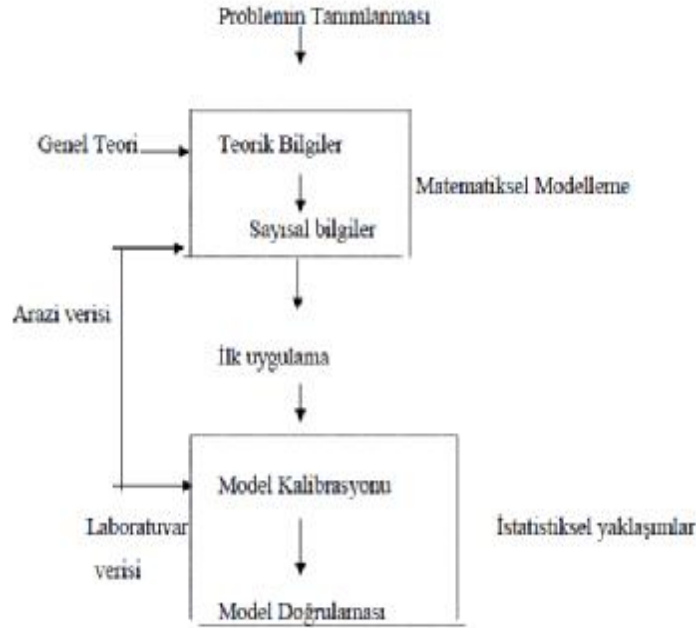
Model, hedefleri ve amaçları olmak üzere ikiye ayrılır. Bu durumda araştırmaya yönelik ve işletmeye yönelik sonuçlar ortaya çıkar. Modellemenin amaçlarında bir veya daha fazla yol takip edilir. Bunlar; sistemi yorumlamak, davranımlarını analiz etmek, yönetmek, işletmek, kontrol etmek veya istenen sonuçları sağlamak, yeni metotlar tasarlamak, geliştirmek veya uyarlamak, sistem hakkındaki hipotezleri test etmek veya çeşitli koşullar altında çıkabilecek sonuçları önceden kestirebilmek olarak tanımlanabilir (Chapra, 1997; Khandan, 2002).

1.4. Modellemenin Mantığı ve Aşamaları

Bir fiziki model, belirli bir fiziksel varlığın farklı boyuttaki kopyasıdır. Fiziksel modeller gerçek sistemde sunulan dinamik veya geometrik benzerlikleri, ölçeklendirilmiş model ve ölçüm ve gözlemlerle yapılan deneysel çalışmaları içerir. Ampirik modeller (veya kara kutu modelleri), tümevarım veya veriye bağlı yaklaşımlara dayanmaktadır. Bu veriye bağlı yaklaşımlar, geçmişte gözlemlenen verilerin sistemin çalışabilirliğinde kesinlik olabilmesi için kabul edilen değerler arasındaki ilişkileri geliştirmek amacıyla kullanılan yaklaşımlardır. Matematiksel modeller (mekanik modeller), tündengelim veya teorik yaklaşımlara bağlıdır. Burada ana teoriler ve basit kabuller olan sistemdeki birincil koşullar, kesin olarak bilinen değişkenler arasındaki ilişkileri matematiksel olarak elde etmede kullanılır. Matematiksel modelleme yapmak için gerekli görülen özellik; tek bir matematiksel eşitliği gerçek sistemde, sisteme bağlı farklı anlamlara sahip semboller kullanarak geniş aralıkta uygulayabilme durumudur (Khandan, 2002). Şekilde görüldüğü gibi bir model oluşturulurken genelde aşağıdaki adımların izlenmesi mümkündür;

1. Problemin açıklanması
2. Model kurma / Model seçimi
3. Model kalibrasyonu
4. Modelin doğrulanması

5. Sonuçların uygulama alanına konması (Chapra, 1997; Stamou ve ark., 1999)



Şekil 1.1. Model Yapısının Ana Bileşenleri (Chapra 1997; Chau ve ark., 2002)

Model çalışmasına başlarken iki önemli süreç vardır. İlki, idari amaçlar, seçenekler ve yasalar, ayarlamalar ve ekonomik bilgilerle oluşturulabilecek kısıtlamaların getirdiği bilgilere, ikinci ise tanımlanan probleme dayalı daha ayrıntılı verileri elde etmektir. Bu süreç tamamlandığında modeli yapan kişi problemin çözümü için gerekli olan başlangıç bilgilerini toplamış olup buna göre nasıl bir model yaratacağını belirlemeye başlamış olur. Model kurma işlemi takım çalışması gerektiren bir çabadır. Kurulacak modelin sisteme ait bazı kısımları değil tüm sistemi temsil etmesi gerekir. Bunun içinde değişkenlerin, katsayıların, sabitlerin ve sınırlayıcı koşulların büyük bir dikkat ve özenle seçilmesi ve modele yerleştirilmesi gerekmektedir. Üçüncü adımda matematik çözüm yöntemi seçildikten sonra modelin ilk uygulaması yapılır. Daha sonra model kalibre edilir. Dördüncü adımda elde edilmiş olan sonuçların yorumlanması ve modelin doğruluğunun yapılması yer alır. Son adım, gerekli kontrollerden geçirilmiş sonuçların uygulama alanına konması ile ilgilidir (Chapra, 1997).

1.5. Model Sınıflandırılması ve Kullanım Amaçları

Amerika Çevre Koruma Ajansı (USEPA-United States Environmental Protection Agency) tarafından modeller kullanım amaçlarına göre sıralanmıştır. Bunlar;

1. Hava taşınım, maruz kalma ve risk modelleri
2. Atmosferik modeller
3. Hava kalitesi modelleri
4. Araç emisyonları modelleri
5. Suda pestisit konsantrasyonlarını belirleme modelleri
6. Ara yüzey modelleri
7. Maruz kalma modelleri
8. Su kalitesi modelleri
9. Su kalitesi ve havza modelleri
10. Ekonomik yaptırım modelleri

1.5.1. Hava Kalitesi Modelleri

USEPA, Hava Kalitesi Planlaması ve Standartları Merkezinin temel görevini ülkelerin hava kalitesini iyileştirmek ve korumak olarak belirlemiştir. Hava kalitesi modelleri EK 1 de verilmiştir (www.epa.gov/oar/oaqps).

1.5.2. Araç Emisyonları

USEPA araç emisyonlarından kaynaklanan hava kirleticilerini yol üzerindeki araçlardan, yol üzerinde olmayan kaynaklardan ve yakıtlardan gelen kirleticiler olarak belirlemiş olup modelleri Çizelge 1.2’de sınıflandırmıştır (www.epa.gov/OMSWWW/models.htm).

Çizelge 1.2. Araç Emisyonları Modelleri(www.epa.gov/OMSWWW/models.htm)

Model	Kullanım Amacı		
Mobile Model	MOBILE Vehicle Emission Factor model	Hareket Halinde Araç Emisyon Faktör Modeli	Mil başına düşen hidrokarbon, karbon monoksit, azot oksitler, partikül madde, arabalar, kamyonlar ve motorlardan çıkan toksik maddeleri belirlemede kullanılır.
Nonroad Model	NONROAD Emission Inventory model	Yolda Olmayan Kaynakların Emisyon Envanteri Modeli	Küçük veya büyük yolda olmayan araç veya ekipmanlardan çıkan sülfür dioksit, partikül madde, azot oksitler, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarını tahmin etmede kullanılır.
NMIM	National Mobile Inventory Model	ABD Ulusal Hareket Halinde Kaynaklar Envanter Modeli	Motorlu araçlar ve yol üstünde olmayan ekipmanlarının şimdiki ve gelecekteki emisyon envanterini tahminin geliştirmesinde kullanılır.
MOVES	Motor Vehicle Emission Simulator	Motorlu Araçlar Emisyon Benzeşim Modeli	Yol üstünde ve yol üstünde olmayan mobil kaynaklardan üretilen emisyonların tahmini için kullanılır.
Fuel Models	Heavy-duty diesel fuel analysis program	Ağır Araç Dizel Yakıtlı Analiz Programı	Çeşitli yol üstünde olmayan ve karayollarında kullanılan dizel yakıttan meydana gelen emisyonları belirlemede kullanılır.

1.5.3. Suda Pestisit Konsantrasyonlarını Belirleme Modelleri

EPA'nın Pestisit Programı Merkezinde (Office of Pesticide Programs) (OPP) hem insan sağlığı hem de sucul ortamdaki ekolojik büyümenin yönetimi için pestisit konsantrasyonlarını tahmin etmede benzeşim modelleri kullanmıştır. (www.epa.gov/oppefed1/models/water/index.htm). Bu modeller Çizelge 1.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 1.3. Suda pestisit belirleme modelleri([www.epa.gov/ ada/csmos.html](http://www.epa.gov/ada/csmos.html))

Model			Kullanım Amacı
Yüzey Modelleri			
GENEEC	GENERIC Estimated Environmental Concentration	Genel Çevresel Konsantrasyon Tahmin Modeli	Sucul ekolojik risk yönetiminde kullanılmak üzere yüksek seviyedeki pestisit konsantrasyonunu belirlemek için uygulanır.
FIRST	FQPA (Food Quality Protection Act) Index Reservoir Screening Tool	Besin Kalitesi Koruma Merkezi Rezervuar Gösterim Aracı	Basit kimya temel parametrelerini kullanarak ve uygulanan pestisit bilgileriyle birlikte, pestisitın sudaki uzun dönemli ortalama konsantrasyonunu (kronik) ve pik değerlerini (akut) hesaplamak için kullanılır.
PRZM-EXAMS			
PRZM	The Pesticide Root Zone Model	Pestisit Kök Tabaka Modeli	Tek boyutlu, sonlu fark metoduna dayanan model olup kök tabakalarındaki azot ve pestisit yayılımını incelemek üzere kullanılır.
EXAMS	Exposure Analysis Modelling System	Maruz Kalma Analizi Model sistemi	Pestisit endüstriyel madde ve bertaraf alanlarından sızan sentetik organik kimyasalların konsantrasyonlarının taşınım ve maruz kalımını belirlemek üzere uygulanan sucul ekosistem modelidir.
Yeraltı Suyu Modelleri			
SCI-GROW	Screening Concentration In Ground Water	Yeraltı Suyu Konsantrasyon Sınama Modeli	Yeraltı suyundaki pestisit konsantrasyonunu belirlemek üzere kullanılır.

1.5.4. Arayüzey modelleri

Arayüzey Modelleri Oluşturma Merkezi (The Center for Subsurface Modeling Support) (CSMos) yeraltı suyu ve boşluk suyu tabakadaki değişimleri incelemek üzere modeller geliştirmektedir (www.epa.gov/ada/csmos.html). Bu modeller çizelge 1.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 1.4. Arayüzey Modelleri(www.epa.gov/ada/csmos.html)

Model			Kullanım Amacı
BIOCHLOR2.2	--	--	Doğal ortamda çözünmüş klorun bulunduğu serbest alanlarda iyileştirme çalışmaları için kullanılır.
CHEMFLO-2000	--	--	Boşluk tabakasındaki kimyasal taşınım ve dağılımı ve suyun hareketini benzeşim yapan model olarak kullanılır.
OWL	Optimal Well Locator	Optimal Kuyu Belirleyici	Yeraltı suyundaki mevcut olan izleme şebekelerini ve yeni şebekeleri ortaya çıkarmaya yardımcı olmak için kullanılır.
Virulo	--	--	Doygun olmayan topraklarda virus yayılımını belirlemek için olasılık hesabı yaparak kullanılır.

1.5.5. Maruz Kalma Modelleri

Maruz Kalma Modelleri Araştırma Merkezi (The EPA Center for Exposure Assessment Modeling) (CEAM) 1987 yılında bilimsel ve teknik araştırmalarda yardımcı olmak üzere USEPA içinde kurulmuştur. CEAM su, karasal ve diğer ortamlardan gelen organik kimyasallar ve metaller için değerlendirme tekniklerini geliştirmeyi sağlar. CEAM modellerini yeraltı suyu modelleri, yüzey suyu modelleri(EK 4), besin zinciri modelleri ve çoklu ortam modelleri olarak 4 gruba

ayırmaktadır (www.epa.gov/ceampubl). Bu modeller Çizelgeler 1.5-1.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 1.5. Yeraltı Suyu Modelleri(www.epa.gov/ceampubl)

Model			Kullanım Amacı
3DFEMWATER	Three-Dimensional Finite Element Model of Water Flow Through Saturated-Unsaturated Media	Doygun ve Doygun olmayan Yüzeyde Su Akışı Boyunca 3 Boyutlu Sonlu Fark Element Modeli	Deşarj, içme suyu, çevresel etkiler, yeraltı suyu , hidroloji, metaller, pestisitler
3DLEWASTE	Three-Dimensional Lagrangian-Eulerian Finite Element Model of Waste Transport Through Saturated-Unsaturated Media	Doygun ve Doygun olmayan Yüzeyde Atık Taşınımı Lagrangian-Eulerian 3 Boyutlu Sonlu Fark Modeli	Deşarj, içme suyu, çevresel etkiler, yeraltı suyu, hidroloji, metaller, pestisitler
PATRIOT	Pesticide Assessment Tool for Rating Investigations of Transport	Taşıyım Araştırmalarında Kullanılan Pestisit Yönetim Modeli	Çevresel etkiler, yeraltı suyu, hidroloji, arazi kullanımı yönetimi, pestisitler
PRZM3	Pesticide Root Zone Model	Pestisit Kök Bölgesi Modeli	Çevresel etkiler, yeraltı suyu, hidroloji, arazi kullanımı yönetimi, pestisitler, metaller, yüzey suyu test analizi
WhAEM2000	Wellhead Analytic Element Model For Windows	Wellhead Analitik Element Modeli	Deşarj, çevresel etkiler, yeraltı suyu, hidroloji,model, proses, atık yönetimi

Çizelge 1.6. Besin Zinciri Modelleri(www.epa.gov/ceampubl)

Model			Kullanım Alanındaki Anahtar kelimeler
FGETS	Food and Gill Exchange of Toxic Substances	Besin ve Solungaçlarda Toksik Madde Değişimi	Sucul biyoloji, kimya, deşarj, çevresel etkiler, metaller, noktasal kaynaklar,
LC 50	Lethal concentration, 50%	Öldürücü Doz %50	Öldürücü doz ,LC50 , toksisite

Çizelge 1.7. Çoklu yüzey Modelleri(www.epa.gov/ceampubl)

Model			Kullanım Alanındaki Anahtar Kelimeler
3MRA	The Multimedia, Multipathway, Multi-receptor Exposure and Risk Assessment	Çoklu-yüzey, Çoklu-yol Çoklu-alıcı maruz kalma ve risk değerlendirme	Çoklu-yüzey, alıcı ortam, maruz kalma, tehlikeli atık, risk
MMSOILS	The Multimedia Contaminant Fate, Transport, and Exposure Model	Çoklu-yüzey, Kirlenici Taşınım, Dağılım, Genişleme ve Maruz Kalma Modeli	Çoklu-yüzey,kirlenici, taşınım, maruz kalma, risk
MULTIMED 1.01 MULTIMED 2,0 Beta MULTIMED (Daughter Process)	The Multimedia Exposure Assessment Model	Çoklu-yüzey Maruz Kalma Yönetim Modeli	Kimya, deşarj, çevresel etkiler, atık üretimi, yeraltı suyu, hidroloji, göller, nehirler, risk yüzey suyu test / analizler

1.5.6. Su Kalitesi ve Havza Modelleri

Bir su kalitesi modeli, kirliliği belirleyen parametrelerin konsantrasyonlarının zamanda ve uzaydaki değişimlerini matematiksel olarak ifade eden bir yapıdır. Akarsular, göller, körfezler ve açık denizlerde insanların neden olduğu etkilerle su

kalitesinde oluşan bozulmaları ortaya çıkarmak ve söz konusu etkilerin olumsuz sonuçlarını önlemek için alınan tedbirlerin somut ve objektif bir şekilde saptanmasında bu tip bilgisayar modelleri çok değerli hizmetler vermektedir. Su kirliliği kontrolünde kullanılan matematiksel modeller iki gruba ayrılır (Türkman ve Uslu, 1987, Chapra 1997);

1. Yüzeysel sulardaki fiziksel, biyolojik ve kimyasal oluşumları matematiksel olarak ifade eden temel modeller;
2. Dış etkilerle doğal dengesi bozulan ve değişimleri birinci tipteki modellerle saptanan ortamlarda yapılan mühendislik çalışmalarına ve alınan ekonomik, sosyal, hukuki kararlara ışık tutacak simulasyon (benzeşim) ve optimizasyon (en iyileme) modelleri.

Literatürde su ortamları için birçok su kalitesi modeli mevcut olup USEPA tarafından desteklenen su kalitesi ve havza modelleri EK 5.'de sunulmuştur (www.epa.gov/waterscience/wqm/, www.epa.gov/athens/wwqtsc).

2. YAPAY ZEKÂ VE YAPAY SİNİR AĞLARI

Dünyanın en karmaşık ağına sahip olan insan beyni, sayısal bir işlemi yapabilmek, bir problemi çözebilmek için saatlerce uğraşabilmektedir. Bununla birlikte insan beyni bu tür problemleri çözmeye çalışırken nöronlar vasıtası ile milyonlarca işlem yapar. Günümüzde insan zekâsının, insan beyninin işleyişinden yola çıkılarak pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar; insan beyninin bilgileri ne şekilde ilettiği, bunları nasıl kullandığı ve ne şekilde bir sonuç çıkardığı üzerine yapılan çalışmalardır. Buradan yola çıkarak; bilim adamları yapay zekâ adını verdikleri bir sistem oluşturmaya çalışmışlardır.

Yapay zekâ: insan beyninin işleyişini taklit eden bir sistemdir. Bu sistem; yapılacak olan eyleme yönelik bir görevin yani bir fiile göre programlanmış bir bilgisayarın düşünmeye dayalı girişimidir. Daha geniş bir anlamda açıklayacak olursak yapay zekâ; bilgi elde edilmesi, görme, algılama, düşünme ve muhakeme yeteneği gibi insan zekâsına özgü özelliklerle donatılmış bilgisayarlardır.

2.1. Yapay Zekânın Gelişim Süreci

Yapay zekâ ile ilgili olan ilk çalışma McCulloch ve Pitts (1951) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacıların önerdiği yapay sinir hücrelerini kullanan hesaplama modeli, önermeler mantığı, fizyoloji ve Turing'in hesaplama kuramına dayanıyordu. Herhangi bir hesaplanabilir fonksiyonun sinir hücrelerinden oluşan ağlarla hesaplanabileceğini mantıksal “ve” ve “veya” işlemlerinin gerçekleştirebildiğini gösterdiler. Bu ağ yapıları eğer uygun bir şekilde tanımlanırsa öğrenme becerisi kazanabileceğini de gösterdiler. Hebb, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların şiddetlerinin değiştirmek için basit bir kural önerince, öğrenebilen yapay sinir ağlarını gerçekleştirmekte mümkün hale gelmiştir. İlk yapay sinir ağı temelli bilgisayar SNARC, MIT’de Minsky ve Edmonds tarafından 1951’de yapıldı. Daha sonraki zamanlarda Newel ve Simon, “insan gibi düşünme yaklaşımı” na göre üretilmiş ilk program olan “General Problem Solver” ı geliştirmişlerdir. Simon daha sonra fiziksel simge varsayımını ortaya atmış ve bu kuram, ,insanlardan bağımsız,

zeki sistemler yapma çalışmalarıyla uğraşan kişilerin başlangıç noktası olmuştur. Bundan sonraki yıllarda mantık temelli çalışmalar egemen olmuş ve yapılan programların başardığı şeyleri göstermek için birtakım yapay sorunlar oluşturulmuştur. Fakat daha sonraları bu sorunların gerçek dünyayı temsil etmediği öne sürülmüştür. Bununla birlikte yapay zekânın sadece yapay sorunlarla başa çıkabileceği öne sürülmüştür ve gerçek yaşamdaki sorunları çözemeyeceği kanısı ortaya çıkmıştır. Zeki davranışı üretmek için bazı çalışmalarda kullanılan temel yapılardaki bazı önemli yetersizliklerinde ortaya konmasıyla birçok araştırmacı çalışmalarını durdurmuştur. Buna en temel örnek, sinir ağları konusundaki çalışmaların Minsky ve Papert tarafından 1969'da yayınlanan "Perceptions" adlı kitaplarında tek katmanlı algılayıcıların bazı basit problemleri çözemeyeceği, buna bağlı olarak ta çok katmanlı algılayıcıların da problemleri çözemeyeceğine karar kılması ile bu konu durmuştur. Bütün bu çalışmaların sonucunda yapay zekâ araştırmacıları iki gruba ayrılmışlardır. Bir grup, insan gibi düşünen sistemler yapmaya çalışırken diğer grup ise rasyonel kararlar verebilen sistemler üretmeyi amaçlamışlardır.

2.1.1. İnsan Gibi Düşünen Sistemler

İnsan gibi düşünen bir program yapmak için insanların nasıl düşündüğünü saptamak gerekir. Bu da psikolojik deneylerle yapılabilir. Yeterli sayıda deney yapıldıktan sonra elde edilen bilgilerle bir kuram oluşturulabilir. Daha sonra bu kurama dayanarak bilgisayar programı üretilebilir. Eğer programın giriş/çıkış ve zamanlama davranışı insanlarınkine eş ise programın düzeneklerinden bazılarının insan beyninde de mevcut olabileceği söylenebilir.

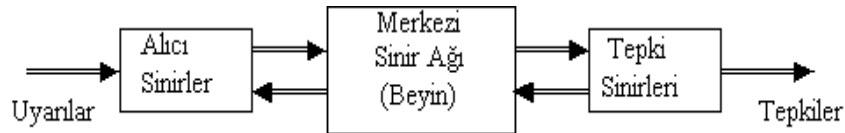
2.1.2. Rasyonel Düşünen Sistemler

Bu sistemlerin temelinde mantık yer alır. Burada amaç çözülmesi istenen sorunu mantıksal bir gösterimle betimledikten sonra çıkarım kurallarını kullanarak çözümünü bulmaktır. Yapay zekâda çok önemli bir yer tutan mantıkçı gelenek zeki

sistemler üretmek için bu çeşit programlar üretmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşımı kullanarak gerçek sorunları çözmeye çalışınca iki önemli engel karşımıza çıkmaktadır. Mantık, formülasyona dayalı bir dil kullanır. Gündelik yaşamdan kaynaklanan, çoğu kez de belirsizlik içeren bilgileri mantığın işleyebileceği bu dille göstermek hiç de kolay değildir. Bir başka güçlük de en ufak sorunların dışındaki sorunları çözerken kullanılması gerekecek bilgisayar kaynaklarının üstel olarak artmasıdır.

2.2. Biyolojik Sinir Sistemi

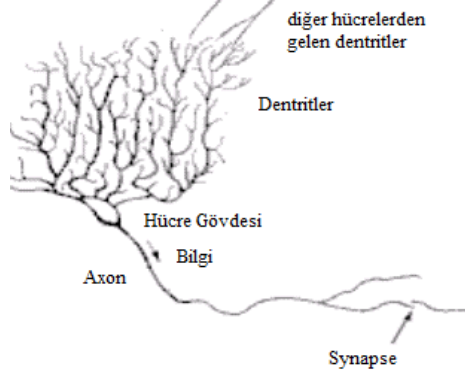
Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyine bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beyinin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 2.1’de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron) ve insan beyinde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; hücre gövdesi, dendriteler ve aksonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelir. Dendriteler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklinde ince yollarla iletir. Aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler

için dendritleri oluşturur. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi akson-dendrite bağlantı elemanı synapse olarak söylenir.



Şekil 2.2. Biyolojik Sinir Hücresi ve Bileşenleri

Synapse gelen ve dendritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir ancak, synapsedeki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi synapse belirler. İnsan beyninin 10 milyar sinir hücresinden ve 60 trilyon synapse bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık ve etkin bir yapı olduğu anlaşılır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

2.3. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya

çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece Yapay Sinir Ağları denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. Yapay sinir ağları; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir. Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder.

2.3.1. 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.

2.3.1.1. Doğrusal Olmama

YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik

bütün ağı yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

2.3.1.2. Öğrenme

YSA'nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler 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 problemten aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

2.3.1.3. 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.

2.3.1.4. 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.

2.3.1.5. Hata Toleransı

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

2.3.1.6. Donanım ve Hız

YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

2.3.1.7. 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 hücrelerden 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.

2.3.2. YSA'nın Uygulama Alanları

Son yıllarda YSA'ları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmektedir. 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.

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 makinalarının, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.

Tıp Alanında: EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

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

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

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.

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.

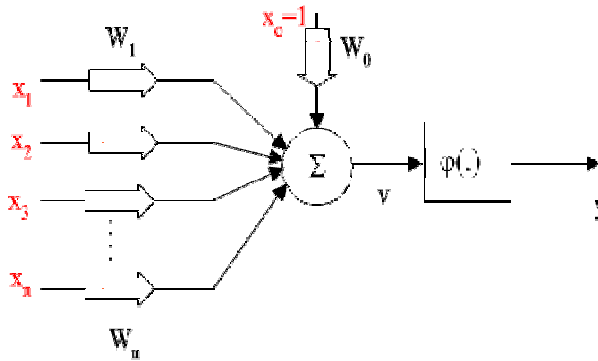
2.4. Yapay Hücre Modelleri

Yapay sinir hücreleri, YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük bilgi işleme birimidir. Geliştirilen hücre modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir yapay hücre modeli, şekil 2.4'te görüldüğü gibi girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon (etkinleştirme) fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 bileşenden meydana gelir. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış

ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girer ve ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Birleştirme fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan ya da çarpım fonksiyonu olabilir. Aktivasyon fonksiyonu ise birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Hücre modellerinde, net girdiyi artıran +1 değerli polarma girişi ya da azaltan -1 değerli eşik girişi bulunabilir ve bu giriş de sabit değerli bir giriş olarak girdi vektörü (x_0), katsayısı ise (genellikle b ile gösterilir) ağırlık vektörü (W_0) içerisine alınabilir. Genel olarak hücre modelleri şekil 2.4'deki gibi olmakla birlikte gerçekleştirdiği işleve göre hücreler statik ya da dinamik bir davranış gösterebilirler.

2.4.1. Statik Hücre Modeli

Şekilde; ağırlıkların sabit olduğu ve hücrede geri besleme ya da geciktirilmiş sinyaller kullanılmadığı dikkate alınırsa bu hücre statik bir işlevi gerçekleştireceğinden bu model, statik hücre modeli olarak söylenebilir.



Şekil 2.3. Yapay hücre modeli

Burada; $\mathbf{W}$ hücrenin ağırlıklar matrisini, $\mathbf{x}$ hücrenin giriş vektörünü, $\mathbf{v}$ hücrenin net girişini, $\mathbf{y}$ hücre çıkışını ve $\phi(\cdot)$ hücrenin aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir.

$$v = \sum_{i=0}^a W_i x_i \quad \text{ya da} \quad v = \sum_{i=1}^a W_i x_i \oplus b, \quad y = \varphi(v)$$

Buradaki statik hücrenin matematiksel modeli yukarıdaki gibidir. Denklemden, x giriş vektörünün bileşenlerinin dış (geri beslemesiz) girişler olması durumunda hücrenin doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştireceği görülmektedir.

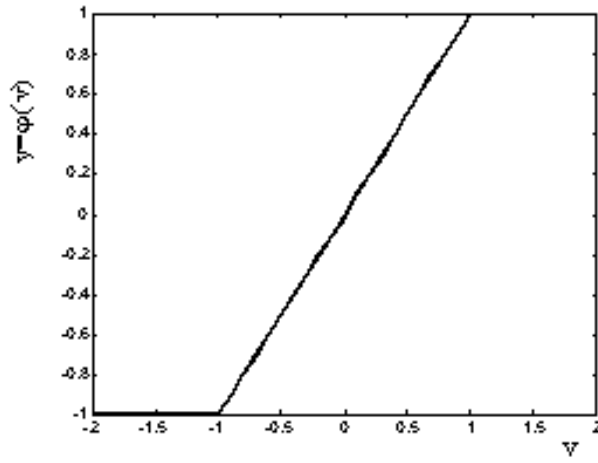
2.4.2. Aktivasyon Fonksiyonları

Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır.

2.4.2.1. Doğrusal ve Doyumlu-Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu:

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 $y=v$ şeklinde tanımlanabilir. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu ise aktif çalışma bölgesinde doğrusaldır ve hücrenin net girdisinin belirli bir değerinden sonra hücre çıkışını doyuma götürür. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonunun aşağıdaki denklemde matematiksel tanımı, Şekil 2.4'de ise grafiği görülmektedir.

$$y = \begin{cases} 1 & v > 1 \\ v & -1 < v < 1 \\ -1 & v < -1 \end{cases} \quad \text{ise}$$



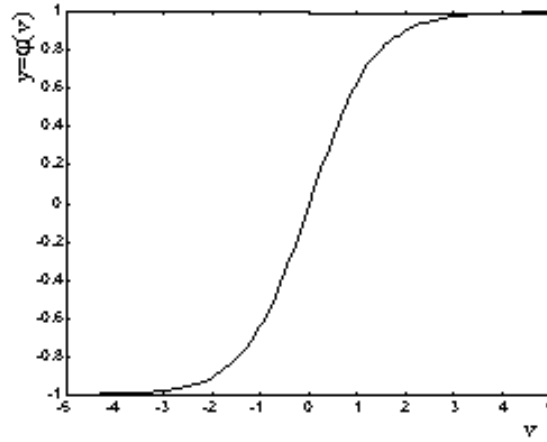
Şekil 2.4. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu

2.4.2.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Şekil 2.5’de grafiği verilen çift yönlü sigmoid (tanh) fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA’larında tercih edilir. Tek yönlü sigmoid fonksiyonun tanımı aşağıdaki ilk denklemde ve çift yönlü sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi ise en alttaki denklemde verilmiştir.

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}}$$

$$\varphi(v) = \frac{1 - e^{-v}}{1 + e^{-v}}$$

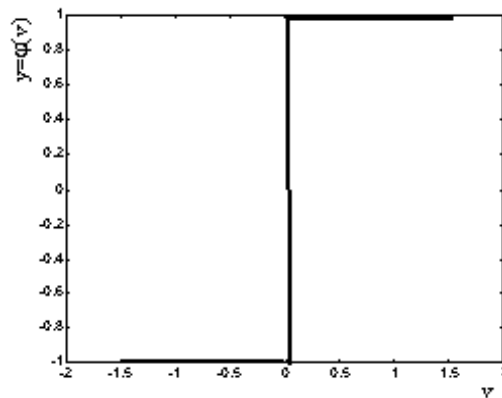


Şekil 2.5. Sigmoid (tanh) aktivasyon fonksiyonu

2.4.2.3. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu

McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir, Perceptron (Algılayıcı) olarak da söylenen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$y = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ -1 & v < 0 \end{cases} \quad ise$$



Şekil2.6. Eşik aktivasyon fonksiyonu

2.4.2.4. Diğer Aktivasyon Fonksiyonları

Yukarıda bahsedilen ve yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının dışında YSA'da çeşitli aktivasyon fonksiyonları kullanılmış ve aktivasyon fonksiyonlarına göre YSA'nın problemleri çözebilme performansları incelenmiştir.

2.4.3. Dinamik Hücre Modelleri

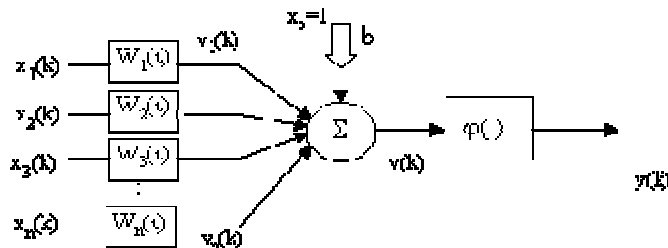
Yapay hücre modeli, x girişlerinden y çıkışlarına doğrusal olmayan statik bir dönüşümü gerçekleştirir. Örüntü tanıma ve sınıflandırma uygulamalarında statik hücre ya da YSA modelleri uygun olmakla birlikte sistem modelleme ve denetimi gibi dinamik problemlerin çözümünde dinamik hücre ya da YSA yapılarının kullanılması gereklidir.

Dinamik bir hücre genel olarak 2 şekilde oluşturulabilir.

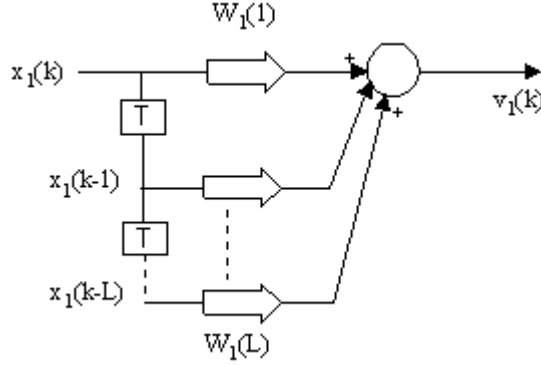
- a-) Hücresinin ağırlıkları dinamik bir model (bir filtre) olarak seçilebilir.
- b-) Hücresinin net girdisi dinamik bir modelden (bir filtre) geçirilebilir.

2.4.3.1. FIR Filtre Ağırlıklı Dinamik Hücre Modeli

Hücre ağırlıkları sabit seçilmek yerine bir filtre olarak modellenerek hücresinin dinamik davranışı sağlanabilir. Böylece, herhangi bir ağırlığın dinamik davranışı, zamanın bir fonksiyonu olan ani darbe cevabı ile tanımlanabilir. Her bir hücre ağırlığının FIR filtre olarak modellendiği ayrık zamanlı hücre yapısı şekil 2.8'de verilmiştir.



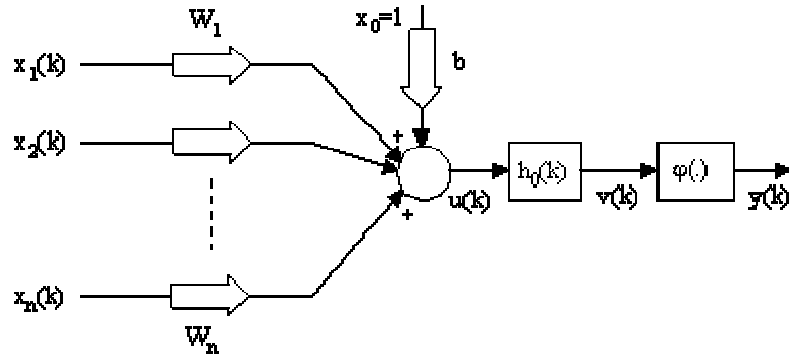
Şekil 2.7. FIR filtre ağırlıklı dinamik hücre modeli



Şekil 2.8. FIR filtre olarak tasarlanan ağırlıklar

2.4.3.2. RC-Dinamik Hücre Modeli

Diğer bir dinamik hücre modeli, ağırlıkların dinamik bir model olarak seçilmesi yerine hücrenin net girdisinin doğrusal bir dinamik modelden (filtreden) geçirildiği hücre modelidir. Filtrenin seçimi farklı olabilmekle birlikte genellikle birinci dereceden bir filtre (RC filtre) kullanılır. Bu durumda filtrenin ani darbe cevabı $h_0(k)$ ya göre hücre modeli şekil 2.9'daki gibi çizilebilir.



Şekil 2.9. RC- dinamik bir hücre modeli

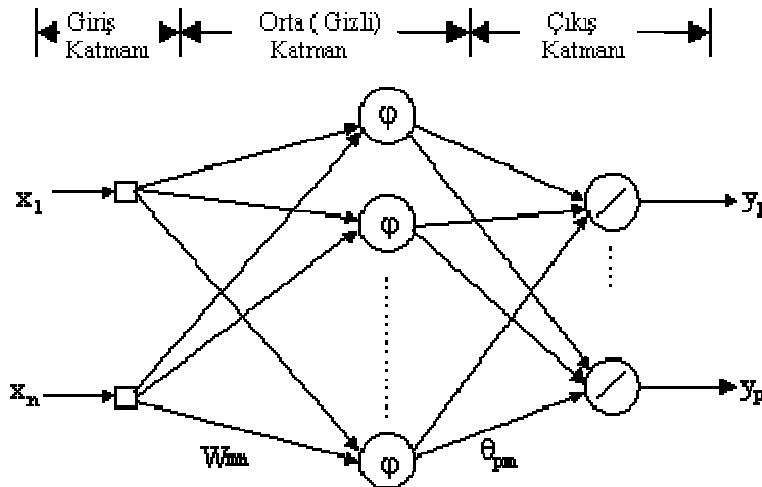
2.5. Yapay Sinir Ağları Yapıları

Yapay sinir ağı, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücelere ya da kendisine giriş

olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir. Bu bölümde, çeşitli problemlerin çözümünde kullanılan ve kabul görmüş bazı YSA yapıları ayrıntısına girmeksizin genel özellikleri ile tanıtılacaktır.

2.5.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA)

İleri beslemeli YSA'da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA'nın, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir. En çok bilinen geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA ların eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir. Şekil 2.10'da giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir.

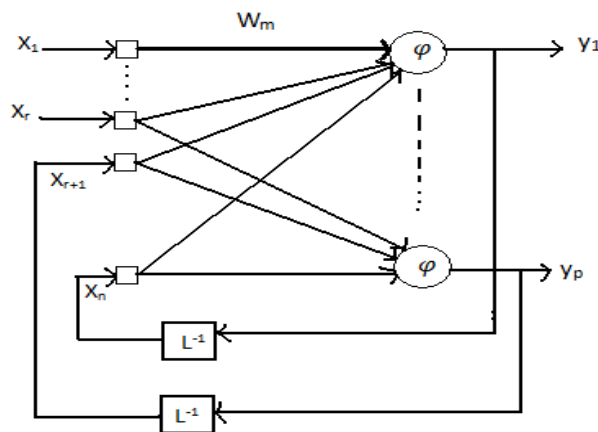


Şekil 2.10. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA

İleri beslemeli 3 katmanlı ve *çıkış katmanı doğrusal* olan YSA'nın matematiksel modeli, x giriş vektörünü, o orta katman çıkış vektörünü, y ağ çıkış vektörünü gösterir, ayrıca x_0 ve o_0 girişleri, polarma girişleri olarak alınmıştır. Herhangi bir problemi çözmek amacıyla kullanılan YSA da, katman sayısı ve orta katmandaki hücre sayısı gibi kesin belirlenememiş bilgilere rağmen nesne tanıma ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra ileri beslemeli YSA, sistemlerin tanınması ve denetiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

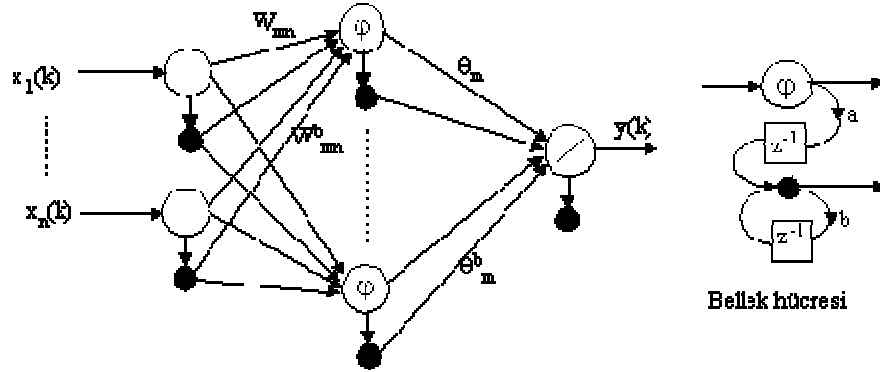
2.5.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)

Geri beslemeli YSA'da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Şekil 2.11'de iki katmanlı ve çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir YSA yapısı görülmektedir.



Şekil 2.11. Geri Beslemeli İki Katmanlı YSA

geliştirilmiştir. Şekil 2.13’de Bellek Hücreli Yapay Sinir Ağları (BHYSA) olarak söylenen ve ağdaki her bir hücre için bir bellek hücresinin kullanıldığı katmanlı-geri beslemeli bir ağ yapısı verilmiştir.



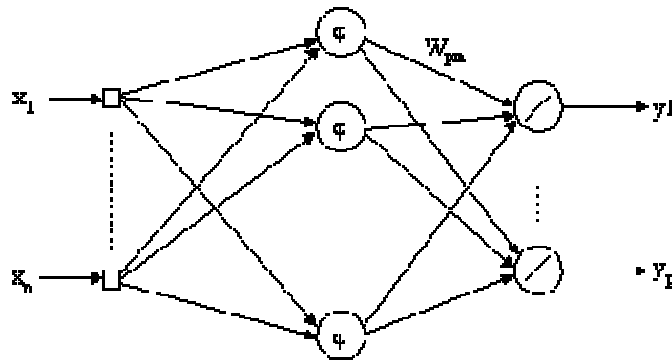
Şekil 2.13. Bellek hücreli yapay sinir ağı ve bellekli bir hücrenin yapısı

BHYSA’da her bir ağ hücresine ait olan bellek hücresi, bir ağırlık (b_j) üzerinden öz geri besleme girişine ve başka bir ağırlık üzerinden (a_j) ait olduğu hücrenin gecikmiş girişine göre bir çıkış üretir. Çıkış katmanında ise genellikle sadece öz geri besleme kullanılır. BHYSA’nın doğrusal olmayan bir sistemi modelleme ve denetim yeteneği, sadece sistemin o an ki giriş ve bir önceki çıkış verileri model girişi alınarak incelenmiş ve tatmin edici sonuçlar alındığı gösterilmiştir. İleri beslemeli katmanlı YSA’nın sadece gizli katmanında bellek hücreleri kullanılarak bellek hücresinin, ait olduğu hücre çıkışının geçmişteki örneklerini giriş olarak aldığı ve zaman gecikmeli YSA olarak söylenen geri beslemeli ağ yapıları da incelenmiştir.

2.5.4. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları (RTFA)

Katmanlı YSA’nın tasarımında eğiticili geriye yayılım öğrenme algoritması bir en iyileme uygulamasıdır. Radyal tabanlı fonksiyon ağı tasarımı ise çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır ve bu nedenle RTFA’nın eğitimi, çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun bir yüzeyi bulma problemine dönüşür. RTFA’nın genellemesi ise test verilerini interpolate etmek amacıyla, eğitim sırasında bulunan çok

boyutlu yüzeyin kullanılmasına eşdeğerdir. Radyal tabanlı fonksiyonlar, sayısal analizde çok değişkenli interpolasyon problemlerinin çözümünde kullanılmış ve YSA'nın gelişmesi ile birlikte bu fonksiyonlardan YSA tasarımında yararlanılmıştır. RTFA, ileri beslemeli YSA yapılarına benzer şekilde giriş, orta ve çıkış katmanından oluşur ancak, giriş katmanından orta katmana dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Orta katmandan çıkış katmanına ise uyarlamalı ve doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir. Şekil 2.14'de radyal tabanlı fonksiyon ağı gösterilmektedir.

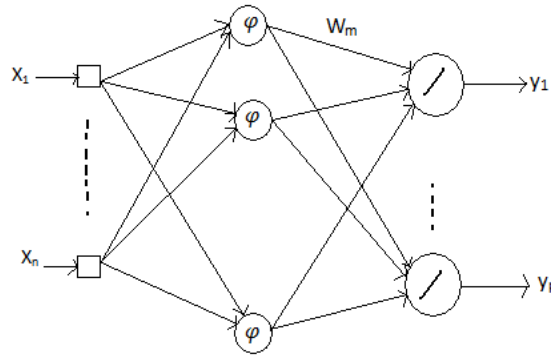


Şekil 2.14. Radyal tabanlı fonksiyon ağı

Eğri uydurma teorisi, herhangi birçok değişkenli ve sürekli $f(x)$ fonksiyonunu yaklaştırma ya da interpolate etme problemi ile ilgilidir. İnterpolasyon problemi, $k=1,2,\dots,N$ için x_k – veri noktası ve d_k -gerçek değerler olmak üzere $F(x_k)=d_k$ interpolasyon koşulunu sağlayan $F(\cdot)$ fonksiyonunun bulunması olarak tanımlanır. RTFA'da uyarlanabilecek serbest parametreler; merkez vektörleri, radyal fonksiyonların genişliği ve çıkış katman ağırlıklarıdır. Çıkış katmanı doğrusal olduğundan ağırlıklar, eğitim düşme ya da doğrusal en iyileme yöntemleri ile kolayca bulunabilir. Merkezler, girişler arasından rastgele ve sabit olarak seçilebilmekle birlikte RTFA'nın performansını iyileştirmek amacıyla merkez vektörlerinin ve genişliğin uyarlanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Merkez vektörleri, eğitim düşme yöntemine göre eğitici öğrenme algoritması ile uyarlanarak, dik en küçük kareler yöntemi ile, ya da kendiliğinden düzenlemeli yöntemle giriş örneklerinden öbekleme yapılarak belirlenebilir.

2.5.5. Fonksiyonel Link Ağları (FLA)

Katmanlı YSA, orta katmandaki doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları nedeniyle doğrusal olmayan öğrenme algoritmaları ile eğitilmelidir. Bu durum, öğrenme hızını yavaşlatır ve fonksiyon yaklaşımında yöresel en aza ulaşılabilir. Bu sorunlar, ağ girişlerini önce doğrusal olmayan bir dönüşümle genişlettikten sonra doğrusal çıkış katmanlı ağ yapıları ile giderilebilir. Şekil 2.15’de verilen ve Fonksiyonel Link Ağları (FLA) olarak bilinen ağlar iyi bir fonksiyon yaklaşırma performansına sahiptir. Bu yönüyle FL ağları, merkezleri ve genişliği sabit tutulan RTFA’na benzer ancak, FLA’da orta katmanın görevi ve aktivasyon fonksiyonları farklıdır.



Şekil 2.15. Fonksiyonel link ağı

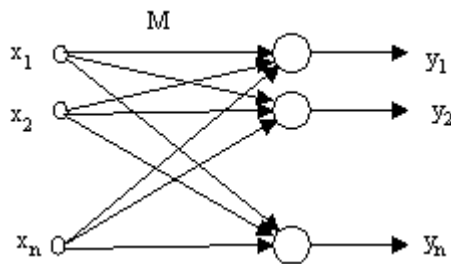
FLA’da ağ çıkışı, orta katmanda genişletilmiş ağ girişlerinin doğrusal toplamıdır ve FLA’nın eğitimi yalnızca çıkış katman ağırlıklarının ayarlanmasına gereksinim duyar.

FLA’nın fonksiyon yaklaşırma performansı, ağ girişlerinin yeterince genişletilmesine bağlıdır. Yeterince yüksek dereceden aktivasyon fonksiyonu içeren FLA’nın, herhangi bir doğrusal olmayan sürekli fonksiyonu arzu edilen doğrulukta yaklaştırabileceği belirlenmiştir. Ancak, ağ girişleri arttıkça orta katman aktivasyon fonksiyonları büyük boyutlara ulaşacak ve ağın gerçekleştirilmesi güç olacaktır. Örneğin, 20 girişli bir ağ için 3.dereceden polinomsal açılımla 1270 adet

genişletilmiş giriş oluşur. Bu nedenle, arzu edilen doğruluğu sağlayacak şekilde en iyiye yakın bir alt model seçimine gereksinim duyulur. RTFA'na benzer şekilde çeşitli yöntemlerin yanı sıra dik en küçük kareler yöntemi FLA'da alt model seçiminde etkin olarak kullanılır.

2.5.6. Çağrışımli Bellek Ağları (ÇBA)

Çağrışımli sistemler, belirli giriş vektörlerini belirli çıkış vektörlerine dönüştüren ya da ilişkilendiren sistemler olarak tanımlanır. Dolayısıyla çağrışımli bellek ağları, eğitim sürecinde ağa verilen eğitim örneklerini ağırlıkları aracılığı ile saklar ya da ezberler ve hatırlama ya da genelleme sürecinde ise saklanmış örneklerin gürültülü versiyonları da ağa verilmiş olsa doğru örnekleri verebilir. Bu yönü ile ÇBA'lar kodlayıcılar ve kod çözücülere benzer işlevleri yerine getirirler ve beynin yapısal karakteristikleri yerine işlevsel özelliklerini benzeştiren ağ yapısı olarak söylenebilir. ÇBA'ları genellikle örüntü tanıma ve eldeki eksik verilerden doğru verileri ortaya çıkarma gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Burada, x -giriş vektörü, y - çıkış vektörü ve M -bellek matrisidir. Şekilde çağrışımli bir bellek ağının yapısı görülmektedir. Genel olarak şekil 2.16'da verilen çağrışımli bellek ağı, n adet vektör ilişkilendirmesi sağlayabilir ancak gerçekte, saklanabilecek vektör sayısı giriş vektör boyutundan daha azdır; örneğin $m < n$ gibi.



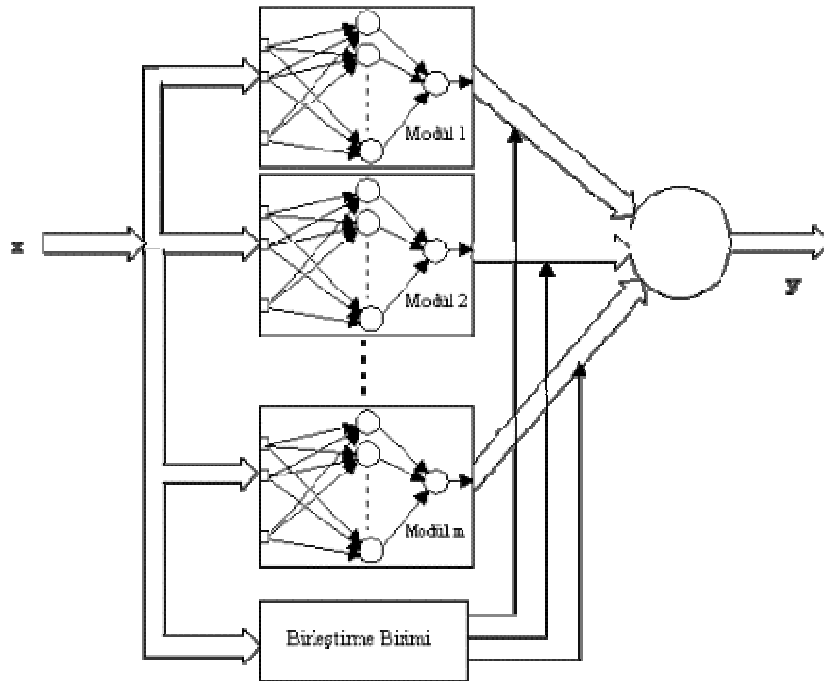
Şekil 2.16. Çağrışımli Bellek Ağları

ÇBA'ları, sistem modelleme ve denetimi amacıyla da kullanılabilir. Bu tür ÇBA'ları, 3 katmanlı YSA yapısına benzer ancak girişler normalize edilmek üzere giriş katmanından orta katmana farklı doğrusal olmayan fonksiyonlarla bir dönüşüm

gerçekleştirirler. ÇBA'nın performansı, ağ girişlerinden orta katman taban fonksiyonlarına gerçekleştirilen doğrusal olmayan dönüşüme bağlıdır. Orta katmandan çıkış katmanına ise doğrusal bir dönüşüm vardır. Bu nedenle, ÇBA tasarımında, ağ giriş uzayını normalize eden n boyutlu bir bölümlendirme yapısı belirlenmelidir. Girişleri normalize etme, her bir girişin en azını ve en çoğunu belirleyerek bu aralığı ağın duyarlılığına göre bölümlere ayırma işlemi olarak kısaca tanımlanabilir. Bölümlendirme yapısının tasarımı, ÇBA'nın modelleme yeteneği, bellek gereksinimi ve öğrenme hızını etkiler.

2.5.7. Modül Yapay Sinir Ağları (MYSA)

Modül YSA'ları, çok sayıda YSA yapısının birleşiminden oluşur. Eğer, bir ağın yapması gereken işlemler birbirleriyle de haberleşmeksizin iki yada daha fazla modüle (alt yapıya) ayrılabiliriyorsa bu ağlar modül YSA'ları olarak söylenir. Şekil 2.17'de modül yapay sinir ağı verilmiştir.



Şekil 2.17. Modül yapay sinir ağları

Modüllerin çıkışları, modüllerden bilgi geri beslenmemek üzere bir birleştirme birimi ile birleştirilir ve birleştirme birimi;

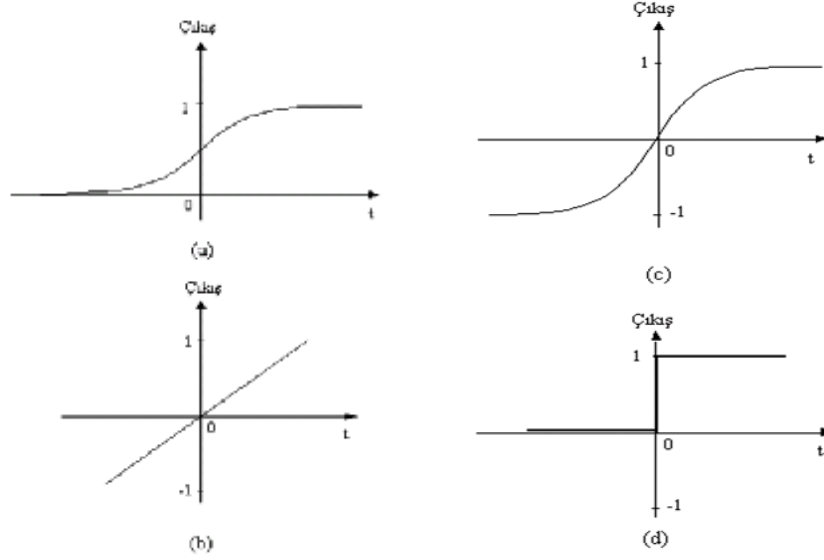
a-) Modül YSA çıkışını elde etmek için modül çıkışlarının nasıl birleştirilmesi gerektiğini,

b-) Hangi eğitim örneklerini hangi modülün öğreneceğini kararlaştırmalıdır.

Bu nedenle modül YSA'nın, böl ve yönet esasına göre çalıştığı söylenebilir ve böylece karmaşık problemler daha basit alt bileşenlerine ayrılarak çözülebilir ve sonuçta çözümler birleştirilebilir. Örneğin, süreksiz fonksiyonların tek bir YSA ile yaklaştırılması, özellikle süreksizlik noktalarında arzu edilen sonucu vermez. Böyle bir fonksiyonun süreksizlik noktaları arasındaki her bir bölgesi ayrı bir YSA modülü ile yaklaştırılarak sonuç fonksiyon, modül çıkışlarının birleşimi olarak alınabilir. Bu nedenle de, modül YSA'larının eğitiminde genellikle hem eğiticili hem de eğitici-siz öğrenme algoritmalarını birlikte kullanmak gerekir.

2.6. Aktivasyon Fonksiyonları

Şekil 2.18'de, bir hücrenin girdisine göre hücre çıkışını tanımlayan aktivasyon fonksiyonlarından 4 tanesi verilmiştir. Kullanılacak olan diğer fonksiyonların türevi alınabilir ve süreklilik arz etmesi gerekmektedir. YSA'nın kullanım amacına uygun olarak tek veya çift yönlü aktivasyon fonksiyonları da kullanılabilir. YSA'larda en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonu Şekil a'da verilmiştir. Doğrusal YSA'larda ve katmanlı YSA'ların çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon Şekil b'de verilmiştir ve işlemci elemanın girişini doğrudan işlemci elemanın çıkışı olarak verir. Bipolar özelliğe sahip olan tanjant hiperbolik fonksiyonu Şekil c'de gösterilmiştir. Giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktivasyon fonksiyonudur. Şekil d'de görülen keskin sınırlayıcı aktivasyon fonksiyonu, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir.



Şekil 2.18. YSA’larda en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları a) sigmoid, b) doğrusal c) hiperbolik tanjant ve d) keskin sınırlayıcı

2.6.1.İşlemci Eleman (Yapay Nöron)

Bir YSA modelinin temel birimi, Şekil 2.19’da gösterilen işlem elemanıdır. Burada girişler dış kaynaklardan veya diğer işlem elemanlarından gelen işaretlerdir. Bu işaretler, kaynağına göre kuvvetli veya zayıf olabileceğinden ağırlıkları da farklıdır. YSA’da girilen giriş değerlerine önce toplama fonksiyonları uygulanır ve her bir işlem elemanının çıkış (İEÇ) değeri

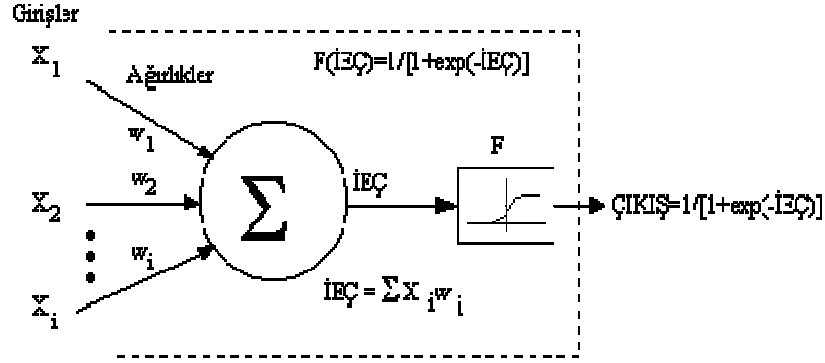
$$İEÇ = \sum_{i=1}^N X_i W_{ij} - \theta_i$$

olarak bulunur. Burada X_i i’inci girişi, W_{ij} j’inci elemandan i’inci elemana bağlantı ağırlığını ve θ_i eşik (threshold) değerini göstermektedir. Daha sonra bu çıkış değerleri sigmoidal aktivasyon fonksiyonuna yani öğrenme eğrisine uygulanır. Sonuçta çıkış değeri aşağıdaki şekilde bulunur.

$$ÇIKIŞ = \frac{1}{1 + e^{-İEÇ}}$$

Uygulamalarda, en çok *hiperbolik tanjant* veya *sigmoid* fonksiyonu kullanılmaktadır. Şekil 2.19’da işlemci eleman çıkışında kullanılan sigmoid

fonksiyona göre çıkış değerinin hesaplanması gösterilmiştir. Bu işlemci elemanın çıkış değeri diğer işlemci elemanlarına giriş veya ağırlık çıkış değeri olabilir.



Şekil 2.19. Bir işlemci elemanı (yapay nöron)

2.7.YSA İle Hesaplamanın Özellikleri

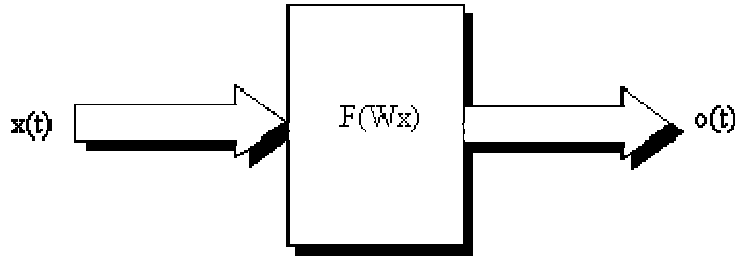
YSA'nın hesaplama özelliklerini, paralel dağılmış yapısından, öğrenbilme ve genelleme yapma yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme süresince kullanılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu özellikleri ile YSA'lar karmaşık ve çözümlenmesi güç problemleri de çözebilme yeteneğine sahiptir. Nesne tanıma, işaret işleme, sistem tanımlama ve denetimi gibi birçok mühendislik alanında YSA'lar, başarılı olmuşlardır.

2.8.YSA'ların Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar.

2.8.1. İleri Beslemeli Ağlar

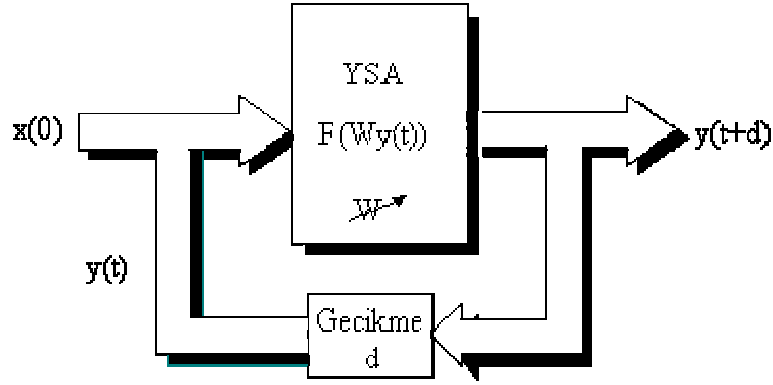
İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar (İE) genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Şekil 2.20’de ileri beslemeli ağ için blok diyagram gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron (Multi Layer Perseptron-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir.



Şekil 2.20. İleri beslemeli ağ için blok diyagram

2.8.2. Geri Beslemeli Ağlar

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katlardaki çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Şekil 2.21’de bir geri beslemeli ağ görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman-serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları verilebilir.



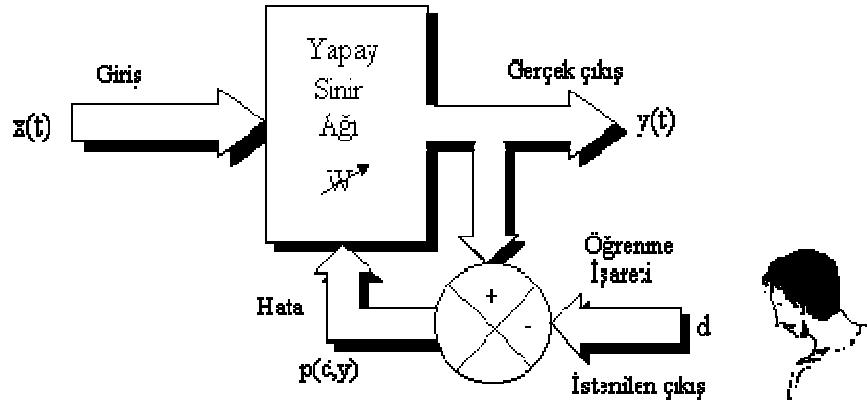
Şekil 2.21. Geri beslemeli ağ için blok diyagram

2.9. YSA’ların Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. O halde, birtakım metot ve kurallar, gözlem ve eğitime göre ağıdaki ağırlıkların değiştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme kuralları aşağıdaki gibidir.

2.9.1. Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)

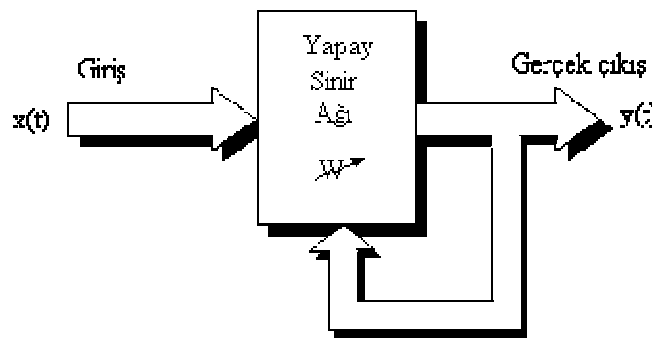
Bu tip öğrenmede, YSA’ya örnek olarak bir doğru çıkış verilir. İstenilen ve gerçek çıktı arasındaki farka (hataya) göre İE’ler arası bağlantıların ağırlığını en uygun çıkışı elde etmek için sonradan düzenlenebilir. Bu sebeple danışmanlı öğrenme algoritmasının bir “öğretmene” veya “danışmana” ihtiyacı vardır. Şekilde danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri besleme (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir. Şekil 2.22’de danışmanlı öğrenme yapısı verilmiştir.



Şekil 2.22. Danışmanlı öğrenme yapısı

2.9.2. Danışmansız Öğrenme (Unsupervised Learning)

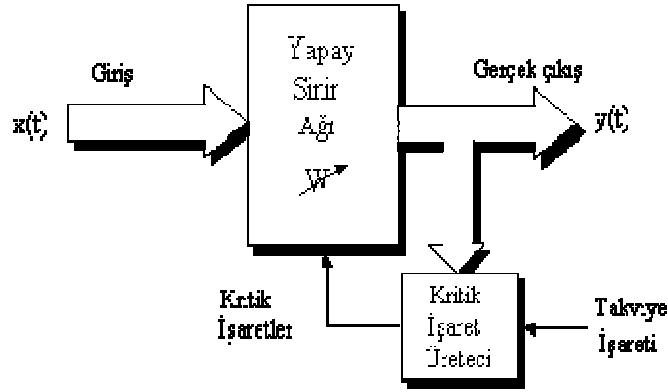
Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri verilir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren desenler (patterns) oluşturmak üzere ayarlar. Şekil 2.23’de danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.23. Danışmansız öğrenme yapısı

2.9.3. Takviyeli öğrenme (Reinforcement Learning)

Bu öğrenme kuralı danışmanlı öğrenmeye yakın bir metoddur. Denetimsiz öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için bir “öğretmen” yerine, burada YSA’ya bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Şekil 2.24’de takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski’nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya GA takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler.



Şekil 2.24. Takviyeli öğrenme yapısı

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

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 alınabilmektedir. Bunları kısaca açıklayacak olursak; bir sistemin ya da cihazın doğru çalışıp çalışmadığını öğrenmek için arıza analizi ve tespiti gibi uygulamalarda, protez tasarımı vb. gibi uygulamaları gerçekleştirebilmek için tıp alanında, silahların otomasyonu gibi uygulamalarda savunma sanayinde, görüntü ve veri sıkıştırma gibi uygulamalar için haberleşmede, ürün analizi ve tasarımı gibi konularda üretimde, uçaklarda otomatik pilot sistemleri gibi uygulamalar için ise otomasyon ve kontrol gibi alanlarda kullanılabilmektedirler.

Sinir ağları son 20-25 yıldır özellikle tanıma, tanımlama, tahmin ve algılama gibi alanlarda sıklıkla kullanılmış olsa da Çevre Mühendisliği uygulamalarında kullanılmaya başlanması hayli yenidir. Çevre mühendisliği konularında kullanım amacı daha çok atıksu arıtma tesisleri (AAT) nin çalışma özelliklerinin modellenmesi ve tahmini (Barnett and Andrews, 1992; Boger, 1992), su ve atıksu arıtma tesislerinin performans değerlendirmesi (Pu and Hung, 1995), AAT kontrolü ve optimizasyonu (Ladiges and Monnerich, 1996), AAT tasarımı (Krovvidy and Wee, 1990), karar verme mekanizmasını iyileştirmek ve hızlandırmak yönündedir. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı bazı çevre mühendisliği uygulamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- AAT'nde AKM, KOİ ve BOİ giderim verimi (Belanche et al., 1999),
- Girdi olarak sıcaklık, giriş debisi, giriş BOİ, giriş AKM, birincil arıtım BOİ ve AKM değerleri kullanılarak, ikincil ve üçüncül arıtım BOİ ve AKM değerlerinin modellenmesi (Hamoda et al., 1999),
- Saatlik pH ölçümü yerine debi ve güneş ışıması ölçümlerinin kullanılması (Moatar et al, 1999),
- Yağış verisinden yararlanılarak, bu günleri takip eden günlerde AAT'ne gelecek hidrolik yükleme miktarının tayini (El-Din and Smith, 2002),
- Kıyı sularında amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat verisi kullanılarak su kalitesinin tayini (Aguilera et al., 2001),

- Atıksu arıtma tesisine gelen debi, $KOİ$, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , AKM, klorür, fosfor, pH ve sıcaklık değerleri kullanılarak Kjeldahl Azotu değerini tahmin eden model çalışması (Choi and Park., 2001),
- Akarsuda periyodik olarak ölçülen renk, bulanıklık, sıcaklık, debi, çözünmüş fosfor, toplam fosfor, yükseltgenmiş azot miktarı, toplam demir değerleri kullanılarak Anabaena tipi bakteri konsantrasyonunun belirlenmesi (Maier et al., 1998),
- İklim değişikliğinin akarsu hidrolojisi ve ekolojisi üzerindeki etkisinin modellenmesi (Poff et al., 1996),
- Deniz suyunda tuzluluk (de Silets et al., 1992); besin konsantrasyonu (Daniell and Wundke, 1993); ozon dozu (Roadknight et al., 1997); akarsularda alg konsantrasyonu ve taşınımı (Whitehead et al., 1997); deniz yüzeyi sıcaklıkları (Tangang et al., 1997); yağış (Goswami and Srividya, 1996); yağış-akış ilişkisi (Smith and Eli, 1995) gibi farklı konularda YSA kullanılarak yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de YSA’nın Çere Mühendisliğindeki kullanım alanları ve çizelge 3.2’de ise YSA’da kullanılan parametreler ve kullanım amaçları özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Yapay sinir ağlarının kullanım alanları

Referans	Kullanım alanı	Yıl
De Silets et al.	Deniz suyunda tuzluluk	1992
Daniell and Wundke	Besin konsantrasyonu	1993
Smith and Eli	Yağış- akış ilişkisi	1995
Poff et al.	İklim değişikliğinin akarsu hidrolojisi ve ekolojisi üzerindeki etkisinin modellenmesi	1996
Goswami and Srividya	Yağış	
Roadknight et al.	Ozon dozu	1997
Whitehead et al.	Akarsularda alg konsantrasyonu ve taşınımı	
Tangang et al.	Deniz yüzeyi sıcaklıkları	
Maier et al.	Akarsuda periyodik olarak ölçülen renk, bulanıklık, sıcaklık, debi, çözünmüş fosfor, toplam fosfor, yükseltgenmiş azot miktarı, toplam demir değerleri kullanarak, Anabaena tipi bakteri konsantrasyonunun belirlenmesi	1998
Belanche et al.	Atıksu arıtma tesisinde AKM,KOİ,BOİ giderimi	1999
Hamada et al.	Girdi olarak; sıcaklık, giriş debi, giriş BOİ, giriş AKM, birincil arıtım BOİ ve AKM değerleri kullanarak ikincil ve üçüncül arıtım BOİ ve AKM modelleme	
Moatar et al.	Saatlik pH ölçümü yerine debi ve güneş ışıması ölçümlerinin kullanılması	
Aguilera et al.	Kıyı sularında amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat verisi kullanarak su kalitesinin tayini	2001
Choi and Park	Atıksu arıtma tesisine gelen debi, KOİ, NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , AKM, klorür, fosfor, pH ve sıcaklık değerleri kullanarak Kjeldahl azotu değerini tahmin eden model çalışması	
El-Din and Smith	Yağış verisinden yararlanarak bu günleri takip eden günlerde atıksu arıtma tesisine gelecek hidrolik yükleme miktarı tayini	2002

Çizelge 3.2. Yapay sinir ağında kullanılan parametreler ve kullanım amaçları

Referans	Kullanılan parametreler	Çalışmanın amacı	Yıl
Çobaner ve ark.	Nehir akımı, sediment konsantrasyonu	Akarsularda katımadde miktarının tahmini	
Fırat ve Güngör	Akarsu debisi	Askı maddesi konsantrasyon ve miktarının belirlenmesi	2004
Alp ve Cigizoğlu	Hidrometeorolojik datalar	Çözünmüş sediment yüklemelerinin iki farklı sinir ağı ile simüle edilmesi	2005
Özkan ve ark.	Sıcaklık, pH, KOİ, TÇKM, AKM, ay, ölçüm noktası, TC, FC, BOİ5, Cl-, SO4, NH4+, NO3-, TKN, PO4, yağ, fenol, bor, Na+, Mg++, Cu, Cr, Zn, Fe, Mn, S	Çözünmüş oksijen değişiminin belirlenmesi	2006
Açıkalın ve diğ.	Sıcaklık, pH, ortalama debi, KOİ, BOİ ve AKM	BOİ, KOİ ve AKM çıkış değerlerinin tahmini	
Çeşmeci	Nehre uzaklık, tavuk sayısı, çiftlik tipi, atık depolama şekli, kuyu derinliği, günlük atık	Çorum ili tavuk çiftliklerinin atıklarının yeraltı suyu kirliliğine etkisi	2007

Yuhong ve Wenxin (2008), yapay sinir ağı uygulamaları ile açık kanal akımındaki sürtünme faktörünün öngörülmesi üzerine in yaptıkları bir çalışmada ise; üç katmanlı yapay sinir ağı kullanılmıştır ve sonuç olarak yapay sinir ağı kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Mingzhi ve ark (2008) yaptıkları çalışmada kâğıt atıklarının yapay sinir ağları ile koagülasyon prosesi arıtımını araştırmışlardır. Çalışmada; kimyasal dozajlar ve kirliliğin uzaklaştırılması arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı ve bunun modellenmesi araştırılmıştır. Sistem, çeşitli işletme koşullarına adapte edilmeye

çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; nedenli önceden tahmin ve kontrol performansı sistemin geliştirilmesi süresi boyunca başarı göstermiştir.

Aguado ve ark. (2008) yaptığı bir çalışmada ardışık kesikli reaktörlerin yapay sinir ağı ile modellenmesi araştırılmıştır. Bu çalışma; ardışık kesikli reaktörün tanımlanması için yapay sinir ağına dayandırılan sistematik bir metodolojiyi içermektedir. Çalışmada farklı bekletme zamanları ve farkı giriş parametrelerinin karakteristikleri kullanılmıştır. Buradaki amaç biyolojik fosfor gideriminin araştırılmasıdır. Çalışmanın modelinin oluşturulmasında geri beslemeli, çok katmanlı ağ kullanılmıştır. Bulunan R^2 değeri 0,980 olarak belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda geliştirilen modelin etkili bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Moral ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada otomatikleştirilmiş yapı taraması ile yapay sinir ağlarının kullanılmasıyla aktif çamur prosesinin modellenmesini araştırmışlardır. Çalışmada aktif çamur prosesi iki farklı durum için modellenmiştir. Birincisinde varsayım niteliğinde bir atıksu arıtma tesisi oluşturulmuştur ve aktif çamur model 1 in uygulaması olabilecek şekilde bir model kurulmuştur. Bu modelin sonucunda yüksek kolerasyon değerine sahip bir sonuç ortaya çıkmıştır. Bu modelin R^2 değeri 0,980 olarak belirtilmiştir. İkinci durumda aktif çamur prosesinin yapay sinir ağı ile modellenmesinde İskenderun atıksu arıtma tesisi çalışılmıştır. Bu çalışmada çıkış parametresi olarak kimyasal oksijen ihtiyacı kullanılmıştır. Modelin R^2 değeri ise 0,795 olarak belirtilmiştir.

Sadrzadeh ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada kurşun iyonlarının atıksuda elektrodiyaliz yöntemi ile ayrıştırılmasında matematik model ve sinir ağı modeli karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağı çok katmanlı ağ olmakla birlikte iki saklı katman içermektedir. Çalışmada oluşturulan matematiksel modelin R^2 değeri 0,97 ve yapay sinir ağının R^2 değeri 0,99 olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucunda; yapay sinir ağı modelinin matematik modele göre daha kullanışlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Ghobadian ve ark. (2008) yaptıkları çalışmalarda ise dizel motorların performansları ile kullanılmış yağlardan elde edilen biyodizel kullanan araçların egsoz emisyon analizinin yapay sinir ağı kullanarak belirlenmesi ile ilgili yaptıkları bir çalışmadır. Yapay sinir ağı yaklaşımı çeşitli termal sistemlerin performanslarını

tahmin etmede kullanılmıştır. yapay sinir ağındaki saklı katmanlar ve nöron sayısı verilerin ne kadar karmaşık olduğu ile doğru orantılı bir şekilde belirlenmiştir. Çalışma sonucunda oluşturulan modelin R^2 değeri 0,999 olarak belirtilmiştir.

Dellana ve West'in (2008) yaptığı bir çalışmada atıksu uygulamalarına lineer ve lineer olmayan yaklaşımlarla modelleme çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada lineer olan ARIMA modeli ile lineer olmayan zaman geciktirmeli sinir ağı modeli kullanarak su kalitesi üzerine bir araştırma yapmışlardır.

Erdoğan (2007)'in yaptığı bir çalışmada "Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımla Habitat Modelleme: Akça Cılibit Populasyonu Örneği" çalışılmış ve bu çalışmada üç değişik modelleme yöntemi, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla kullanılmıştır. Bu modeller: Yapay Sinir Ağları, Karar Ağacı ve Regresyon analizleridir. Bu yöntemler 1996 ve 1999 yılları arasında bir grup biyolog tarafından Tuzla'da toplanmış verilere uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ise karşılaştırmalar sonucunda ise yapay sinir ağlarının en iyi sonucu verdiği ortaya çıkmıştır.

Çeşmeci (2007), 20 adet örnekleme istasyonu kullanarak yaptığı çalışmada Çorum ilindeki tavuk çiftliklerinin atıklarının yeraltı suyu kirliliğine etkisi ve yapay sinir ağı ile modellenmesini çalışmıştır. Bilinmesi gereken, nehre uzaklık, tavuk sayısı, çiftlik tipi, atık depolama şekli, kuyu derinliği ve günlük atık miktarı verilerini kullanmıştır. Sonrasında mevsimsel değişimleri izleyebilmek için değişik tarihlerde her istasyondan 4'er adet kuyu suyu örneği almış ve bu sulara amonyak, nitrit, nitrat, fosfat, pH, iletkenlik, tuzluluk, toplam çözünmüş katı, bulanıklık, toplam sertlik ve toplam koliform analizleri yapmıştır. Tüm örneklerde kirlilik faktörü koliforma rastlamıştır. Çeşmeci elde ettiği sonuçları ile yapay sinir ağı modellemesi yapmıştır. Bu çalışmada 60 örnekle yapılan modellere olan doğruluğu 20 örnek ile test edilmiş ve %100'e varan oranda doğruluğunu bulmuştur. Ayrıca bu bölgede analizi yapılmayan bir çiftlik için aynı parametreleri girdiği zaman YSA ile toplam koliform miktarının yüksek doğrulukla belirlenebildiğini bulmuştur.

Meng ve Lin (2007) yaptığı bir çalışmada Alkol etoxylat ın akuatik ekotoksitesinin belirlenmesinde geri beslemeli yapay sinir ağından faydalanmışlardır. Bu çalışmanın amacı yapay sinir ağları ile alkol etoxylat ın

akuatik ekotoksitesinin bir modelini yapmaktır. Bu çalışmada model 549 adet veri grubu ile oluşturulmuş ve geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu çalışmada 8 parametre girdi değeri olarak kullanıldı ve ekotoksiste konsantrasyonu ise çıktı değeri olarak kullanıldı. Modelin saklı katmanındaki nöron sayısının 1-10 arasında değişmekte olduğu belirtilmiştir.

Yetilmezsoy ve Demirel (2007) çalışmalarında Antep fıstığı yaprağındaki kurşun adsorblanmasını incelemişlerdir ve bunun için de yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. İşletme parametreleri adsorban dozajı, kurşun iyonu başlangıç konsantrasyonu, başlangıç pH, işletme sıcaklığı ve reaksiyon süresi olarak maksimum kurşun iyonu uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Çalışma 66 adet deney setinden oluşmaktadır. Çalışmanın işletme koşulları pH 5,5, adsorban dozajı 1gr ve 30 ppm Pb(II) olarak belirtilmiştir ve sıcaklık ise 30 °C olarak belirtilmiştir. Yapılan testler ve deneyler sonucu sistemin kararlı hale gelebilmesi için 45 dk yeterli bir süre olarak belirtilmiştir. Model oluşumunda geri yayılım kullanılmış ve transfer fonksiyonu olarak tansig ve purelin transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda R^2 değeri 0,936 olarak belirtilmiştir.

Hong ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada ölçümlerdeki problemlerin üstesinden gelme ve nutrient konsantrasyonunun belirlenmesinde yapay sinir ağları ve yazılım sensörlerini kullanmışlardır. Çalışmada model yapısını oluştururken anaerobik ve aerobik koşullardan faydalanmışlardır. Çalışmada PO_4^{-3} , NO_3^{-} ve NH_4^{+} konsantrasyonları modelde çıktı parametresi olarak kullanılmıştır ve bu parametrelerin ölçülebilemsi için girdi parametresi olarak çözünmüş oksijen, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ve pH kullanılmıştır. Çalışmadaki model oluşturulurken lineer olmayan sistemler için kullanılan yapay sinir ağı modeli seçilmiştir. Özellikle geri yayımlı-geri beslemeli model kullanımının lineer olmayan sistemlerde daha uygun olduğu düşünülerek bu model kullanımı seçilmiştir. Bu metodolojinin amacı ardışık kesikli reaktörlerdeki biyolojik nutrientlerin uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

Llorens ve ark. (2007) yaptıkları bir çalışmada atıksu arıtma tesisinin deşarj suyunun bir Akdeniz nehrine dökülmesinde Kohonen yapay sinir ağının (KSOM) ve kütle balans modelinin kullanılmasının değerlendirilmesi çalışmalarında basit bir

model kütle balans modeline dayandırılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada böylesi bir modelin seçilmesi nedeni eksik olan verilerin belirlenmesinde fayda sağlamasıdır. Kohonen ağı iki boyutlu, çıktısı değeri olarak nitelendirilen bir yapıdan meydana gelmektedir. Çalışmada NH^+ , NO_2 , NO_3 , toplam fosfor ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı modelinin önemli bir etkisi değerlendirme çalışmalarında görülmüştür.

Aleboyeh ve ark. (2007) UV/ H_2O_2 kullanarak azo boyalarını giderme işleminin tahmininde yapay sinir ağını kullanmışlardır. Giriş parametresi olarak çözelti pH 1 ve UV ye mağruz kalma zamanı verilmiştir ve çıkış parametresi olarak renk giderimi verilmiştir. Geri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı bu çalışmada kullanılmıştır. geri yayılım algoritması kullanılarak 114 set oluşturulmuştur. Üç katmanlı ve 8 nörona sahip bir ağ kullanıldığı zaman optimum sonuç verdiği belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yapay sinir ağı kolerasyon değeri olan R^2 değeri 0,996 olarak belirtilmiştir.

Arranz ve ark. (2007) yaptıkları bir çalışmada yapay sinir ağları kullanarak fotosentetik olarak oksijene doymuş biyodegradasyonun modellenmesi çalışılmıştır. Bu çalışmada; ışık, sıcaklık, hidrolik bekletme zamanı, kirlilik konsantrasyonu, artıma verimi arasındaki kompleks ilişkinin çözümlenmesi amaçlanmıştır. Girdi değerleri olarak; ışık, hidrolik bekletme zamanı, sıcaklık ve kirlilik konsantrasyonu, çıktı değeri olarak bir değer (proses performansı) ve bir tane de ara tabaka için değer kullanılmıştır.

Akın'ın 2007 yılında yaptığı bir çalışmada” Çukurova Deltası Kıyı Alanında Arazi Örtüsü Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Uzaktan Algılama Yöntemlerinin Değerlendirilmesi” ni incelemiştir ve bunun sonucunda ise Çukurova Deltası'nda arazi örtüsü değişimlerini tespit etmek için görüntü çıkarma, görüntü oranlama, görüntü regresyonu, vektör değişim analizi olmak üzere 4 farklı değişim analizi yöntemi karşılaştırılmış ve alan için en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan doğruluk analizi sonucunda alan için en uygun olan yöntemin vektör değişim analizi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çobaner ve ark. (2006) akarsularda katı madde miktarının yapay sinir ağları kullanılarak tahmini üzerinde yaptıkları çalışmada YSA modelinin nehir akımları ile

sediment konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi modelleme yeteneğini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda YSA modelinin, Sediment konsantrasyonunu tahmin etmede anahtar eğrisi ve ÇDR'a (çoklu doğrusal regresyon) göre daha iyi bir performans gösterdiğini bulmuşlardır. Anahtar eğrisinin ve ÇDFR yaklaşımlarının YSA'ya göre özellikle pik sediment değerleri için çok kötü tahminler verdiğini bulmuşlardır. YSA modellerinin yaptıkları çalışma dışındaki istasyonlara uygulanmasının daha sonra da regresyon teknikleri ile karşılaştırılmasının elde edilen sonuçların desteklenmesi açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu bulgu ile beraber zamanla değişen birçok parametreye bağlı olan sediment konsantrasyonunun formüllerle ifade edilmesinin oldukça güç olması ve YSA'nın belirli bir problemi çözmek için fazla bir bilgiye ihtiyaç duymadan örnekleri kullanarak sonuca vardığı için su yapılarının tasarımında sediment konsantrasyonunun tahmininde YSA modellerinin kolaylıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda R^2 değerinin 0,878 olduğunu, çoklu doğrusal regresyon için ise R^2 değerinin 0,853 olduğunu belirtmişlerdir.

Özkan ve ark. (2006) nehirlerdeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun değişiminin modellenmesinde yapay sinir ağlarına dayanan yeni bir metod çalışmışlardır. Bu çalışmada genişletilmiş delta-bar-delta ile geri yayılım öğrenme algoritmaları bu ağları eğitmede kullanılmıştır. Çalışmalarında YSA yapısını oluşturmada 5 farklı veri yapısı ve 2 farklı transfer fonksiyonu test etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, çalışmada kullanılan nöro modeller basit bir yapıya sahip, yüksek hesaplama hızı olan modeller olup başarılı sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Ra'duly ve ark. (2006) yaptıkları bir çalışmada ise atıksu arıtma tesisi performansının incelenmesinde yapay sinir ağları kullanılmışlardır. Çalışmada geriyayılım algoritmasına sahip geri beslemeli yapay sinir ağı modelini kullanmışlardır. Bu modeli kullanmalarının nedeni ise lineer olmaya sistemlerde geribeslemeli modelin daha uygun olduğudur. Model oluşumunda giriş parametresi olarak toplam kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam katı madde, SNH_4 , biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam azot ve toplam kheldal azotu parametrelerini kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda ise; yapay sinir ağlarının atıksu arıtma tesisi performansının belirlenmesinde uygunluk gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Aber ve ark. (2006) yaptıkları başka bir çalışmada ise sulu çözeltiden asit orange 7 maddesinin toz aktif karbon ile uzaklaştırılması ve deneysel sonuçların yapay sinir ağı ile modellenmesini çalışmışlardır. Bu çalışmada asit orange 7 giriş konsantrasyonu 150- 350 ppm arasında değişmektedir ve pH değerleri ise sırası ile 2.8, 5.8, 8.0 ve 10.5 olarak belirtilmiştir. Çalışmanın modelleme aşamasında 3 katmanlı geri yayılım- geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. model oluşturulurken toplam 219 veri grubu kullanılmıştır. bunlarda 146 tanesi eğitimde 73 tanesi ise test aşamasında kullanılmıştır. Langmuir ve Freundlich eşitliklerinin ve yapay sinir ağının R^2 değerleri kıyaslandığında en iyi sonucu 0,9988 ile Freundlich eşitliğinin verdiğini belirtmişlerdir.

Mjalli ve ark. (2006) yaptıkları bir çalışmada ise atıksu arıtma tesisinin performansının önceden tahmin edilmesinde yapay sinir ağlarının BLACK-BOX modeli kullanılmıştır. Bu model lineer olmayan bio-organik bileşiklerden dolayı çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Çalışmada 1 yılda toplanan veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada; girdi değerleri olarak biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam katı madde verilmektedir. Çalışmada 12 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller içerisinde en iyi model performansını veren model KOİ giriş ve TKM çıkık parametresi ile R^2 değeri 0,987 olan modeldir.

Machon ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada ise; iyi bilinen Monod veya Haldane kinetik modellerinin kirleticiler arasındaki inhibisyon fenomeninden dolayı kullanışlı olmaması nedeni ile bu çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Çalışmada amonyum, tiyocyanat, fenol ve diğer organik bileşikler içeren kömür atıksuyunun biyolojik olarak arıtılabilirliği çalışılmıştır. Bu sinir ağı diğer modellere göre daha iyi bir sonuç vermiştir.

Pai ve ark. (2006) yaptıkları başka bir çalışmada ise grey model ve yapay sinir ağlarını kullanarak hastane atıksu arıtma tesisindeki giriş katı madde ve kimyasal oksijen ihtiyacının belirlenmesinde kullanmışlardır. Genel olarak çok katmanlı sinir ağı modelinin kullanılmasından dolayı bu çalışmada da çok katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. girdi parametresi olarak giriş pH ı, askıda katı madde, sıcaklık ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) kullanılmıştır. Çıktı parametresi olarak ise askıda katı madde ve KOİ alınmıştır.

Şatır (2006), yaptığı bir çalışmada ise “Uygun Bulanık (Fuzzy) Sınıflama Yöntemleri İle Aladağ Örneğinde Arazi Örtüsünün Sınıflandırılması” araştırılmıştır. Bu çalışmada; bulanık sınıflama tekniklerinden doğrusal karışım modeli ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak, Yukarı Seyhan Havzası içerisindeki Aladağlar ve çevresinde yer alan arazinin, Ağustos 2003 tarihli Envisat MERIS ve Landsat ETM uydu görüntüleri yardımıyla sınıflanması amaçlanmıştır. Bunun sonucunda ise; Yapay sinir ağları ve doğrusal karışım modeli bulanık sınıflama yöntemiyle görüntüler sınıflanmıştır. Ayrıca bulanık sınıflamanın, belirgin sınıflamalara göre daha yüksek doğrulukla sonuç verdiği karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur. Genel sınıflamalar sonrasında ortaya çıkan doğruluk oranları DKM %82, YSA %81 ve belirgin YSA %57 olarak belirlenmiştir. Bulanık görüntü sınıflaması belirgin sınıflamalardan daha yüksek doğrulukla sonuç vermiştir. Karışımın yüksek olduğu piksellerde YSA’nın DKM’den daha etkin olduğu ve doğru sonuç ürettiği görülmüştür.

Alp ve Cigizoğlu (2005)’nin yaptıkları bir çalışmada çözünmüş sediment yüklemelerinin hidrometeorolojik veriler kullanarak iki farklı sinir ağı ile simüle edilmesinin araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda; geri beslemeli sinir ağı ve radyal tabanlı sinir ağının sonuçlarını kıyaslamışlardır. Geri beslemeli sinir ağının R^2 değeri 0,897 ve radyal tabanlı sinir ağının R^2 değeri ise 0,921 olarak belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak radyal tabanlı sinir ağı ile yapılan çalışmadan daha iyi sonuç alındığı belirtilmiştir. Yapay sinir ağlarının çözünmüş sedimentlerini simüle etmede önemli bir yeri olduğunu ve problemleri çözmede etkili bir yol olabileceği de sonuçlar arasındadır.

Fırat ve Güngör (2004) yaptıkları çalışmada akarsular tarafından taşınan askıda katı madde (AKM) miktarını, ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Akarsuların taşımış olduğu AKM miktarı akarsuyun taban eğimine, topografyasına, akarsuyun debisine, bölgenin iklim şartlarına ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca akarsu üzerine inşa edilen yapıların da akarsuyun katı madde miktarına etkisinin olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı da akarsuda taşınan katı madde miktarının bilinmesinin büyük önem taşıdığı çok açıktır. Bu çalışmada böylesi bir AKM miktarının zamanla değişen çok sayıda parametreye

bağlı olduğu ve bunun formüle edilmesinin oldukça güç olduğu ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışmada sadece akarsu debisi göz önüne alınarak askı maddesi konsantrasyonu ve AKM miktarı yapay sinir ağları ile hesaplanmış ve kullanılan veri grupları arasında oldukça fazla farklar olmasına rağmen iyi sonuçların elde edildiğini belirlemişlerdir.

Maier ve Dandy (1999)'nin yapmış olduğu başka bir çalışmada ise su kaynaklarının uygunluğunun yapay sinir ağları ile önceden belirlenmesinde modellemede çıkan sorunlar ve uygulamalar araştırılmıştır. Bu çalışmada geri yayılım algoritması geri beslemeli sinir ağları kullanılmıştır. Ayrıca farklı modeller oluşturulmuş ve birbirleri ile kıyaslamalar yapılmıştır. Bu çalışmada modelin oluşturulma aşamasının başlangıcından itibaren model performansının belirlenmesinde hangi kriterlerin ne derecede ağırlığa sahip olduğunun bilinmesinin önemli bir yeri olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada model oluşumlarının tanımlanmasının ayıf olduğu belirtilmiştir. Fakat bu durumun modellerin çalışmasında herhangi bir probleme neden olmadığı gözlenmektedir. Burdana yola çıkarak bu çalışmada yapılan araştırmalar neticesinde yapay sinir ağlarının su kaynaklarının uygunluğunun belirlenmesinde önemli bir adım olduğu belirtilmiştir.

Açıkalin ve ark. (2010) atıksu arıtma tesisi kirlilik parametrelerinden biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) çıkış değerlerini tahmin etmek için yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan veriler atıksu sıcaklığı, pH, ortalama debi, KOİ, BOİ ve AKM parametrelerinden oluşmuştur. Bu çalışmada çok katmanlı algılayıcı kullanılmıştır. Bunun amacı da ağın verilen değerlere göre tahminde bulunmak durumunda olmasıdır. Çalışmanın sonucunda arıtma verimine etki eden parametrelerin bilinmesi ile daha fazla deneysel çalışma yapmadan, eğitilmiş ve test edilmiş YSA analizini kullanarak yeni teorik çıktı ve verim değerleri üretilebilmektedir. Yine veriler kullanarak oluşturulan modellerden çok katmanlı algılayıcı modelin gerçek verilere oldukça iyi bir sonuçla uyum sağladığını bulmuşlardır. Bu çalışma sonucunda R^2 değerini 0,845 bulmuşlardır (Erişim tarihi 21 Haziran 2010).

4. MATERYAL VE METOD

KOI'nin tespiti için kullanılabilecek farklı model yaklaşımları kurulumu zor, uzun zaman alan ve konu hakkında bilgi ve tecrübe gerektiren çözümlerdir.

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlarla yapılan çalışmadan elde edilen veriler istatistiki analizler ve normalizasyon gibi işlemlerden geçirilerek YSA model çalışmalarında kullanılabilecek hale getirilmesini takriben en yüksek kolerasyon ve en düşük hata verilerinin elde edileceği model çalışmaları sürdürülmüştür. Bu amaçla en basit model anlayışından başlanarak model performansını arttırması düşünülen daha karmaşık model uygulamaları üzerinde durulmuştur. YSA çalışmalarını bu nedenle iki farklı bölümde incelemek mümkündür. Bu bölümlerden ilki, YSA kavramının detaylarıyla araştırıldığı, farklı değişkenlerin model performansı üzerindeki etkisinin incelendiği ve daha başarılı model yapıları elde etmek için izlenmesi gereken stratejilerin belirlendiği aşamadır. İkinci aşama ise, ilk bölümde elde edilen bu tecrübelerden yararlanarak başarılı bir model yapısı oluşturmak amacıyla sistematik bir yapının kurulduğu ve bu yapıdan elde edilen sonuçların değerlendirildiği bölümdür. YSA çalışmalarının ilk bölümünde, model yapısı ile ilgili tüm değişkenlerin olası kombinasyonları denenmiştir. Başarılı bir model yapısının gerçekleştirilebilmesi amacıyla model kurulumunda bulunan tüm bu parametrelerin optimum kombinasyonunun bulunması gerekmektedir. Bu durum da çok fazla sayıda model çalışmasının yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Modelde giriş parametresi olarak kullanılacak olan değişkenlerin tespit edilmesinin ardından saklı katman sayısı ve her bir katmanda kullanılacak nöron sayısı belirlenmiştir. Model alternatiflerinin sınama verisine karşı verdiği tepki, aşırı öğrenmenin engellenebilmesi amacıyla sürekli takip edilerek farklı çevrim sayıları denenmiştir. Son olarak, kalıp dosyalarının aynı sırayla modele sunulması sonucunda rastlantısal model performansları elde edilmesinin önüne geçmek amacıyla kalıp dosyaları bazı model çalışmaları sırasında karışık sıra ile de modele verilmiştir. Tüm bu kombinasyonlar tamamı ile uygulandığında oldukça büyük sayıda model alternatifinin denenmesi gerekmektedir.

4.1. Materyal

Çalışmada verilerin alındığı model, yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan olarak tanımlanmaktadır. Verilerin alındığı model; yağışı, terleme ve buharlaşmayı, hidrolik durumlar için por özelliklerini ve giriş akımını, substratın hareketi ve dağılımını, biyoması, substrattan faydalanma, biyofilmdeki büyüme ve biyolojik reaksiyonlar için sıvı hacmini içermektedir.

Verilerin alındığı modeldeki biyofilm dinamikleri ve katıların çökmesi yumaklaştırma prosesi ile belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın matematik modeli MATLAB kullanılarak yapılmıştır. Modelin uygulanabilirliği bitkisel ölçekli bir sisteme dayanmaktadır. Bu sistemde KOİ tahmini, katı ve biyomas giderimi, katı depozisyonu ve biyolojik yumaklaşma 5 yıl boyunca incelenmiştir (Marahatta, 2004). Modeldeki çıkış KOİ analizleri, biyomas ve toplam katı miktarı sırası ile 0,098- 0,007 ve 0,102 kg/ m³ hata payıyla ölçülmüştür(Marahatta,2004). Akım hızı genellikle simülasyon periyodunun üzerinde bulunmuş ve bu değerler de 0,93 den 2,9 m/gün olarak verilerin alındığı çalışmada belirlenmiştir (Marahatta,2004). Verilerin alındığı modelde biyofilm kalınlığı dinamik olarak 8µm ve 211 µm arasında değişmiş ve hidrolik iletkenlik de %85 azalma görmüşlerdir. Yatak eğimi katı depozisyonu yüzünden 0,04 m artmış ve porozite, biyolojik yumaklaşma yüzünden 0,26'dan 0,16'ya kadar düşmüştür. Model çalışmasında KOİ_{giriş}, KOİ_{çıkış}, Toplam Katı_{giriş}, Toplam Katı Madde_{çıkış}, Uçucu Askıda Katı Madde_{giriş}, Uçucu Askıda Katı Madde_{çıkış} ve Sıcaklık parametreleri kullanılmıştır.

4.1.1. Marahatta (2004)'nın Çalışması

4.1.1.1. Sistemin Fiziksel Tasarımı

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sistemi Nebraska'da bir çiftlik için kurulmuştur. Sistemin arıtma performansı, septik tank girişini ve sıcaklık davranışlarını içermektedir. Sistem 14 m uzunluğunda ve 4 m genişliğindedir. 0,75 m olan derinliğin arıtma kısmı için 0,65 lik bir derinliği kullanılmaktadır. Düzenegin

duvar kalınlığı 0,45 mm PVC den oluşmaktadır. düzenegin iç malzemesinin en alt katmanını (0,5 m) küçük çakıl taşları ve ondan sonraki katmanı ise (0,15 m) küçük çakıl taşları ve mucur içermektedir. Glunz (1998) yaptığı çalışmada en etkili çapın mucur ve küçük çakıl taşları için sırasıyla 1,5 mm ve 5 mm olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte zemini küçük çakıl taşından oluşan yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanların işletme derinliğinin 0,45 cm olması yeterlidir. Bu çalışmada kullanılan malzeme çapı 5 mmolarak alınmıştır. Yatak eğimi 0 ile 0,005 arasındadır ve ortalama eğim 0,0025 olarak belirtilmiştir. Sistem 1998 yılından 2003 yılının ortalarına kadar işletilmiştir. Sistemin dizayn parametreleri çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Genel bir sulak alanın elementleri

Çizelge 4.1. Sistemin dizayn parametreleri (Marahatta,2004)

Dizayn kapasitesi	2,27 m ³ / gün
Arıtma hücre boyutları	4m * 14m
En- boy oranı	3,5:1
Ortam derinliği, m	0,65 m
Hidrolik yükleme oranı	4,1 cm/gün
Hidrolik bekletme zamanı	6 gün

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sisteminde iki çeşit su bitkisi kullanılmıştır sistemin giriş kısmı yarısına kadar su kamışı (*Typha spp.*) ile ve sonraki kısım ise genel olarak bulunan sazlıklarla (*Phragmites spp.*) kaplanmıştır. Bitki yoğunluğu

metrekareye üç sukamışı ve metrekareye 10 sazlık olacak biçimde yerleştirilmiştir. Sistemdeki sıcaklık ölçümleri 48 farklı noktadan yapılmıştır.

4.1.1.2. Veri toplama çalışması

Sistemin işletilmeye alınmasından iki ay sonra KOİ, BOİ, toplam KOİ, katı madde, nitrat, amonyak, fosfor konsantrasyonları haftada iki kere ölçülmeye başlanmıştır. Çalışmada ayrıca bu parametreler ölçülürken çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık parametreleri de ölçülmüştür. Parametreler standart metodlara uygun olarak ölçülmüştür ve bu aşağıdaki tabloda belirtilmektedir.

Çizelge 4.2. Kullanılan standart test metodları(Marahatta, 2004)

Parametre	Analitik metod	Referans
KBOİ5	Standart Yöntem (5210B)	Standart Yöntemler (5210B)1998
KOİ	EPA ya uyumlu olarak Accu-Test metodu 410.4	USEPA, 1979
Katılar	Gravimetrik metod (2540)	Standart Yöntemler (2540)1998
NO3-N	Spektrofotometreyle kadmiyum redüksiyon metodu (5210D)	Standart Yöntemler (4500D)1998
NH4-N	Akım enjeksiyon analizörüyle fenolat metodu (5210B)	Standart Yöntemler (4500F)1998
Toplam fosfor	Spektrofotometreyle absorbtik asit metodu (EPA Method 365.3)	USEPA, 1979
PO4	Spektrofotometreyle absorbtik asit metodu (EPA Method 365.3)	USEPA, 1979
Sıcaklık	Standart sıcaklık probu	
pH	Standart pH probu	
Çözünmüş oksijen	Standart ÇO probu	

4.1.1.3. Atıksu karakterizasyonu

Çizelge 4.3. Septik tank çıkışı reaktör girişi atıksu karakteristikleri(Marahatta, 2004)

Parametre	Septik çıkışı (reaktör girişi)			Evsel atıksu sınıflandırması (Metcalf ve Eddy, 1995)		
	Min.	Maks.	Ort.	Min.	Maks.	Ort.
BOİ ₅ , mg/L	114	343	197	110	400	220
KOİ, mg/L	131	798	326	250	1000	500
TAKM, mg/L	238	1594	665	100	350	220
AKM, mg/L	24	838	129	20	75	55
UAKM, mg/L	14	424	68	80	275	165
Amonyak azotu, mg/L	7	37	18	12	50	25
Nitrat azotu, mg/L	0,01	0,6	0,25	0	0	0
Toplam fosfor, mg/L	5,8	15	8,9	4	15	8
Organik PO ₄ , mg/L	0,9	10,3	4,6	1	5	3
pH	5,4	7,7	6,9			
Sıcaklık, °C	9	30	19,7			
Çözünmüş oksijen, mg/L	0,0	2,9	0,4			
Koliform, MPN/100 ml	2*10 ⁵	1,3*10 ⁷	3,3*10 ⁶	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ⁸

Burada ifade edilen min., maks. ve ort. değerler, 1998- 2003 yılları arasında temin edilen tüm veriler için hesaplanmıştır. Modelleme çalışmasında eğitim verisi için 68 test verisi için 30 adet veri kullanılmıştır.

4.1.1.4. Modelleme çalışması

Marahatta (2004)'nın yaptığı çalışmada model oluşturmak için MATLAB modelleme programı kullanılmıştır. Model oluşturulurken dosyalar m-files biçimine dönüştürülmüştür. Bu tür dosyaların iki farklı biçimi vardır. Bunlardan birincisi komut dosyasıdır. İkincisi ise fonksiyon dosyalarıdır. Komut dosyalarının görevi giriş ve çıkış parametrelerindeki çeşitliliği sağlamak ve model oluşurken hesaplama performansını belirlemektir ve diğer fonksiyon dosyalarını oluşturmaktır. Model

kodlarının, sistemin fiziksel açıklamasını bir metin dosyasından aldığı ve bu metin dosyasının bağlantıları sayesinde sistemi çeşitli isimlere dönüştürerek modelde kullandığı belirtilmiştir. Kodlama sistemi reaktörün uzunluğunu, genişliğini, yatak eğimini, ortamın etkin olan kısmını, çıkışta önceden tanımlanan sınırı okuması için ayarlanmıştır. Modelde KOİgiriş, KOİçıkış, TKMgiriş, TKMçıkış, UAKMgiriş, UAKMçıkış, yüzeyaltı su sıcaklığı, terleme, buharlaşma, giriş akım oranı kullanılmıştır. Kodlama 26 farklı çıktı dosyası içermiştir ve bu dosyaların hidrolik iletkenlik, porozite, konsantrasyonlar, biyofilm kalınlığı, katı depozisyonunun derinliğini ve çıkış konsantrasyonlarındaki mutlak hatayı kapsadığı belirtilmiştir. Model oluşturulurken sistemin fonksiyon dosyası ile oluşturulduğu ve komut dosyası ile tamamen tamamlandığı belirtilmiştir.

4.1.2. Yeni Modelleme Yaklaşımı (Mevcut Model)

Marahatta (2004)'nın çalışmasında izlenen modelleme yaklaşımına karşılık bu çalışmada bir ANN modeli geliştirilmiş ve her iki çalışmanın sonuçları çoklu doğrusal regresyon (MLR) sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.2. Metod

4.2.1. YSA Model Çalışmaları

Maier ve Dandy (2000), YSA model oluşumunda bazı önemli basamaklar belirlemiştir ve bu basamakları aşağıdaki gibi vermişlerdir:

- Veri ön-işleme
- Yeterli ve gerekli model girdilerinin belirlenmesi
- Uygun model yapısı
- Eğitim ve sınama

Bu tez çalışması da yukarıda verilen basamaklar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Uzun incelemeler sonucunda uygun olmayan verilerin gruptan çıkarılması ile elde edilen yeni bir veri grubu oluşturularak daha sonra modelde

kullanılacak olan veri grubu oluşturulmuştur. Fazla sayıda değişken elimizde olduğu için uygun kombinasyonun arandığı birden fazla model çalışması gerçekleştirilmiştir ve elde edilen model sonuçları incelenerek bu veri grubu üzerinde en uygun modelin oluşturulması amaçlanmıştır. Model kurulumunda takip edilen tüm basamaklar ayrıntılı bir şekilde aşağıda tartışılmıştır.

4.2.2. Veri Analizi

Model çalışmasında kullanılacak olan verilerin uygunluğu modelin oluşturulmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenden dolayı bir model çalışmasında dataların, modelde kullanılmasından önce uygunluklarının test edilmesi çok önemlidir. Model oluşturulurken kullanılan verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmeleri yapılmış ve modelde kullanılacak verilerin belirlenmesine çalışılmıştır ve bunun sonucunda model oluşturulmasında uygun olmayan dataalar, veri setinden çıkartılmıştır. İlk etapta mevcut bulunan veriler, içerisinde bulunan, uygun olmayan değerlerin belirlenmesi amacı ile analiz edilmiştir. Uygun olmayan verilerin belirlenmesi dâhilinde o verilerin tamamı gruptan çıkartılmıştır. Yapılan bu işlem sonucu çıkarılan verilerin modellemede kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek için tüm veriler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çıkarılan verilerin modelde kullanılmama nedeni ise sistemde çok uç sonuçlar vermiş olmalarıdır. Bu verilerin çıkarılması durumunda sistem performansında değişiklikler olabileceği ihtimali de göz önünde bulundurulmuştur.

4.2.3. Veri Ön Çalışması

Kullanılan veri grubuna model kurulumundan önce farklı ön çalışmalar uygulanmıştır. Maier and Dandy (2000) parametreler arasında bulunan ilişkilerin belirlenmesi amacıyla, zamana bağlı olarak çizilen grafiklerin kullanılmasının uygun olduğunu söylemektedirler. Bu durumda kullanılacak olan veri grubunun parametreleri arası korelasyon değerleri hesaplanmıştır ve özellikle bu çalışmada hedef grubu olarak seçilen KOİ çıkış suyu değeri anlamlılık seviyesinin diğer

parametreler olan giriş suyu sıcaklık, KOİ ve UAKM cinsinden oluşan organik yüklemeler ile arasında bir bağ olduğu gözlemlenmiştir ve gene bilindiği üzere KOİ çıkış değeri belirleyici parametre olarak kullanılmaktadır. Veri ön çalışmasının bu noktadaki gayesi, değişken durumdaki parametrelerin genel davranışını ve dağılımını daha iyi görmek ve varsa hatalı ya da beklenenden farklı özellikler taşıyan verilerin bulunduğu veri setindeki değerlere, model çalışması öncesi müdahale edebilmektir. Veri grubu analizinde uygulanan bir diğer işlem ise normalizasyon işlemidir. Normalizasyon ise bütün değişken verilerin değerlerinin büyüklüklerine bakmadan model eğitme aşaması üzerinde bu verilerin eşit etkiye sahip olmasını sağlayan bir işlemdir (Maier and Dandy, 2000). Nodlarda gerçekleşen ve nodlarda tanımlı transfer fonksiyonları ile belirlenen işlemler basit aritmetik işlemlerdir. Her bir nodun çıktısı olarak elde edilen ve model yapısında bir sonraki katmanda bulunan nodların giriş değeri olarak kullanılan bu işlemler basit aritmetik hesaplar sonucunda elde edilmiştir. Parametrelerin model üstündeki etkileri ancak model eğitimi sonucunda elde edilen nodlar arası bağlantı değerleriyle belirlenmektedir. Normalizasyon aralığı nodlarda kullanılan transfer fonksiyonlarına göre belirlenmelidir. Örneğin, “logistic” fonksiyonunun çıktı aralığının $[0,1]$ olmasından dolayı veriler bu aralığa normalize edilmektedir (Maier and Dandy, 2000). “tanh” transfer fonksiyonu ise $[-1,1]$ aralığını desteklemektedir.

4.2.4. Model Girdilerinin Belirlenmesi

YSA model çalışmasında, model yapısı ile ilgili iki temel soruya yanıt bulunması gerekmektedir:

- i) Modelde giriş parametresi olarak kullanılacak ilgili veriler nelerdir?
- ii) Saklı katmanın boyutları ne olmalıdır? (Boger ve Weber, 2000)

Model oluşturmada kullanılan parametrelerin seçiminde ilk kriter çıkış suyu KOİ değerinin diğer işletme parametreleri ile olan ilişkisine bakılmıştır. Bu amaçla eldeki tüm giriş atıksu değişkenleri kullanılmış ve uygun parametreler seçilmiştir. İlgisiz olabilecek verilerin kullanımı, modeldeki öğrenmeyi zorlaştırarak hata fonksiyonunu arttırmaktadır. Bu yüzden yanlış sonuc düşük model performansına

neden olmaktadır. Benzer sonuçlar veren daha basit modellerle çalışmak karmaşık modellere göre daha kolaydır. Bunun yanında, model hedefine göre ilgisiz verilerin kullanılması, girdi-çıkı ilişkisini kurmaya çalışan sistemin gereksiz ve kullanılamaz ilişkiler kurmasına neden olacaktır. Bu yüzden, eldeki veri setinden çıkarılabilecek bilgilerle, herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın, amaçlanan hedefe en küçük yapıyla ulaşmak model giriş parametrelerinin belirlenmesinde birincil etkidir (Bowden ve diğ., 2005a) Maier ve Dandy (2000), küçük model yapılarının avantajlarını ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi özetlemiştir:

Avantajlar:

- Daha iyi genelleme becerisi (Castellano ve diğ., 1997)
- Daha küçük depolama ve çalışma alanı gereksinimleri,
- Daha hızlı sonuç elde etme,
- Kullanımının daha kolay ve ekonomik olması (donanım üzerine uygulanması) (Bebis ve Georgiopoulos, 1994),
- Kural çıkarımının daha kolay yapılabilmesidir (Towell ve diğ., 1991).

Dezavantajlar:

- Hata yüzeyinin daha karmaşık ve yerel minima sayısının daha fazla olması,
- Evrensel minimaya ulaşmak için daha fazla sayıda ağırlık güncellemesinin gerekmesidir.

Maier ve Dandy (2000), en basit ağ yapısından başlanarak teker teker giriş parametrelerinin denendiği, eklenmesi model performansına ekstra bir iyileşme katmayan parametrelerin devre dışı bırakıldığı bir yöntem önermektedir. Ancak Masters (1993), tek başına bir etkisi olmadığı halde toplu olarak model performansına etki edebilecek parametreler olabileceğini belirtmektedir. Bowden ve diğ. (2005a), yöntemi tersinden işletmenin de mümkün olduğunu söylemektedir. Mümkün olan en büyük ağ yapısı ile başlanarak model performansı üzerinde etkisiz olan elemanlar veri setinden çıkarılmaktadır. Saklı katman ve katmanlarda bulunacak nöron sayısının belirlenmesi giriş katmanında bulunacak nöron sayısının belirlenmesinden uzun zaman alan ve daha zor bir işlemdir. Tek saklı katmanlı ağlar herhangi bir fonksiyonu tanımlayabilmek için genellikle yeterli olmaktadır (Häck ve Köhne, 1996). Ancak, bazı karışık problemler için iki saklı katman uygulamaları da

başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak yine de her problem için optimum ağ yapısının araştırılması gerekmektedir (Maier ve Dandy, 2000). Saklı katmandaki nöron sayısının fazlalığı ise aşırı eğitim (over-fitting) tehlikesine yol açmaktadır (Boger ve Weber, 2000). Saklı katman nöron sayısı ne kadar fazla olur ise model yapısındaki toplam bağlantı sayısı da o kadar fazla olacaktır. Temel bir kural olarak eğitimde kullanılan kalıp sayısının toplam bağlantı sayısından daha fazla olması gerekmektedir (Rogers ve Dowl, 1994). Ağda bulunan giriş ve çıkış nöronları modelin giriş ve çıkış değişkenleri ile tanımlı olduğundan, bu kriter saklı katman sayısı ve katmanlarda bulunabilecek nöron sayısı hakkında yardımcı olmaktadır. Bazı çalışmalarda bu oranın 2'ye 1 (Masters, 1993) ve hatta 10'a 1 olması (Weigend ve diğ., 1990) önerilmiştir. Amari ve diğ. (1997) ise bu oranın 30 olduğu durumlarda aşırı öğrenmenin olmadığını öne sürmektedir. Tüm bu öneriler hala tartışılmaktadır.

4.2.5. Eğitim ve Sınama

Yapay sinir ağlarında model oluştururken temel amaç hata payını en aza indirmektir. Buna rağmen hata payının en düşük olduğu değer modelin başarılı çalıştığı anlamına gelmemektedir. Bir ağın başarılı olduğunu kabul etmek için o ağın genelleme yeteneğine dikkat etmek gerekmektedir. Bir yapay sinir ağı modelinin genelleme yeteneği ise, eğitim veri grubu büyüklüğünün, bağlantı (link) sayısına oranının bir fonksiyonudur. Bu oranın düşük olması halinde ise devam ettirilen eğitime işlemi genelleme yeteneğinin ya hiç oluşmamasına ya da kaybedilmesine neden olacaktır. Veri setinde uygun olmayan veri bulunması durumunda modelin genelleme yeteneği daha da kötüleşecektir (Maier ve Dandy, 2000). Uygun olmayan veri grubu, herhangi bir kaynaktan elde edilen bilgiyi bozan, özelliğini kaybettiren ya da olumsuzlaştıran etken olarak tanımlanabilir. Veri grubuna dayalı tüm sistemlerde, sistemden elde edilen veri ya da bilgiler telekomünikasyon alanında olduğu gibi bir sisteme benzetecek olursak sistemden elde edilen sinyaller olarak değerlendirilebilir. Bu sistemlerden gelen sinyaldeki rastlantısal değişiklikler de uygun olmayan veri tanımına girmektedir. Uygun olmayan data, bilinen ya da tahmin edilemeyen (açıklanamayan) kaynaklardan gelebilir. Arıtma tesislerinden elde edilen

verilerde, ölçüm yapılan herhangi bir sistemde rastlanabilecek uygunsuzluk kaynaklarının (ölçüm cihazlarından kaynaklanan belirsizlikler ”uncertainty”, deney hataları, ölçüm hataları, vb.) yanı sıra arıtma tesislerinin dinamik yapısından kaynaklanan uygunsuzluklar da etkili olmaktadır. Örneğin, model çalışmalarında kullanılan günlük verilerden oluşan veri seti, tesisin ilgili gündeki durumunu özetleyen bir tablo ortaya koymaktadır.

Eğitim ve sınama süreci çok aşamalı bir sistemdir. Modelin çalışabilmesi ve değerlerin atanması ve ayrıca sistemin işlemesi için birçok aşamadan geçmesi gerekmektedir. Bu parametrelerden en temel olanları aşağıda gösterilmiştir.

Öğrenme fonksiyonu: Modelin hangi fonksiyonlarla çalışacağını gösterir. Model amacına göre belli başlı öğrenme fonksiyonları ile çalışılabilir. Maier ve diğ., 1998 yılındaki çalışmalarında, tahmin ve değer kestirme amaçlı geliştirilen YSA için geri beslemeli ağların daha uygun bir öğrenme fonksiyonu olduğunu belirtmektedir (NeuralWare, 1991).

Öğrenme fonksiyonu değişkenleri: bu değişkenler her fonksiyonda kendine özgüdür.

Döngü sayısı: Eğitim sırasında sistemin programa kaç defa okutulacağını gösteren sayıdır. Döngü sayısı (epoch) oldukça önemli bir sayıdır çünkü bu sayı öğrenmenin gerçekleşebileceği kadar fazla aşırı öğrenmenin olmayacağı kadar az olmalıdır. Çünkü eğer epoch sayısı fazla ise aşırı öğrenme gerçekleşir ve hatalı bir model kurulumu ortaya çıkar bu durumda ortalama karesel hataya ve korelasyona bakılması gerekmektedir.

Sınama verisi sorgu döngüsü: Sınama verisinin ne kadar sıklıkla (kaç çevrimde bir) ağa sunulacağına karar verilir.

Transfer fonksiyonu: Her bir katmanda bulunan nöronların, kendilerine gelen girdilere hangi dönüşümü uygulayacağına karar verdiği fonksiyonlardır. Saklı katmanlar için doğrusal olmayan, çıkış katmanı için ise genellikle doğrusal fonksiyonlar tercih edilmektedir. Bu kombinasyon, model veri seti sınırları dışında test edilse dahi başarılı bir performans sergilemektedir (Maier ve Dandy, 2000).

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Atıksu Karakteri

Çıkış suyu KOİ değerinin YSA modelinin hedefi olarak belirlenmesinin belli başlı sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- KOİ, atıksularda organik madde miktarı belirleyicilerinden biridir.
- Arıtma tesislerinde günlük olarak takip edilen bir parametredir.
- Arıtma işleminin her aşaması için önemli bir bilgi kaynağıdır.
- Arıtma tesislerinde çıkış suyu kalitesi açısından yasa gereği takip edilmesi gerekmektedir.
- Ölçümü, laboratuvarda konvansiyonel yöntemle ya da özel kitlerle yapılmaktadır.
- Diğer organik madde belirteçleri gibi (örneğin, BOİ) ölçümü uzun zaman almamakta (yaklaşık 2 saat) ancak belirlenmesi emek, zaman ve maliyet gerektirmektedir.

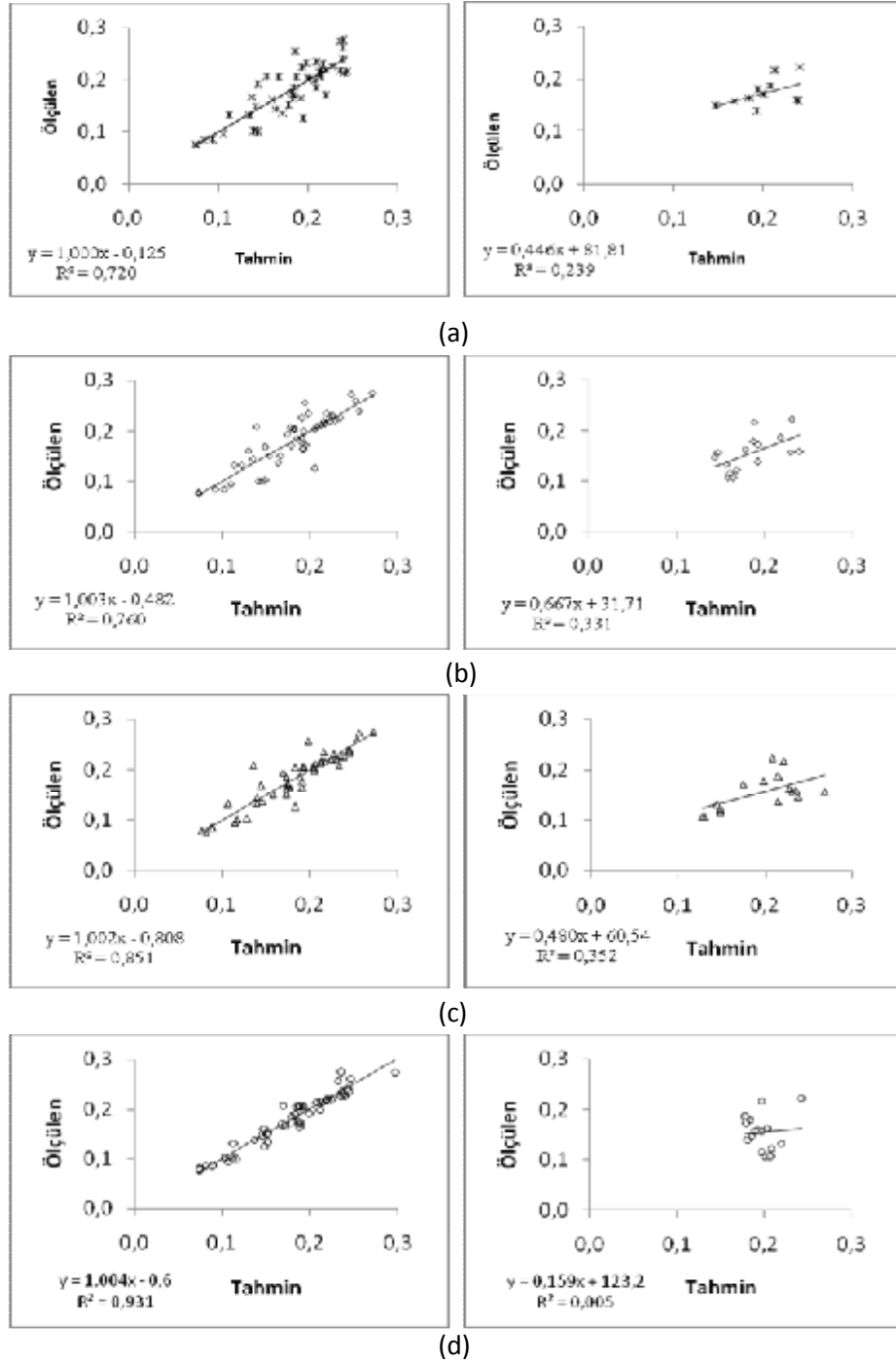
KOİ, BOİ₅, TKM, UAKM, Sıcaklık parametrelerine bakıldığında ve Metcalf ve Eddy (1995)' in belirttiği kirlilik sınıfları ile karşılaştırıldığında bu parametrelerin orta derecede kirli bir evsel atık su karakterinde olduğu belirtilmiştir.

5.2. Modelleme Performansı

Çizelge 5.1' de her bir model oluşumunun girdi ve çıktı parametreleri ile bu model oluşumları sonucunda modellerin sırası ile ortalama karesel hataları ve R^2 değerleri verilmektedir. Bu modellerin R^2 değerlerine bakıldığı zaman en iyi model oluşumunun 4 girdi-1 çıktı parametresi ile oluşturulan 11 no'lu model olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir modelin eğitme ve test verilerinin minimum ve maksimum değerleri EK 6-17' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Modellerin girdi- çıktı değerleri ve model oluşumları

Model No	GİRDİ	ÇIKTI	ORTALAMA MUTLAK GÖRECELİ HATA	R ²
1	KOİ _{giriş}	KOİ _{çıkış}	13,06	0,719
2	KOİ _{giriş}	TKM _{çıkış}	25,31	0,145
3	KOİ _{giriş}	UAKM _{çıkış}	32,18	0,256
4	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş}	KOİ _{çıkış}	12,27	0,758
5	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş}	TKM _{çıkış}	6,56	0,925
6	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş}	UAKM _{çıkış}	43,18	0,399
7	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş}	KOİ _{çıkış}	8,85	0,850
8	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş}	TKM _{çıkış}	4,82	0,964
9	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş}	UAKM _{çıkış}	20,14	0,784
10	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş} , sıcaklık	KOİ _{çıkış}	6,11	0,931
11	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş} , sıcaklık	TKM _{çıkış}	2,88	0,988
12	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş} , sıcaklık	UAKM _{çıkış}	9,65	0,974

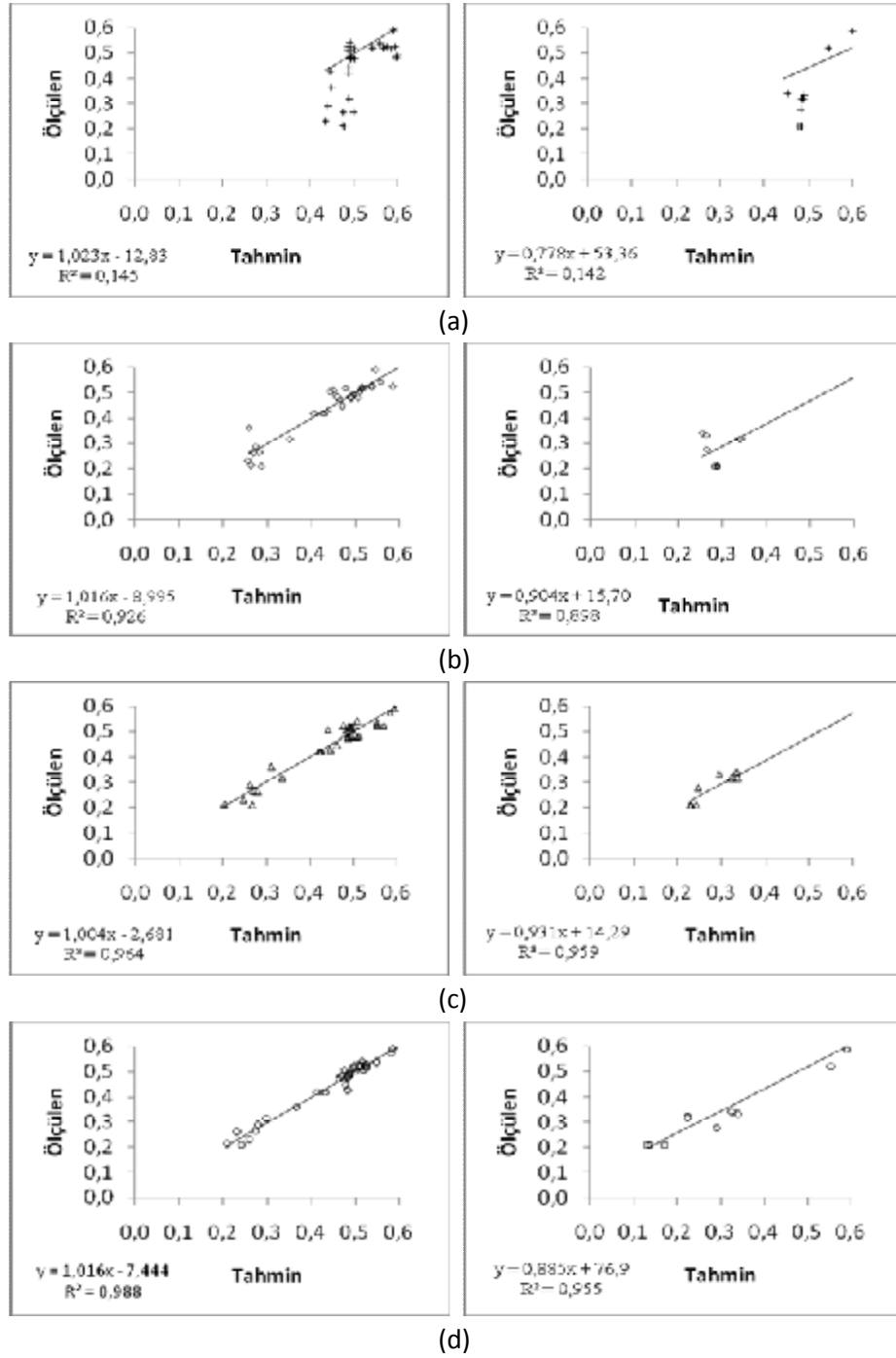


Şekil 5.1. Sırası ile 1-2-3-4 girdi, 1 çıktı (KOİçıkış) parametrelerinin eğitime ve test grafikleri

Şekil 5.1.a,b,c,d'de belirtilen grafiklerde, (a):1 girdi (KOİ_{giriş})- 1 çıktı (KOİ_{çıkış}) eğitime ve test grafiklerini, (b): 2 girdi (KOİ_{giriş}, TKM_{giriş})- 1 çıktı (KOİ_{çıkış}) eğitime ve test grafiklerini, (c): 3 girdi (KOİ_{giriş}, TKM_{giriş}, UAKM_{giriş})- 1 çıktı

($KOI_{\text{çıkış}}$) eğitme ve test grafiklerini, (d): 4 girdi ($KOI_{\text{giriş}}$, $TKM_{\text{giriş}}$, $UAKM_{\text{giriş}}$, Sıcaklık)- 1 çıktı ($KOI_{\text{çıkış}}$) eğitme ve test grafiklerini ifade etmektedir. Sağ kısımdakiler eğitme grafiklerini, sol kısımdakiler ise test grafiklerini ifade etmektedir. Şekil 5.1.a' da R^2 değerlerinin düşük olduğu belirtilmektedir. Bilindiği üzere R^2 değeri 1'e ne kadar yakın ise model performansı o kadar iyidir. 1 girdi- 1 çıktı parametresi ile oluşturulan modelin R^2 değerinin 0,720 olduğu ve iyi bir performansa sahip olmadığı görülmektedir. (b) grafiklerinde de R^2 değerinin düşük olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak 2 girdi- 1 çıktı parametresi ile oluşturulan modelin R^2 değeri ise 0,760 tır ve bu modelin de iyi bir performansa sahip olmadığı görülmektedir. (c) grafiklerinde de, R^2 değerinin düşük olduğu görülmektedir. Fakat bu grafiklerdeki R^2 değerinin (0,851) (a) ve (b) grafiklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. (d) grafiklerinde R^2 değerlerinin düşük değerler olduğu görülmektedir. Fakat bu grafiklerdeki R^2 değerlerinin (a), (b) ve (c) grafiklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Eğitimde elde edilen R^2 değerlerinin test verilerine nispeten oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak , eğitimde teste göre çok daha fazla verinin kullanılması verilebilir. Diğer taraftan, eğitim aşamasında çevrim sayısının fazla olması modelin genelleme özelliğini kaybedip ezberleme özelliği kazanmasına neden olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, test verileri için düşük R^2 değerleri elde edilebilmektedir. Bunu engellemek için optimum çevrim sayısı kullanılmaktadır.

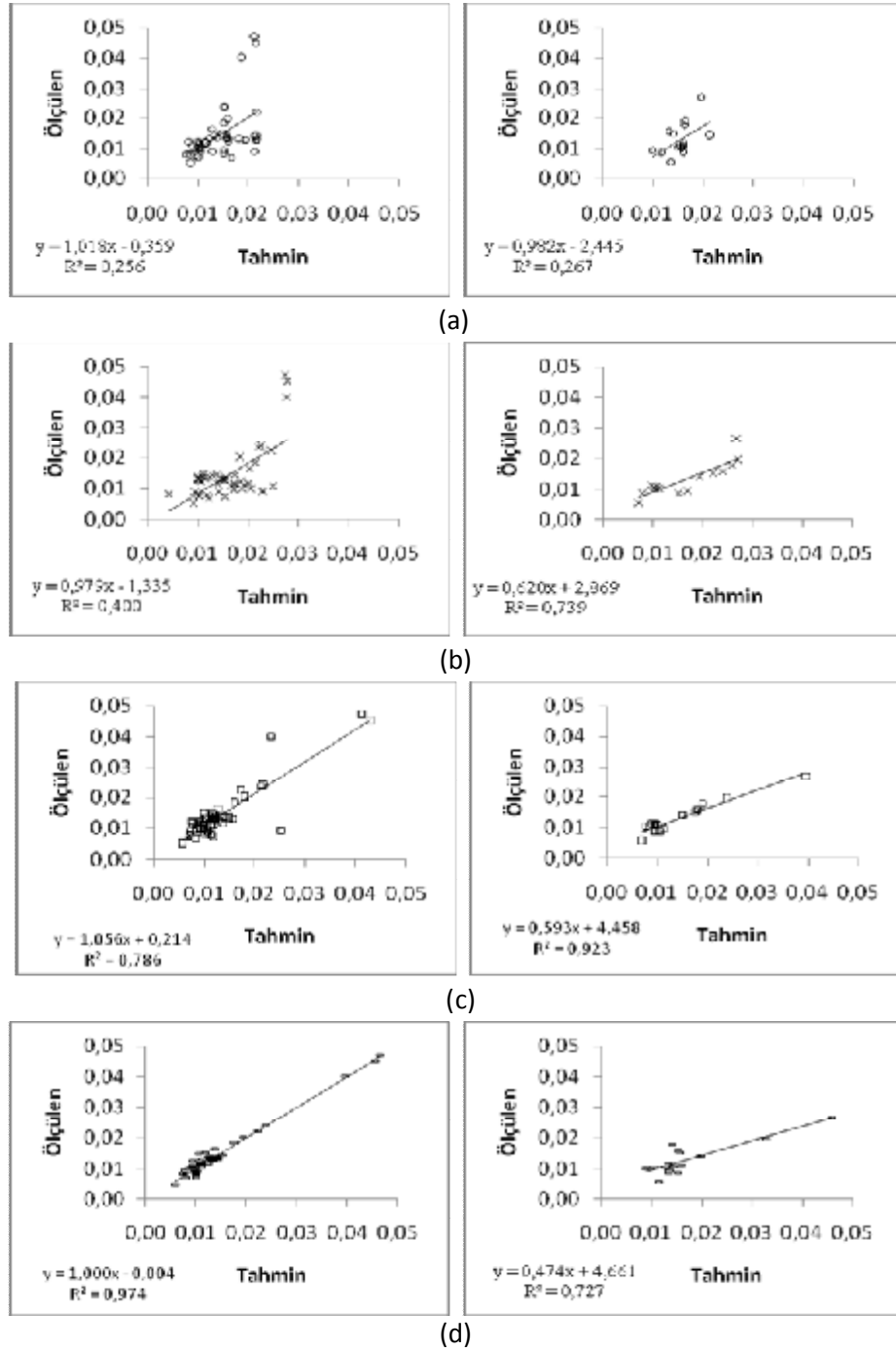


Şekil 5.2. Sırası ile 1-2-3-4 input,1 output (TKM_{çıkış}) parametrelerinin eğitme ve test grafikleri

Şekil 5.2. a,b,c,d'de belirtilen grafiklerde, (a):1 girdi (KOİ_{giriş})- 1 çıktı (TKM_{çıkış}) eğitme ve test grafiklerini, (b): 2 girdi (KOİ_{giriş}, TKM_{giriş})- 1 çıktı (TKM_{çıkış}) eğitme ve test grafiklerini, (c): 3 girdi (KOİ_{giriş}, TKM_{giriş}, UAKM_{giriş})- 1 çıktı (TKM_{çıkış}) eğitme ve test grafiklerini, (d): 4 girdi (KOİ_{giriş}, TKM_{giriş}, UAKM_{giriş},

Sıcaklık)- 1 çıktı ($TKM_{\text{çıkış}}$) eğitme ve test grafiklerini ifade etmektedir. Şekildeki (Şekil 5.2 a,b,c,d) (a) grafiklerinde, R^2 değeri oldukça düşüktür. 1 girdi- 1 çıktı parametresi ile oluşturulan modelin iyi bir performansa sahip olmadığı görülmektedir. (b) grafiklerinde de, R^2 değerinin(0,926) düşük olduğu görülmektedir. (c) grafiklerinde de, 3 girdi- 1 çıktı parametresi ile oluşturulan modelin de iyi bir performansa sahip olmadığını görülmektedir. Fakat bu modeldeki R^2 değerinin (a) ve (b) grafiklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. (d) grafiklerinde ise, R^2 değerinin 0,988 olduğu görülmektedir, bu grafiklerdeki R^2 değeri (a) ve (b) ve (c) grafiklerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu aşamada , gerek eğitim gerekse test için elde edilen R^2 değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu ve dolayısıyla elde edilen modellerin ezberleme yapmadığı görülmektedir.



Şekil 5.3. Sırası ile 1-2-3-4 input, 1 output (UAKMçıkış) parametrelerinin eğitme ve test grafikleri

Şekil 5.3 a,b,c,d'de belirtilen grafiklerde, (a):1 girdi ($KOI_{giriş}$)- 1 çıktı ($UAKM_{çıkış}$) eğitme ve test grafiklerini, (b): 2 girdi ($KOI_{giriş}$, $TKM_{giriş}$)- 1 çıktı ($UAKM_{çıkış}$) eğitme ve test grafiklerini, (c): 3 girdi ($KOI_{giriş}$, $TKM_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$)- 1 çıktı ($UAKM_{çıkış}$) eğitme ve test grafiklerini, (d): 4 girdi ($KOI_{giriş}$, $TKM_{giriş}$,

UAKM_{giriş}, Sıcaklık)- 1 çıktı (UAKM_{çıkış}) eğitme ve test grafiklerini ifade etmektedir. Şekildeki (Şekil 5.3 a,b,c,d) (a) grafiklerinde, eğitmede R^2 değerinin düşük olduğu görülmektedir. Bilindiği üzere R^2 değeri 1'e ne kadar yakın ise model performansı daha iyidir. 1 girdi- 1 çıktı parametresi ile oluşturulan model iyi bir performansa sahip değildir. (b) grafiklerinde de eğitmede R^2 değerinin düşük olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak 2 girdi- 1 çıktı parametresi ile oluşturulan modelin de iyi bir performansa sahip olmadığını görülmektedir. (c) grafiklerinde de, eğitmede R^2 değerinin düşük olduğu görülmektedir. Fakat bu modeldeki R^2 değeri (a) ve (b) grafiklerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. (d) grafiklerinde belirtilen modelin R^2 değeri ise 0,974'tür ve bu grafiklerdeki R^2 değeri (a) ve (b) ve (c) grafiklerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 5.2'de 1-2-3-4 girdi, 1 çıktı parametresi(KOİ_{çıkış}) ile oluşturulan modellerin R^2 değerlerinde girdi parametre sayısı arttıkça model performansının daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 5.2'deki modellerde R^2 değeri 0,931 olan modelin iyi performans sergilemesinin nedeninin 4. Girdi parametresi olarak modelde kullanılan sıcaklık parametresi olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin ise sıcaklık parametresinin organik maddenin bir ölçüsü olan KOİ parametresi ile doğrudan ilişkisi olduğudur. UAKM_{giriş} parametresinin modele eklenmesi R^2 değerinde yaklaşık olarak %4 ' lük bir iyileşmeye neden olmuştur ve bu önemli bir artış değildir.

Çizelge 5.2. Sırası ile 1-2-3-4 girdi parametreleri ve 1 çıktı (KOİ_{çıkış}) parametresi ile YSA modelleri

Model No	GİRDİ	ÇIKTI	ORTALAMA MUTLAK GÖRECELİ HATA	R^2
1	KOİ _{giriş}	KOİ _{çıkış}	13,06	0,719
2	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş}	KOİ _{çıkış}	12,27	0,758
3	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş}	KOİ _{çıkış}	8,85	0,850
4	KOİ _{giriş} , UAKM _{giriş} , TKM _{giriş} , sıcaklık	KOİ _{çıkış}	6,11	0,931

Çizelge 5.3’de belirtilen modellerde ise 1 no’lu modelin R^2 değerinin düşük olmasının nedeni modelin ezberleme yapmış olabileceğinin düşünülmesidir bu durumda modelin iyi performans göstermediği ortaya çıkmıştır. Çizelge 5.3’deki modellerden 4 no’lu model performansının diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bunun nedeni ise modelde kullanılan parametre sayısının artmasıdır. $KOİ_{giriş}$ parametresi tek başına açıklayıcı görülmemektedir. Bunu nedeni kinetik olabileceği gibi modelin ezberlemesinde olabilir. Özellikle TKM ve UAKM’ nin R^2 değerini % 90 ’ ın üzerine çıkartması anlamlıdır. Zira biyolojik faaliyetler esmasında aktif mikroorganizmaların bir ölçüsü olan UAKM aynı zamanda TKM’ nin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Çizelge 5.3. Sırası ile 1-2-3-4 girdi parametreleri ve 1 çıktı ($TKM_{çıkış}$) parametresi ile YSA modelleri

Model No	GİRDİ	ÇIKTI	ORTALAMA MUTLAK GÖRECELİ HATA	R^2
1	$KOİ_{giriş}$	$TKM_{çıkış}$	25,31	0,145
2	$KOİ_{giriş}, UAKM_{giriş}$	$TKM_{çıkış}$	6,56	0,925
3	$KOİ_{giriş}, UAKM_{giriş}, TKM_{giriş}$	$TKM_{çıkış}$	4,82	0,964
4	$KOİ_{giriş}, UAKM_{giriş}, TKM_{giriş}, sıcaklık$	$TKM_{çıkış}$	2,88	0,988

Çizelge 5.4’de oluşturulan modellerin R^2 değerlerine bakacak olursak bu modellerden en iyi performans gösteren modelin 4 no’lu model olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise aynı çıktı parametresi ile oluşturulan modellerde girdi parametresinin artmasının model performansını olumlu yönde etkilemesidir. 4 no’lu modelin en iyi performans sergilemesinin nedenlerinden bir tanesi de model oluşturulurken sıcaklık parametresinin çıktı olarak belirlenen parametre ile ilişkili olmasıdır. Burada TKM ve Sıcaklık Parametreleri ön plana çıkmaktadır. Sıcaklık, biyolojik faaliyetleri ve hızlarını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Sıcaklık 4 nolu modelin performansını % 97 lere taşımıştır.

Çizelge 5.4. Sırası ile 1-2-3-4 girdi parametreleri ve 1 çıktı ($UAKM_{\text{çıkış}}$) parametresi ile YSA modelleri

Model No	GİRDİ	ÇIKTI	ORTALAMA MUTLAK GÖRECELİ HATA	R^2
1	$KOİ_{\text{giriş}}$	$UAKM_{\text{çıkış}}$	32,18	0,256
2	$KOİ_{\text{giriş}}, UAKM_{\text{giriş}}$	$UAKM_{\text{çıkış}}$	43,18	0,399
3	$KOİ_{\text{giriş}}, UAKM_{\text{giriş}}, TKM_{\text{giriş}}$	$UAKM_{\text{çıkış}}$	20,14	0,784
4	$KOİ_{\text{giriş}}, UAKM_{\text{giriş}}, TKM_{\text{giriş}}, \text{sıcaklık}$	$UAKM_{\text{çıkış}}$	9,65	0,974

Gerçekleştirilen bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Modelde kullanılan $KOİ$ parametresi dışındaki dataların seçilmesinin nedeni $KOİ$ ile ilişkili ve modelde hassaslık kapsamında olmasıdır.
- Modelde kullanılan dataların miktarı model oluşumu için aynı alınmıştır.
- Modeller oluşturulurken çıktı parametresi ile girdi parametreleri arasındaki ilişki belirlemiştir.
- En uygun modellerin belirlenmesi için modellerin R^2 değerlerine bakılmıştır ve $KOİ_{\text{çıkış}}$ parametresi için en uygun modelin R^2 değeri 0,931, $TKM_{\text{çıkış}}$ parametresi için R^2 değeri 0,988 ve $UAKM_{\text{çıkış}}$ parametresi için R^2 değeri 0,974 olarak bulunmuştur. Tüm model oluşumlarında en iyi performanslar 4 girdi parametresi ile elde edilmiştir. Bunun nedeninin ise modeller oluşturulurken girdi parametresi olarak kullanılan sıcaklık parametresinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Modeller oluşturulurken bazı modellerin R^2 değerleri çok düşük olarak bulunmuştur. Bunun nedeni oluşturulan modellerin genelleme özelliğinden çıkıp ezberleme özelliği kazanmış olmasıdır.
- Modelden elde edilebilecek en yüksek performans ancak model yapısının doğru kurulması, model girdilerinin doğru ve etkili bir şekilde belirlenmesi ve model değişkenlerinin sistemin kolay öğrenmesi ve hata fonksiyonunu minimize edecek şekilde seçilmesi ile sağlanabilmektedir.

- Model konfigürasyonundan bağımsız olarak, model değişkenleri içinde model performansına en önemli etkiyi, eğitim sürecinin uzunluğunu belirten çevrim sayısı yaratmaktadır.
- Çevrim sayısı arttıkça modelin eğitim başarısının arttığı görülmüştür. Ancak bu durum genel bir kural değildir, istisnalar da gözlenmiştir. Benzer topolijelere sahip iki ayrı modelde, çevrim sayısının arttırılmasıyla eğitim korelasyon değerinin düştüğü durumlar gözlenmiştir. Bunun nedenleri, kalıp dosyalarının ağa sunulmasında aynı sıranın izlenmiyor olması ya da hata fonksiyonunda evrensel minima arayışının her zaman aynı sonucu vermemesi olarak sıralanabilir. Ancak, yine de artan çevrim sayısının, eğitim korelasyonlarını arttırdığı genel bir kural olarak söylenebilir.
- Çevrim sayısının artması, mutlaka model performansının artmasını sağlamamaktadır. Model eğitiminin devam ettirilmesi, YSA'nın genelleme özelliğinden uzaklaşarak ezberleme özelliği geliştirmesine neden olmaktadır.
- Modeller oluşturulurken arazi ölçekli reaktörden verilerin seçilmesinin nedeni, laboratuvar ölçekli reaktörle arazi ölçekli reaktörlerin sonuçlarının farklı olması ve laboratuvar ölçekli reaktörlerin sonuçlarının doğruluğunun kontrol altında tutulabilir olması fakat arazi ölçekli reaktörde bunun gerçekleştirilememesidir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yukarıda değinilen bu sistem çerçevesinde Nebraska Üniversitesi'nde Ram Chandra Marahatta tarafından yüzey altı akışlı yapay sulak alanlarla organik ve inorganik madde gideriminin araştırılması sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır.

YSA kullanılarak oluşturulmuş farklı sayılarda girdisi ve tek çıktısı olan modelleme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- ✓ Çok sayıda verimin olması parametrelerin geniş aralıkta değişmesine rağmen iyi modelleme sonuçları elde edilmesini sağlamıştır.
- ✓ Tek girdinin başarılı model performansı göstermediği tespit edilmiştir.
- ✓ Birdan fazla model girdisi kullanıldığında model performansı %90' ların üzerine çıkarılabilmektedir.
- ✓ Marahatta (2004)' nın kullanmış olduğu girdi sayısına nazaran (yaklaşık 18), YSA ile maksimum 4 adet girdi ile %99' a varan 4 model performansı elde edilmiştir.
- ✓ YSA da dikkat edilmesi gereken husus, model kurulumunda çevrim sayısını yüksek tutmanın sebep olabildiği ezberleme ve bunun sonucu olarak modelin genelleme yeteneğinin olumsuz etkilenebilmesidir. Dolayısı ile çevrim sayısının optimize edilmesi gerekmektedir.
- ✓ En yüksek model performansları 4 girdi ile elde edilenlerdir. Buna göre $KOİ_{çıkış}$ için %93, $TKM_{çıkış}$ için %98,8, $UAKM_{çıkış}$ için %97 model performansları elde edilmiştir.
- ✓ YSA gibi modeller matematiksel olarak ve kinetik ilişkilerden bağımsız tahmin etme yeteneğine sahiptirler. Ancak, YSA model çıktılarının kinetik olarak da anlamlı hale getirilebilmesi açısından YSA model kurulumuna bazı model girdileri ve çıktıları için kinetik bağlantılar tanımlanarak "kara kutu" kavramının nispeten daha anlaşılır hale getirildiği çalışmalar yapılabilir.

7. REFERANSLAR

- AÇIKALIN, S., İLERİ, R., KELEŞ, R., Adapazarı Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Parametreleri ve Verim Değerlerinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi., Sakarya Üniversitesi, Muh. Fak., Cevre Muh Bolumu, Esentepe Kampusu, Sakarya.Adapazarı Su ve Kanalizasyon İdaresi (ADASU),GenelMudurluğu,Sakarya.<http://cevre.club.fatih.edu.tr/webyeni/konfreweb/konu15.pdf> (Erişim tarihi 21 Haziran 2010)
- AGUADO, D., RIBES, J., MONTOYA, T, FERRER, J., SECO A., 2008. A methodology for sequencing batch reactor identification with Artificial neural networks: A case study., 50. 46100 – Burjassot, Valencia, Spain., Computers and Chemical Engineering doi:10.1016/j.compchemeng.2008.10.018
- AGUILERA, P.A., FRENICH, A.G., TORRES, J.A., CASTRO, H., MARTINEZ V., J.L. and CANTON, M., 2001, Application of the kohonen neural network in coastal water management: methodological development for the assessment and prediction of water quality, Water Research, **35**(17), 4053-4062.
- ALEBOYEH, A., KASİRİ, M.B., OLYA M.E., ALEBOYEH H., 2007. Prediction of azo dye decolorization by UV/H₂O₂ using artificial neural Networks., Dyes and Pigments **77** (2008) 288e294
- ALP, M. H., CİĞİZOĞLU, K., 2005. Suspended Sediment Load Simulation By Two Artificial Neural Network Methods Using Hydrometeorological Data., Environmental Modelling & Software **22** (2007) 2e13
- AMARI, S.I., MURATA, N., MÜLLER, K.R., FINKE, M. and YANG, H.H., 1997, Asymptotic statistical theory of over-training and cross-validation, IEEE Transactions on Neural Networks, **8**(5), 985-996.
- ANIL, A., 2007. Çukurova Deltası Kıyı Alanında Arazi Örtüsü Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Uzaktan Algılama Yöntemlerinin Değerlendirilmesi., Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Yüksek Lisans Tezi 115 Sayfa.

- ARRANZ, A., BORDEL, S., VILLAVERDE, S., J.M. ZAMARREÑO, B. GUIEYSSE, R. MUÑOZ., 2007. Modeling photosynthetically oxygenated biodegradation processes using artificial neural Networks., *Journal of Hazardous Materials* **155** (2008) 51–57.
- BEBIS, G. and GEORGIPOULOS, M., 1994, Feed-forward neural networks: Why network size is so important, *IEEE Potentials*, October/November, **27**-31.
- BELANCHE, L.A., VALDES, J.J., COMAS, J., RODA, I.R. and POCH, M., 1999, Towards a model of input-output behaviour of wastewater treatment plants using soft computing techniques, *Environmental Modelling & Software*, **14**, 409-419.
- BOGER, Z. and WEBER, R., 2000 , Finding an optimal artificial artificial neural network topology in real life modeling - Two approaches, *Second International ICSC Symposium on Neural Computation* May 23 - 26., Article No. 1403/109
- BOWDEN, G.J., DANDY, G.C. and MAIER, H.R., 2005a, Input determination for Neural network models in water resources applications. Part I-Background and methodology, *Journal of Hydrology*, **301**, 75-92.
- CASTELLANO G., FANELLI A.M. and PELILLO M., 1997, An iterative pruning algorithm for feedforward neural networks, *IEEE Transactions on Neural Networks* **8**(3), 519-531.
- CHAPRA ,C.S.,1997.” *Surface Water –Quality Modeling*”, McGraw- Hill Companies, United States of America, 835p.
- CHAU, K.W, CHUNTIAN, C ve LI, C.W. 2002 “Knowledge management systems on fl ow and water quality modeling”, *Expert System with Application*, Vol. 22, pp. 321.
- CHOI, D. and PARK., H., 2001, A hybrid artificial neural network as a software sensor for optimal control of a wastewater treatment process, *Water Research*, **35**(16), 3959-3967.
- ÇEŞMECİ M., 2007. Çorum İlindeki Tavuk Çiftliklerinin Atıklarının Yeraltı Suyu Kirliliğine Ekisi ve Yapay Sinir Ağı Modellemesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.Yüksek Lisans Tezi.109 Sayfa

- ÇOBANER M ve ARK.,2006 Akarsularda Katı Madde Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini.,Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Insaat Müh. Bölümü, Adana. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **21**(1-2):229-235
- DANIELL, T.M. and WUNDKE, A.D., 1993, Neural networks - Assisting in water quality modelling, Preprints Watercomp, Australasian Conference on Computing for the Water Industry Today and Tomorrow, Melbourne, Australia, 51-57.
- DE SİLETS, L., GOLDEN, B., WANG, Q. and KUMAR, R., 1992, Predicting salinity in the Chesapeake Bay using backpropagation, Comput. Oper. Res., **19**(3/4), 277- 285.
- DELLANA SCOTT A., WEST D., 2008. Predictive modeling for wastewater applications: Linear and nonlinear approaches., Environmental Modelling & Software 24 (2009) 96–106
- EL-DİN, A.G. and SMİTH, D.W., 2002, A neural network model to predict the wastewater inflow incorporating rainfall events, Water Research, **36**, 1115-1126.
- ERDOĞAN M. A., 2007. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıya Habitat Modelleme: Akça Cılibit Populasyonu Örneği., Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı., Adana.,Yüksek Lisans Tezi.151 Sayfa
- ESTHER LLORENS, FR'ED'ERIK THIERY, GRİEU, S., POLİT, M., 2007. Evaluation of WWTP discharges into a Mediterranean river using KSOM neural networks and mass balance modelling., Chemical Engineering Journal **142** (2008) 135–146
- FAROUQ, S., MJALLI, S., AL-ASHEH, ALFADALA, H.E., 2006. Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance., Journal of Environmental Management **83**, 329–338
- FIRAT M, GÜNGÖR M.,2004. Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay SinirAğları ile Belirlenmesi., İMO Teknik Dergi, 2004 3267-3282, Yazı 219.

- GHOBADIAN B. , RAHIMI H., NIKBAKHT A.M., NAJAFI G., YUSAF T.F., 2009. Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable Energy*, **34**, 976–982.
- GOSWAMI, P. and SRIVIDYA, 1996, A novel neural network design for long range prediction of rainfall pattern, *Current Science*, **70**(6), 447-457.
- HACK, M., and KÖHNE, M., 1996, Estimation of wastewater process parameters Using neural networks, *Wat. Sci. Tech.*, **33**(1), 101-115.
- HAMODA, M. F., AL-GHUSAIN, I. A. and HASSAN A.H., 1999, Integrated wastewater treatment plant performance evaluation using artificial neural networks, *Wat. Sci. Tech.*, **40**(7), 55-65.
- HONGA, S., LEE, HUN., WOO, MIN., LEEDAE, SUNG., PARK, JONG MOON., 2007. Monitoring of sequencing batch reactor for nitrogen and phosphorus removal using neural Networks., *Biochemical Engineering Journal* **35** (2007) 365–370
- HUANG, M., YONGWEN, M., WAN, J., WANG, Y., 2008. Simulation of a paper mill wastewater treatment using a fuzzy neural network., *Expert Systems with Applications* doi:10.1016/j.eswa.
- KHANDAN, N.N., 2002.” Modeling Tools For Enviromental Engineers and Scientists” CRC Pres LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431.
- MACHO'N, I., LO'PEZ ,H., RODRI'GUEZ, J. -IGLESIAS, MARAN'ON E., VA'ZQUEZ I., 2006. Simulation of a coke wastewater nitrification process Using a feed-forward neuronal net., *Environmental Modelling & Software* **22** (2007) 1382e1387
- MAIER, H. R., and DANDY, G. C., 1999. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications., *Environmental Modelling & Software* **15** (2000) 101–124
- MAIER, H. R., and DANDY, G. C., 2000, Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: A review of modelling issues and applications, *Environmental Modelling & Software* **15**, 101-124.

- MAIER, H.G., and DANDY, G.C., 1998b, Understanding the behaviour and optimising the performance of back-propagation neural networks: an empirical study, *Environmental Modelling & Software*, **13**, 179-191.
- MASTERS, T., 1993, *Practical Neural Network Recipes In C++*, Academic Press, San Diego, CA, 493 p.
- MENG ve LIN, 2007. A feed-forward artificial neural network for prediction of the aquatic ecotoxicity of alcohol ethoxylate., *Ecotoxicology and Environmental Safety* **71** (2008) 172–186
- MOHTADA, S., TORAJ, M., JAVAD, I., KASIRI, N ., 2008 Separation of lead ions from wastewater using electrodialysis: Comparing mathematical and neural network modeling ., *Chemical Engineering Journal* **144** (2008) 431–441
- MORAL, H., AKSOY, A., GOKÇAY, C.F., 2008. Modeling of the activated sludge process by using artificial Neural networks with automated architecture screening., *Computers and Chemical Engineering* **32** (2008) 2471–2478
- NEURALWARE., 1991, *Neural Computing, NeuralWorks Professional II/Plus* (Vers. 4.04) and *NeuralWorks Explorer*, Pittsburg, PA, USA, 360 p.
- ÖZKAN, O., KINACI, C., SAĞIROĞLU, Ş., 2006. Çözünmüş oksijen değişiminin Yapay Sinir Ağları ile belirlenmesi: Kızılırmak Nehri örneği., *İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü., itüdergisi mühendislik Cilt:5, Sayı:3, Kısım:1*, 30-38.
- PAI, T.Y., TSAI, Y.P., LOA, H.M., TSAI, C.H., LIN, C.Y., 2006. Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant effluent., *Computers and Chemical Engineering* **31** (2007) 1272–1281
- POFF, N.L., TOKAR, S. and JOHNSON, P., 1996, Stream hydrological and ecological responses to climate change assessed with an artificial neural network, *Limnology and Oceanography*, **41**(5), 857-863.
- RA'DULY, B., GERNAEY, K.V., CAPODAGLIO, A.G., MIKKELSEN, P.S., HENZE, M., 2006. Artificial neural networks for rapid WWTP performance evaluation: Methodology and case study. *Environmental Modelling & Software* **22** (2007), 1208-1216.

- ROADKNIGHT, C.M., BALLS, G.R., MILLS, G.E. and PALMER-BROWN, D., 1997, Modelling complex environmental data, IEEE Transactions on Neural Networks, **8**(4), 852-862.
- ROGERS, L.L. and DOWLA, F.U., 1994, Optimization of groundwater remediation Using artificial neural networks with parallel solute transport modeling, Water Resources Research, **30**(2), 457-481.
- SİVRİ, N., ERTÜRK, A., TAŞKAN, C., AKINCILAR, O., 2005, Çevre Mühendisliğinde Bilişim Teknolojisinin Uygulama Alanları., II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK
- SOHEIL, A., DANESHVARA, N., SOROUREDINA, S., M., CHABOKA, A., ZEYNALIB, K., A., 2006. Study of acid orange 7 removal from aqueous solutions by powdered activated carbon and modeling of experimental results by artificial neural network., Desalination **211** (2007) 87–95
- STAMOU, A.I., KOUMANOVA, B., STOYANOV, S., ATASANOV, G., PIPILIS, K., 1999. “ Water Quality of the Beli Lom River ” Water Science Technology , Vol . **39** , No. 8 , pp. 55-62.
- ŞATIR, O., 2006. Uygun Bulanık (Fuzzy) Sınıflama Yöntemleri İle Aladağ Örneğinde Arazi Örtüsünün Sınıflandırılması., Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı., Yüksek Lisans Tezi., Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.,Yüksek Lisans Tezi 91 Sayfa.
- TANGANG, F.T., HSIEH, W.W. and TANG, B., 1997, Forecasting the equatorial sea surface temperatures by neural network models, Climate Dynamics, **13**, 135- 147.
- TOWELL, G.G., CRAVEN, M.K. and SHAVLIK, J.W., 1991, Constructive induction in knowledge-based neural networks, Proceedings of the 8th International Workshop on Machine Learning, Morgan Kaufman, San Mateo, 213-217.
- TÜRKMAN, A. ve USLU, O., 1987. “ Su Kirliliği ve Kontrolü ”, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi , Ankara, 348 s.

- WEIGEND, A.S., RUMELHART, D.E. and HUBERMAN, B.A., 1990, Predicting the future: A connectionist approach, *International Journal of Neural Systems*, 1(3), 193- 209.
- WHITEHEAD, P.G., HOWARD, A. and ARULMANI, C., 1997, Modelling algal growth and transport in rivers – a comparison of time series analysis, dynamic mass balance and neural network techniques, *Hydrobiologia*, 349, 39-46.
- www.ansiklopedi.turkcebilgi.com.tr (Erişim tarihi 6 Kasım 2008)
- www.epa.gov/ada/csmos.html (Erişim tarihi 11 Kasım 2008)
- www.epa.gov/ceampubl (21 Ocak 2009)
- www.epa.gov/OMSWWW/models.htm (Erişim tarihi 13 Mart 2009)
- www.epa.gov/oppefed1/models/water/index.htm (Erişim tarihi 22 Eylül 2009)
- www.epa.gov/waterscience/wqm/, www.epa.gov/athens/wwqtsc/ (25 Aralık 2009)
- YETİLMEZSOY, K., DEMİREL, S., 2007. Artificial neural network (ANN) approach for modeling of Pb(II) adsorption from aqueous solution by Antep pistachio (*Pistacia Vera L.*) shells., *Journal of Hazardous Materials* **153** (2008) 1288–1300
- YUHONG, ZENG., WENXIN, HUAI.,2008. Application of artificial neural network to predict the friction factor of open channel flow., *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* **14** (2009) 2373–2378

8. ÖZGEMİŞ

02.01.1984 yılında Gaziantep'in Nizip ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep İli'nin Nizip İlçesi'nde tamamladı. 2003 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu ve aynı yıl Çevre Mühendisliği Anabilimdalı'nda yüksek lisansa başladı.

9. EKLER

EK 1. Hava taşınım, maruz kalma ve risk modelleri**(www.epa.gov/waterscience/wqm/, www.epa.gov/athens/wwqtsc)**

Model			Kullanım amacı
TRIM	Total Risk Integrated Model	Toplam Risk Entegre Modeli	
TRIM. Fate	Environmental Fate, Transport, and Ecological Exposure	Çevresel Maruz Kalma Taşınım ve Ekolojik Genişleme Alt Modeli	Biotik ve abiotik bileşenleri kapsayan sistemle sınırlandırılmış, kirleticinin belli bir zamanda hareketini ve dönüşümünü tanımlayan bölmelendirilmiş kütle dengesi modeli olarak tanımlanır. Bu model çoklu çevresel yüzey biota ve biotanın aldığı kirleticilerde konsantrasyonu belirlemek için kullanılır. Hem geçici hem de sürekli uzaysal maruz kalma tahminin ekolojik alıcı alanlar için (bitki ve hayvan) hesaplamada kullanılır.
TRIM. Expo	The Exposure Event Module of TRIM	TRIM Maruz Kalma Sonucu Alt Modeli	Çevre ve insanlardaki maruz kalma seviyesi arasındaki çeşitli kimyasalların konsantrasyonlarının analizini sağlamaya yarayan modeldir. Çevresel kirlenme boyutunda çoklu kaynaklarda (çoklu kirlenmiş yüzeyler, hava, su, toprak, besin gibi), insan etkileşimiyle kirlenmiş alanları belirlemek açısından kullanılan modeldir.
TRIM. Risk	The Risk Characterization Module	Risk Karakterizasyon Alt Modeli	Bazı belirsizlik ilişkilerine ve risk veya tehlikeyle nicel tanımlamayı sağlamak için ve TRIM. Fate ve TRIM: Expo modellerinden alınan maruz kalmayla beraber doz ilişkisini ve tehlike değerlendirmesini entegre eden modeldir.
HEM	Human	İnsanların	Hava toksik maddelerinin asıl

	Exposure Modeling	Kirleticilere Maruz Kalmaları ile İlgili Model	ana kaynaklarındaki (özel kimyasallar) risk değerlendirmesini yapmak üzere kullanılan modeldir. Bu model sadece maruz kalma geçiş yolunu gösterir ve mutlak havada izin verilen kimyasallara ilişkin riskleri tahmin etmede kullanılır.
APEX/ TRIM. Expo inhalation	Air Pollutants Exposure Model	Hava Kirleticilerine Maruz Kalma ile ilgili Modeli	TRIM modeli çerçevesinde insanın maruz kalmasını belirlemek üzere kullanılır. Model mikroçevrede verilen kirleticilere maruz kalma durumunun zaman ve uzaydaki bireysel hareketlerini benzeştirir. Model istenildiği kadar mikroçevre ve zaman periyodu seçebilir ve izlenen mutlak hava kalitesi verilerini veya dispersiyon veya diğer modellerin çalıştırılmasından elde edilen verileri kullanabilir.
HAPEM	Hazardous Air Pollutant Exposure Model	Tehlikeli Hava Kirleticilerine Maruz Kalma ile İlgili Model	Çeşitli hava toksik kirleticiler için seçilen popülasyon gruplarında maruz kalma belirlemede kullanılır. Bir seri hesaplamada, mutlak hava konsantrasyonu verileri, iççevre ve dışçevre konsantrasyonları, popülasyon verileri ve benzeri bilgiler gerektirir.

**EK 2. Atmosferik Model Merkezleri(www.epa.gov/waterscience/wqm/,
www.epa.gov/athens/wwqtsc)**

Merkez	Model			Kullanım amacı
Hava kalitesi ve Meteorolojik Tahmin Sistemleri	NOAANWS Air Quality Program	National Oceanic Atmospheric Administration National Weather Service	Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus Atmosferik Yönetim Ulusal Hava Servisi	Bu birim ozon, partikül madde ve diğer kirleticileri yeterli doğrulukta belirleyerek, etkilerini azaltmak veya önlemler almak amacıyla kurulmuştur.
Hava Kalitesi ve Biriktirme Alan Programları	AIRMoN	Atmospheric Integrated Research Monitoring Network	Atmosferik Entegre Araştırma İzleme Şebekesi	Düzenli olarak atmosferik çevre durumunun ve emisyon azaltım değerlerinin sunulduğu raporları hazırlar , hassas ekosistemi etkileyen ıslak ve kuru yağış hızları gözlemlerini yapar, model yapısı ve izleme arasındaki direk ilişkiyi sağlar.
Bölgesel ve Geniş Aralıktaki Yayılım Tahmin Modelleri				
HYSPLIT	Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory	Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory	Hibrid Tekli-Partikül Lagrangian Entegre Yörünge Modeli	Kompleks dispersiyon ve yağış benzeşimi yapmak için hava parselleri yörüngelerini basitleştirmek için geliştirilmiş model olup, adveksiyon algoritması yenilenebilen stabilite ve dipersiyon denklemi grafik çizimleri ve

				kimyasal dönüşümler için gerekli modülleri kapsar. Dipsersiyon modülleri eklenmezse, model tek bir kirletici partikülün adveksiyonu veya basitçe yörüngesini hesaplayabilir.
VAFTAD	Volcanic Ash Forecast Transport and Dispersion Modeling	Volcanic Ash Forecast Transport and Dispersion Modeling	Volkanik Kül Tahmin, Taşınım ve Dispersiyon Modeli	Atmosferdeki kül taşınımını hesaplamaya yarayan model olup, HYSPLIT modeli de aynı zamanda bu hesaplamaları yapmaktadır.

EK 3. Hava kalitesi Dispersiyon ve Alıcı Ortam**Modelleri(www.epa.gov/waterscience/wqm/, www.epa.gov/athens/wwqtsc)**

Model			Kullanım Amacı
Sık Kullanılan Dispersiyon Modelleri			
BLP	Bouyant Line and Point Source Model	Çizgi ve Noktasal Kaynak Modeli	Fabrikalardan alüminyum azaltımıyla ilişkili olarak karşılaşılan problemleri çözümlemede kullanılan Gaussian yayılım modelidir.
CTDMPLUS	Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations	Stabil Olmayan Şartlar için Kompleks Arazi Dispersiyon Model	Çıkarımı Algoritması Kompleks arazilerde tüm stabil şartlarda kullanılan noktasal kaynaklı Gaussian hava kalitesi modeli olarak tanımlanır.
ISC3	Industrial Source Complex Model	Endüstriyel Kaynaklı Kompleks Model	Endüstriyel komplekslere bağlı olarak geniş kaynak aralığından yayılan kirletici konsantrasyonlarını hesaplamaya yarayan kararlı hal Gaussian yayılım modelidir.

OCD	Offshore and Coastal Dispersion Model - Version 5	Kıyı ve Kıyıda Uzak Dispersiyon Modeli	Kıyı bölgelerinde hava kalitesi veya kıyıya uzak olan kısımlardaki emisyonların etkisini belirlemeye yarayan hava kalitesi modelidir.
Ayrıştırma Araçları Dispersiyon Modelleri			
CTSCREEN	Complex Terrain Screening model	Kompleks Arazi Gösterme Modeli	Kompleks arazilerde yayılım etkisi yönetiminde idari uygulamalar için ayrıştırmada teknik olarak tasarlanan Gaussian yayılım modelidir.
RTDM3.2	Rough Terrain Diffusion Model	Sert Arazi Difüzyon Modeli	Bir veya daha fazla birleşik olan noktasal kaynak çevresindeki sert arazide yer seviyesindeki konsantrasyonları belirlemek için tasarlanan Gaussian yayılım modelidir.
TSCREEN	Toxics Screening	Toksik Gösterim Modeli	Amerika Birleşik Devletlerinde süperfon alanları için birçok farklı çeşitte serbest kalması mümkün olabilir toksik emisyonların analizini ve dispersiyon dağılımını doğru analiz etmeye yarayan Gaussian yayılım modelidir.
Alternatif Dispersiyon Modelleri			
ASPEN	Assessment System for Population Exposure Nationwide	Ulusalalanda Popülasyon Maruz Kalımında Yönetim Sistemi	Geniş ölçekteki toksik hava kirlenici konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılan Gaussian dispersiyon modelidir.
ADAM	Air Force Dispersion Assessment Model	Hava Kuvvetleri Dispersiyon Yönetim Modeli	Termodinamik, kimya, ısı transferi, aerosol yükü ve yoğun gaz etkisiyle bağlantılı modifiye edilmiş kutu ve Gaussian dispersiyon yayılım modelidir.
AFTOX	Air Force Toxics Model	Hava Kuvvetleri Toksik	Noktasal veya yayılı kaynaktan yüzeyden veya yüksekte serbest kalan sabit

		Modeli	veya sürekli gaz veya sıvı dağılımını inceleyen Gaus dispersiyon yayılım modelidir.
Alıcı Ortam Modelleri			
EPA-CMB8.2	Chemical Mass Balance model	Kimyasal Kütle Dengesi Modeli	Mutlak hava kalitesi verileri ve kaynak profillerini gözlemek üzere kullanılır.

**EK 4. Yüzey Suyu Modelleri(www.epa.gov/waterscience/wqm/,
www.epa.gov/athens/wwqtsc/)**

Model			Kullanım Amacındaki Anahtar Kelimeler
CORMIX	Cornell Mixing Zone Expert System	Cornell Karışım Tabakası Expert Sistemi	Sucul biyoloji, kimya, çevresel etkiler, metaller, nokta kaynaklar, toksisite
EXAMS	Exposure Analysis Modelling System)	Yayılm Analizi Model Sistemi	Sucul biyoloji, kimya, çevresel etkiler, metaller, noktasal kaynaklar, toksisite
EXPRESS	EXAMS - PRZM Exposure Simulation Shell	EXAMS – PRZM Shell yayılımı Benzeşimi	Yayılm, shell
HSCTM2D	The Hydrodynamic, Sediment, and Contaminant Transport Model	Hidrodinamik, Sediman ve Kirletic Taşınım Modeli	Hidroloji, sediman, kirletic, taşınım, sonlu farklar modeli, nehir, haliç
HSPF	Hydrologic Simulation Program Fortran	Hidrolojik Simulasyon Programı	Biyoloji, birikim, deşarj, çevresel etkiler, haliç, hidroloji, göller, metaller, nutrientler, pestisitler noktasal kaynak, nehir, sediment, toksisite
OXYREF	The Oxygen Requirements of Fishes	Balıkların Oksijen Gereksinimi	Balık, oksijen, solunum, gazlar
PRZM3	Pesticide Root	Pestisit Kök	Deşarj, çevresel etkiler,

	Zone Model	Tabaka Modeli	haliç, hidroloji, arazi kullanımı yönetimi, metaller, pestisitler,
QUAL2EU	The Enhanced Stream Water Quality Model – UNCAS	Geliştirilmiş Nehir Su Kalitesi Modeli belirsizlik Alt Modeli	Nehir, göl, su kalitesi, kirletici, atık, yük,
SED3D	The Three-Dimensional Numerical Model of Hydrodynamics and Sediment Transport in Lakes and Estuaries	Göl ve Haliçlerde Sediment Taşınım ve Hidrodinamik 3 boyutlu sayısal model	Hidrodinamik, sediment, taşınım, göl, haliç, kıyı kasabaları, 3 boyut
SWMM	Storm Water Management	Model Taşkın suyu	Sucul biyoloji, birleşik kanal, deşarj, çevresel etkiler metaller, noktasal kaynaklar, nehirler
WASP	Water Quality Analysis Simulation Program	Su kalitesi Analizi Simulasyon Programı	Sucul biyoloji, deşarj, çevresel etkiler, metaller, noktasal kaynaklar, hidroloji

EK 5. Su kalitesi ve Havza Modelleri (www.epa.gov/waterscience/wqm/, www.epa.gov/athens/wwqtsc)

Model	Kullanım Amacı		
Havza Modelleri			
BASINS	Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources	Noktasal ve Noktasal Olmayan Kaynaklarda Daha İyi Bilimsel Değerlendirme Yönetimi	Havza ve su kalitesi tabanlı çalışmalarda yerel, bölgesel ve kurumsal ölçeklerinde yardımıyla çok amaçlı çevresel analiz sistemi olarak kullanılan model olup, çevresel bilgilerin incelenmesine, çevresel sistem analizine ve yönetim alternatiflerinin belirlenmesine olanak sağlar.
WCS	Watershed Characterization System	Havza Karakterizasyon Sistemi	Havzada fiziksel ve hidrolojik özellikleri (arazi kullanımı, toprak, iklim) karakterize eden ve mutlak su kalitesi şartlarını (izleme istasyonları envanteri ve gözlemlenen verilerin istatistiksel analizi) ve kirletici

			yükünü etkileyen zararlı potansiyel kaynakların değerlendirerek benzeşim yapan modeldir.
LSPC	Loading Simulation Program	Yük Hesabı Benzeşim Programı	Hidroloji, sediment ve arazi üzerindeki genel su kalitesinin benzeşimini yapmak için kullanılan HSPF algoritmasını da içeren, havza model sistemi olup, çok geniş ölçekteki havza model uygulamalarında kullanılır.
WAM View	Watershed Assesment Model	Havza Yönetim Modeli	Yüzey suyu ve yeraltı suyundaki arazi kullanımı, toprak, iklim ve diğer faktörlerin su kalitesi üzerindeki etkileşimini belirlemede kullanılan, havza hidrolojisi ve kirletici taşınımı için asıl önemli olan fiziksel prosesleri benzeştiren modeldir.
SWM M	Storm Water Management Model	Taşkınsuyu Yönetim Modeli	Kırsal alanlarda uzun dönemde veya kısa dönemde borularda, kanallarda, arıtım ve depolama mekanik aksamında, pompa ve regülatör gibi taşıyıcı sistemlerde rutin akışı değerlendirmek üzere kullanılan modeldir.
HSPF	Hydrologic Simulation Program Fortran	Hidrolojik Simulasyon Programı	Havza, nehir, ırmak ve iyi karışımli göller ve rezervuarlar gibi su alanlarında kullanılan model olup meteorolojik verilerle desteklenir. Noktasal ve noktasal olmayan kaynaklarla kirleticilerin taşınımını ve yayılımını yapan sürekli benzeşim modelidir.
Su Kalitesi Modelleri			
AQUA TOX	A Simulation Model for Aquatic Ecosystems	Sucul Ekosistemler İçin Benzeşim Modeli	Ekosistemin bir kısmından diğer kısmına geçen kimyasal ve biyokütle benzeşimini sağlayan ekosistem modeli olarak tanımlanıp, sucul ekosistemde kimyasalın sadece yayılımını tahmin etmekle kalmayıp, aynı zamanda canlı organizmalarda direk ve direk olmayan etkilerini de inceler.
WASP	Water Quality	Su Kalitesi Analiz	WASP, yüzey suyundaki kirleticilerin taşınımı ve transferini

	Analysis Simulation Program	Simulasyon Programı	belirler. Model bir, iki veya üç boyutlu olarak uygulanabileceği gibi diğer hidrodinamik modellerle de bağlantı kurabilir. WASP, noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan gelen yükleri ve sınır değerleri düşünerek adveksiyon ve dispersiyonun zamanla değişimini simule eder. Su kaynağı her bir kararlı değişken için başlangıç konsantrasyonları, sınır koşulları, yükler ve tam karışım olan kutulara bölünerek simule edilebilir
CORMIX	Cornell Mixing Zone Expert System	Cornel Karışım Tabakası Uzman Sistemi	Noktasal kaynaklardan deşarj edilen atıksu karakteristiğinin karışım tabakasındaki çevresel etkisini değerlendirmek üzere kullanılan su kalitesi modeli olup 3 alt sistemde incelenir. CORMIX 1 nehir göl ve haliçlerde tek bir noktada olan deşarjın çevresel etkisini analiz etmede, CORMIX 2, çoklu deşarjda yayılım karakteristiğini, CORMIX 3 ise yüksek hassasiyette alıcı su ortamında pozitif ve nötral yoğunluğu analiz eder.
QUAL2K	Stream Water Quality Model	Nehir Su Kalitesi Modeli	Kararlı halde , hidrolık uniform olmayan sabit akışa göre günlük su kalitesi kinetiklerinin, ısı ve kütle girdileri, sıcaklık ve meteorolojik fonksiyonlarına göre noktasal ve noktasal olmayan kirletici kaynaklarını benzeştiren nehir ve ırmak su kalitesi modelidir.
EPD-RIV-I	A Dynamic, One Dimensional Hydrodynamic & Water Quality Model	Dinamik 1-boyutlu Hidrodinamik ve Su Kalitesi Modeli	1 boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi modeli olup , nehir ve göllerdeki mevcut olan şartlarda izin verilebilecek atık yükünü analiz etmek amacıyla dinamik şartlara göre benzeşim yapmada kullanılır.
Hidrodinamik Modelleri			
EFDC	Environmental	Çevresel Akışkanlar	1,2 ve 3 boyutlu su ekosistemlerini benzeşim yapan hidrodinamik model

	Fluid Dynamics Code	Mekaniği Kodu	olup, su yapısının fiziksel karakteristiklerini sunmak üzere ortogonal yatay koordinatları, kartezyen veya eğri koordinatlarını kullanarak, turbulanslı kinetik enerji, turbulanslı uzunluk ölçeği, tuzluluk ve sıcaklık için dinamik olarak eşleştirilmiş taşınım denklemlerini çözmede kullanılır.
EPD-RIV-I	A Dynamic One Dimensional Hydrodynamic & Water Quality Model	Dinamik 1-boyutlu Hidrodinamik ve Su Kalitesi Modeli	1 boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi modeli olup, nehir ve göllerdeki mevcut olan şartlarda izin verilebilecek atık yükünü analiz etmek amacıyla dinamik şartlara göre benzeşim yapmada kullanılır.

EK 6. $KOI_{giriş}$ - $KOI_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

Datalar	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
	Min	Max	Min	Max
$KOI_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$KOI_{çıkış}$	75,5	274,5	106	223

EK 7. $KOI_{giriş}$ - $TKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

Datalar	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
	Min	Max	Min	Max
$KOI_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$TKM_{çıkış}$	210	796,7	210	756

EK 8. $KOI_{giriş}$ - $UAKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

Datalar	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
	Min	Max	Min	Max
$KOI_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{çıkış}$	5	47	5,5	26,7

EK 9. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$ - $KOİ_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$KOİ_{çıkış}$	75,5	274,5	106	223

EK 10. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$ - $TKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{çıkış}$	210	796,7	210	756

EK 11. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$ - $UAKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$UAKM_{çıkış}$	5	47	5,5	26,7

EK 12. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$, $TKM_{giriş}$ - $KOİ_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{giriş}$	360,3	1211,3	362,7	1064
$KOİ_{çıkış}$	75,5	274,5	106	223

EK 13. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$, $TKM_{giriş}$ - $TKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{giriş}$	360,3	1211,3	362,7	1064
$TKM_{çıkış}$	210	796,7	210	756

EK 14. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$, $TKM_{giriş}$ - $UAKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{giriş}$	360,3	1211,3	362,7	1064
$UAKM_{çıkış}$	5	47	5,5	26,7

EK 15. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$, $TKM_{giriş}$, Sıcaklık- $KOİ_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{giriş}$	360,3	1211,3	362,7	1064
Sıcaklık	4	24,9	4	27,10
$KOİ_{çıkış}$	75,5	274,5	106	223

EK 16. $KOİ_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$, $TKM_{giriş}$, Sıcaklık- $TKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
Datalar	Min	Max	Min	Max
$KOİ_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{giriş}$	360,3	1211,3	362,7	1064
Sıcaklık	4	24,9	4	27,10
$TKM_{çıkış}$	210	796,7	210	756

EK 17. $KO\dot{I}_{giriş}$, $UAKM_{giriş}$, $TKM_{giriş}$, Sıcaklık- $UAKM_{çıkış}$ parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

Datalar	Eğitme Veri Seti		Test Veri Seti	
	Min	Max	Min	Max
$KO\dot{I}_{giriş}$	147	551,7	290	534,30
$UAKM_{giriş}$	14	87,5	14	80,3
$TKM_{giriş}$	360,3	1211,3	362,7	1064
Sıcaklık	4	24,9	4	27,10
$UAKM_{çıkış}$	5	47	5,5	26,7