

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) KULLANILARAK KOİ
PARAMETRESİNDEN BOİ PARAMETRESİNİN
TAHMİN EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Mücahit SEZER

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep İLERİ

Mayıs 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) KULLANILARAK KOİ
PARAMETRESİNDEN BOİ PARAMETRESİNİN
TAHMİN EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre.Müh. Mücahit SEZER

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 31 / 05 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof.Dr. Recep İLERİ
Jüri Başkanı**

**Yrd.Doç.Dr.Nurtaç ÖĞLENI
Üye**

**Prof. Dr. Hasan ARMAN
Üye**

TEŐEKKÖR

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her tÖrlÖ desteği veren danıŐman hocam sayın Prof. Dr. Recep İLERİ `e ve çalıŐmalarımnda yardımı bulunan Turgay DERE ve asistan Beytullah EREN ve tercÖmelerimde yardımcı olan İsmail BOZKURT ve Teknik çalıŐmalarımnda ki yardımları için Metin YEGİT ve bugÖnlere gelmemde her tÖrlÖ desteği esirgemeyen anne babam ve eŐime `e teŐekkÖrÖ bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
REGRESYON.....	3
2.1. Regresyon Analizi.....	3
BÖLÜM 3.	
YAPAY SİNİR AĞLARI.....	6
3.1. Giriş.....	6
3.2. YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi.....	7
3.3. Biyolojik Sinir Sistemi.....	8
3.4. Biyolojik Sinir Hücresi.....	9
3.5. YSA'nın Özellikleri.....	11
3.5.1. Doğrusal olma.....	11
3.5.2. Öğrenme.....	11
3.5.3. Genelleme.....	11
3.5.4. Uyarlanabilirlik.....	12

3.5.5. Hata toleransı.....	12
3.5.6. Analiz ve tasarım kolaylığı.....	12
3.6.YSA'nın Yapısı.....	12
3.6.1. Girdi katmanı.....	13
3.6.2. Ara katman (Gizli Katman).....	13
3.6.3. Çıktı katmanı.....	13
3.7. İşlem Elemanı	14
3.7.1. Girdiler.....	15
3.7.2. Ağırlıklar.....	15
3.7.3. Birleştirme fonksiyonu.....	15
3.7.4. Aktivasyon fonksiyonu.....	16
3.7.4.1. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	17
3.7.4.2. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	17
3.7.4.3. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.....	18
3.7.5. Çıktı.....	19
3.8. YSA'nın Uygulama Alanları.....	19
3.8.1. Arıza ve analiz tespiti.....	20
3.8.2. Tıp alanında	20
3.8.3. Savunma sanayi.....	20
3.8.4. Haberleşme.....	21
3.8.5. Üretim.....	21
3.8.6. Otomasyon kontrol.....	21
3.9. YSA Uygulamalarının Geliştirme Adımları.....	21
3.9.1. Tasarım.....	21
3.9.2. YSA'da öğrenme.....	22
3.9.3. Hatayı geriye yayma ağı öğrenme prosedürü.....	24
3.9.4. Test/Uygulama.....	25

BÖLÜM 4.

KOİ DEĞERLERİNDEN BOİ DEĞERLERİNİN TAHMİN EDİLMESİNDE REGRESYON ANALİZİ VE YSA'NIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	26
4.1. A Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi İçin KOİ Değerlerinden BOİ Değerlerinin Tahmin Edilmesinde Regresyon Analizi Ve YSA 'nın Karşılaştırılması.....	26
4.1.1. A biyolojik atıksu arıtma tesisi için önerilen model ve programın tanıtılması.....	28
4.1.2. A biyolojik atıksu arıtma tesisi için regresyon analizi.....	32
4.2. B biyolojik atıksu arıtma tesisi için KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin tahmin edilmesinde regresyon analizi ve YSA'nın karşılaştırılması.....	33
4.2.1. B biyolojik atıksu arıtma tesisi için regresyon analizi.....	35

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR.....	38
EKLER.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

YSA	: Yapay sinir ağları
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ ₅	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
ÇO	: Çözünmüş oksijen
TSS	: Toplam askıdaki katı
TKN	: Toplam Kjeldhal azot
pH	: pH
AAT	: Atıksu arıtma tesisi
OKH	: Ortalama karesel hata
REG	: Regresyon
OMYH	: Ortalama mutlak yüzdesel hata
R ²	: Regresyon katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Regresyon noktası gözlem noktalarının düşey uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde geçirilmesi.....	5
Şekil 3.1. Biyolojik Sınır Sisteminin Blok Gösterimi.....	8
Şekil 3.2. Basit Bir Biyolojik Sınır Hücresi ve Bileşenleri.....	9
Şekil 3.3. Bir Yapay Sınır Ağı Modelinin Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 3.4. Bir İşlem Elemanının Yapısı.....	15
Şekil 3.5. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	17
Şekil 3.6. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	17
Şekil 3.7. Tanjant hiperbolik fonksiyonu.....	18
Şekil 3.8. Eğitim ve test seti üzerinde hatayı gösteren tipik bir eğitim eğrisi..	23
Şekil 3.9. Hatayı Geri Yayma Prosedürü Örnek Şekli.....	24
Şekil 4.1. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Tek gizli katmanlı YSA' nın işlem elemanı sayısına bağlı olarak test sonuçlarının ortalama karesel hataları	28
Şekil 4.2. Önerilen YSA Modelinin Mimarisi.....	29
Şekil 4.3.A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Deneysel ve YSA sonuçlarının karşılaştırılması	30
Şekil 4.4. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların eğitim seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi.....	31
Şekil 4.5. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların test seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi.....	31
Şekil 4.6. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin regresyon analizi ile tespit edilmesi.....	32

Şekil 4.7. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde deneysel ve YSA sonuçlarının karşılaştırılması.....	33
Şekil 4.8. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların eğitim seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi.....	34
Şekil 4.9. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların test seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi.....	34
Şekil 4.10. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin regresyon analizi ile tespit edilmesi.....	35

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Bir Sinir Sistemi ile YSA'nın Benzerlikleri.....	7
Tablo 4.1. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Veritabanındaki parametrelerin minimum ve maksimum değerleri.....	27
Tablo 4.2. Girdi ve Çıktı Katmanı Bilgileri.....	28
Tablo 4.3. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Performanslar.....	32
Tablo.4.4 B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Performanslar.....	35

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri, parametre, Yapay Sinir Ağları, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

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

Bu tez çalışmasında amaç, A ve B Atıksu Arıtma Tesislerinde ölçülen deneysel Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerlerini kullanarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅) değerlerinin tahmin edilmesidir. Bu amaçla öncelikle, A atıksu arıtma tesisinden toplanan 365 adet deneysel veriyi kullanarak YSA eğitildi ve test edildi. B atıksu arıtma tesisinden toplanan 66 adet deneysel veriyi kullanarak YSA eğitildi ve test edildi. YSA çok sayıda işlem elemanı ve bağlantıdan oluşan paralel dağıtılmış bir bilgi işleme sistemidir. YSA'nın eşsizliği, onun deneysel verilerin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi hiçbir önerme ve varsayıma gereksinim duymaksızın öğrenmesi ve genelleme yapmasında yatmaktadır. YSA'dan elde edilen teorik sonuçlar ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, MATLAB tabanlı geliştirilmiş YSA algoritması Atıksu Arıtma Tesislerinde performans parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir alternatif bir metot olabilir.

APPROXIMATING OF BOI PARAMETER FROM KOI PARAMETER USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

SUMMARY

Keywords: Biological Waste Water Treatment Plant, parameter, Artificial Neural Networks (ANN), Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD₅).

The Artificial Neural Networks is a sub-branch of the Artificial Intelligence Science and artificial systems which take the assumed working principle of the human brain as a principle. ANN is one of the most popular subjects of the modern science with learning capability, adaptation, characteristics of working with the minimum information, rapid working and recognition convenience.

The purpose in this thesis study is estimating the Biological Oxygen Demand (BOD₅) with the Artificial Neural Networks (ANN) by means of using the experimental Chemical Oxygen Demand (COD) which is measures in a Waste water Treatment Plants A and B. To this end, first of all, ANN was trained and tested by means of using 365 experimental data which are gathered together from a waste water treatment plant A and ANN was trained and tested by means of using 365 experimental data which are gathered together from a waste water treatment plant B. ANN is a data processing system which is distributed as parallel and composed of a lot of process elements and connections. The unique feature of ANN lies in learning the relationship between the inputs and outputs of experimental data without need of any suggestion and assumption and making generalization accordingly. The theoretical results and experimental results obtained from ANN are compared. According to comparison results, ANN algorithm which is developed based on MATLAB could be an alternative method which could be used in estimating the performance parameters in the Waste water Treatment Plants.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günlük hayatımızın bir parçası olarak hepimiz suları kirletiriz. Bizim için sağlanan yüksek kalitedeki içme sularını da kirletiriz. Arıtılmamış atıksu nihayetinde doğal sulara karışarak kirliliğe neden olur. Kirliliğin büyüklüğü çeşitli etkenlere dayanır. Özellikle nehirlerle (içlerdeki) arıtılmadan bırakılan atıksular balıklara ve sudaki canlıların ölümüne sebep olur. Suyun aynı zamanda mikroplu, kötü kokulu ve potansiyel sağlık riski taşımasına sebep olur (CIWEN 1998). Nüfusun artışı ile beraber atıksuyun miktarı da artar ve çevreye verdiği zararı azaltmak için alıcı ortama verilmeden önce bu atıksuların doğru bir şekilde toplanması ve arıtılması gerekir. Atıksu arıtımının asıl amacı sudan kaynaklanan hastalıkları ortadan kaldırmak, kirliliği veya suyun döküldüğü çevreye verilecek olan ekolojik hasarı önlemektir. Ek olarak atıksunun görüntü ve koku yönünden çevreye verdiği görsel sıkıntılarda kabul edilemez.

1970 yılından buyana özellikle atıksuyun biyolojik olarak arıtılmasında aktif çamur teknolojisi büyük bir gelişim göstermiştir. Bu işlem etkin bir şekilde bakterilerle ayrışabilen organik maddeleri ve azotlu atıkları ortadan kaldırabilir (CIWEN 1998). Azot arıtımıyla ilgili kirlilik sorunları çözünmüş oksijenin azalması (O_2) toksikliğin artmasına ve ötrofikasyon (sudaki azot ve fosforun artması) oluşumuna neden olur. (Ç.O) Çözünmüş oksijeninin azalmasının nedeni ise mikrobiyal faaliyetler sonucu tüketilmesidir. Bunun yanı sıra azotlu besinler suda yaşayan bitkilerin özellikle su yosununun gelişimi için gereklidir. Her üç azot bileşenleri deniz hayatında toksik etki yapabilir (özellikle balıklara). Yüksek pH' ta salınan amonyak özellikle deniz hayatı için toksiktir (VanLoosdrecht et al 1997). Ortamda normalden daha fazla miktarda bulunan bitkisel besinler ötrofikasyon oluşumuna neden olur ki buda deniz yosunu gibi deniz bitkilerinin hızla büyümesine sebep olur. Bu bitkiler öldüğünde tatlı su kaynakları hızlı bir şekilde bu bitkilerin çürümeyen parçaları ile dolar buda tatlı suların yaşlanmasına neden olur. Çünkü çürümeyen bitki parçalarının birikimi

bu kaynakların hızla kaybolmasına sebep olur. Ötrofikasyon aynı zamanda farklı su kirliliklerine de yol açar Ç.O konsantrasyonunun deniz bitkilerinin büyüme ve ölüm sebebi yüzünden düşüşü gelen suyollarının deniz bitkileri yüzünden hızlıca tıkanması renk, koku ve bulanıklığın oluşması bu sorunlardan bazılarıdır.

Atıksuların kirlenici parametrelerinin standartlara uygun bir şekilde deşarj edebilmek için pH, Sıcaklık, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), Toplam askıdaki katı (TSS), Toplam Kjeldhal azot (TKN), Toplam Azot ve Toplam Fosfor gibi parametrelerin laboratuvar ortamında sürekli biçimde düzenli periyotlarla ölçülerek kontrol edilmesi gerekir. Gelişmekte olan bilgisayar ve programcılık dünyasında mevcut deneysel sonuçları kabuller olarak diğler parametrelerin tahminlerini yapabilecek programlar kullanılabilir. Bu çalışmamızda da amacımız biyolojik arıtma tesislerinin işletilmesine kolaylık sağlamak amacı ile özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlarda ki problemlerin çözümüne uygulanmış örneğın arıza analizi ve tespitinde, tıp alanında, savunma sanayinde, haberleşmede, üretimde, otomasyon ve kontrol alanlarında ve daha bir çok alanda kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA) ile biyolojik atıksu arıtma tesislerinin işletiminin kolaylaştırılabileceğini ve de ekonomik olarak sürekli maliyet gerektiren laboratuvar deneylerinden kabuller yaparak tahminler yapılabilmesini araştırmaktır. En uygun iki parametre olan hem deneysel hem de zaman açısından işletme kolaylığı sağlayacak olan KOİ parametresinden BOİ parametresinin tahmin edilmesi incelenecektir.

BÖLÜM 2. REGRESYON

2.1. Regresyon Analizi

Mühendislik problemlerinin çoğunda iki ya da daha çok sayıda rasgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki bulunduğunu görürüz. İki değişken arasında bir ilişki bulunabileceği gibi, iki değişkenin başka bir değişkeni birlikte etkilemeleri de mümkündür. Burada olduğu gibi, kesme donatısız kirişlerin kesme dayanımını etkileyen parametrelere daha önce değinilmişti.

Ancak söz konusu ilişkiler deterministik (fonksiyonel) nitelikte değildir. Yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve biçiminin belirlenmesi uygulamada büyük önem taşır. Bu bağıntıyı kullanarak bir değişkenin alacağı değeri diğer değişkenlerin bilinen değerlerine bağlı olarak belirlemek mümkün olur. Bu sonuç söz konusu değişkenin alacağı gerçek değeri tam ve kesin olarak vermemekle birlikte bu değere yakın istatistiksel en iyi tahmin olur. Tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden olan farklarının (hata) da belli bir olasılıkla hangi sınırlar içinde kalacağı söylenebilir. Bu tipten bir bağıntıyı gösteren matematik ifadeye regresyon denklemi denir. Regresyon analizinin amacı göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır (Bayazit ve Oğuz 1994).

Regresyon analizine başlarken aralarında bir ilişki aranacak olan iki (ya da daha fazla sayıda) değişkenin hangileri olduğuna karar vermek, sonra da bu değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren denklemin biçimi için bir kabul yapmak gerekir. Buna göre regresyon analizi şu şekilde sınıflandırılabilir:

- a) Basit doğrusal regresyon analizi: En çok kullanılan bu en basit analizde iki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.
- b) Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi: İki'den daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.

Doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon analizi: Burada iki ya da daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal olmayan ve biçimi önceden seçilen bir denklemle ifade edilen bir ilişkinin varlığı kabul edilir. (Bayazıt ve Oğuz 1994).

Basit doğrusal regresyon analizi: Y' nin X' e göre regresyon doğrusunun denklemi olan:

$$y = a + bx \quad (2.1)$$

İfadesindeki a ve b regresyon katsayılarını hesaplamak için gözlenmiş (x_i, y_i) noktalarının regresyon doğrusuna düşey (y doğrultusundaki) uzaklıklarının (e_{yi}) karelerinin toplamı minimum yapılır (Şekil 2.1):

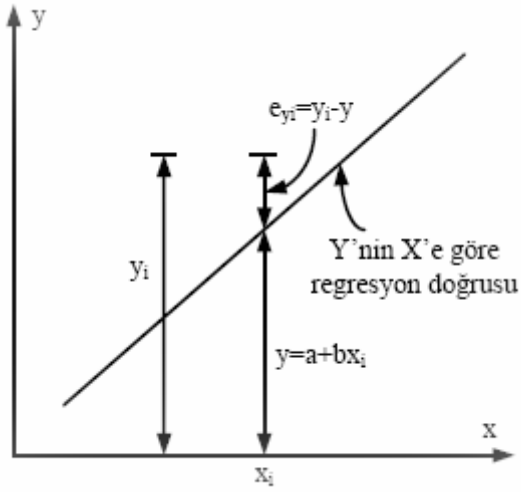
$$\min \sum_{i=1}^N e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)^2 \quad (2.2)$$

e_{yi}^2 için (2.2) bağıntısındaki ifadeyi kullanarak a ve b katsayılarının diferansiyel denklemleri çözülrse regresyon katsayıları için şu ifadelere varılır:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \frac{s_y}{s_x} \times r_{x,y}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

(2.3 ve 2.4)



Şekil 2.1. Regresyon noktası gözlem noktalarının düşey uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde geçirilmesi(Bayazıt ve Oğuz 1994).

Elde edilen doğru denkleminin katsayılarının (2.3) bağıntısı ile verilen ifadeler olduğu görülmektedir. Buna göre gözlenen noktaların regresyon doğrusuna düşey uzaklıklarının toplamını minimum yapacak şekilde geçirilen doğru aynı zamanda X' in verilen bir değeri için Y' nin beklenen değerini veren regresyon doğrusu olmaktadır.

BÖLÜM 3. YAPAY SİNİR AĞLARI

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

3.1.Giriş

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

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

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

3.2.YSA' nın Tanımı ve Tarihçesi

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

Tablo 3.1. Bir sinir sistemi ile YSA' nın benzerlikleri

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

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

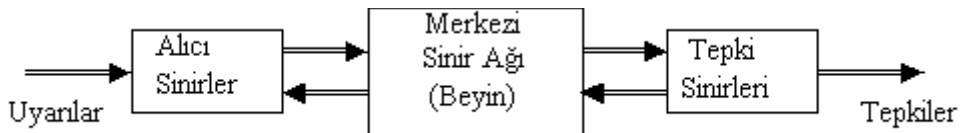
Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak

modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, Yapay Sinir Ağları denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır.

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

3.3.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, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 3.1'de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi (Cladera 2004).

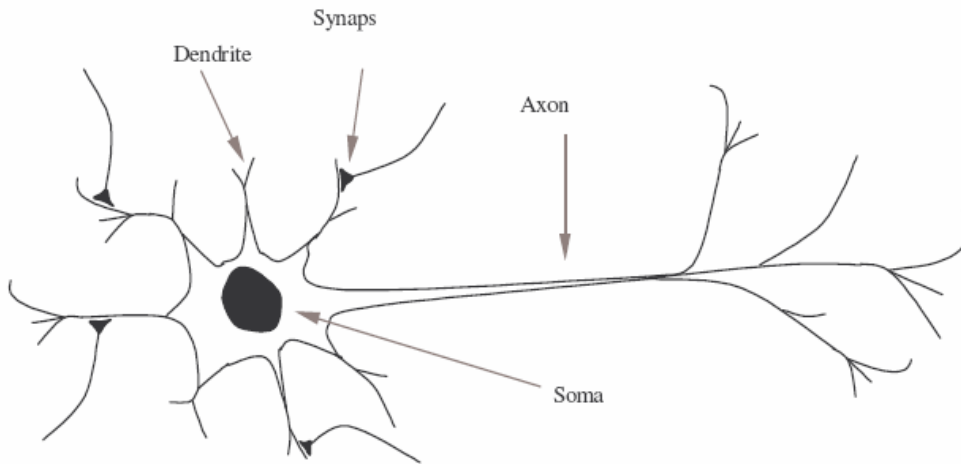
Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Merkezi sinir sisteminin temel

işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron) ve insan beyinde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir (Cladera 2004).

3.4. Biyolojik Sinir Hücresi

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

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



Şekil 3.2. Basit bir biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri. (Cladera 2004).

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

Hücre Gövdesi (Soma) : Bir nöronun gövdesine soma adı verilir. Soma nucleus adı verilen hücre çekirdeğini içermektedir. Hücrenin yaşamasını sağlayan işlevleri görür. Sinapslar aracılığıyla dendritlere geçirilen iletiler birleşerek akson üzerinde elektriksel bir çıktı oluştururlar. Bu çıktının olup olmayacağı veya çıktının

elektriksel olarak yoğunluğu, sinapsların etkileri sonucu hücreye gelen tüm girdilerin, toplam değeri tarafından belirlenmektedir. Somaya gelen girdilerin ağırlıklı toplamı akson üzerinde çıktı oluşturacak değere ulaştığında, bu değere "eşik değeri" adı verilmektedir. Bu şekilde girdiler nöron tarafından değerlendirilerek çıktıya dönüştürülmüş olur.

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

Sinaps: Sinapslar, sinir hücrelerindeki aksonların, diğer sinir hücreleri ve/veya onların dendritleri üzerinde sonlanan özelleşmiş bağlantı noktalarıdır. Bu bağlantı noktalarının görevi aksondaki elektriksel iletinin diğer hücelere aktarılmasıdır. Bu bağlantı noktalarında iletiler elektro-kimyasal süreçlerle diğer hücelere geçirilir. Sinapslar bağlandıkları dendritde veya nöronda bölgesel olarak elektrik kuvvetini pozitif veya negatif yönde etkileyebilme yeteneğine sahiptirler. Böylelikle bir nöronun diğerini etkileyebilmesi söz konusu olmaktadır.

Bir biyolojik sinir hücresinin çalışma şekli şöyledir;

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

3.5. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

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

3.5.1. Doğrusal olmama

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

3.5.2. Öğrenme

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

3.5.3. Genelleme

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

3.5.4. Uyarlanabilirlik

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

3.5.5. Hata toleransı

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

3.5.6. Analiz ve tasarım kolaylığı

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

3.6. YSA' nın Yapısı

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

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

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

- Girdi katmanı
- Ara Katman
- Çıktı Katmanıdır.

3.6.1. Girdi katmanı

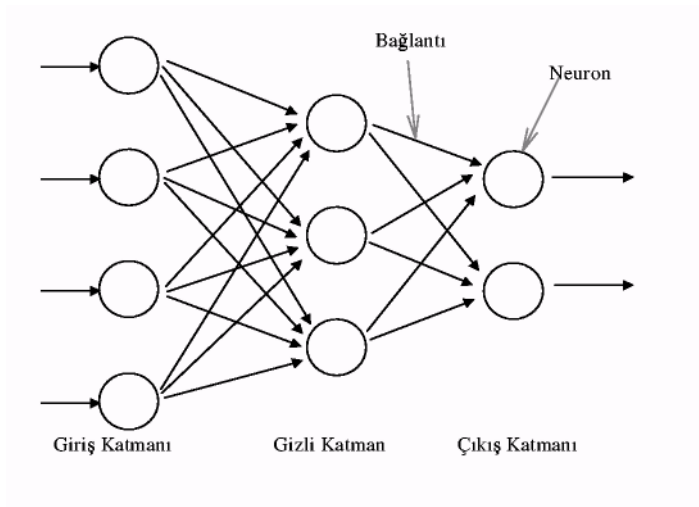
Bu katmandaki işlem elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.

3.6.2. Ara katman

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

3.6.3. Çıktı katmanı

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

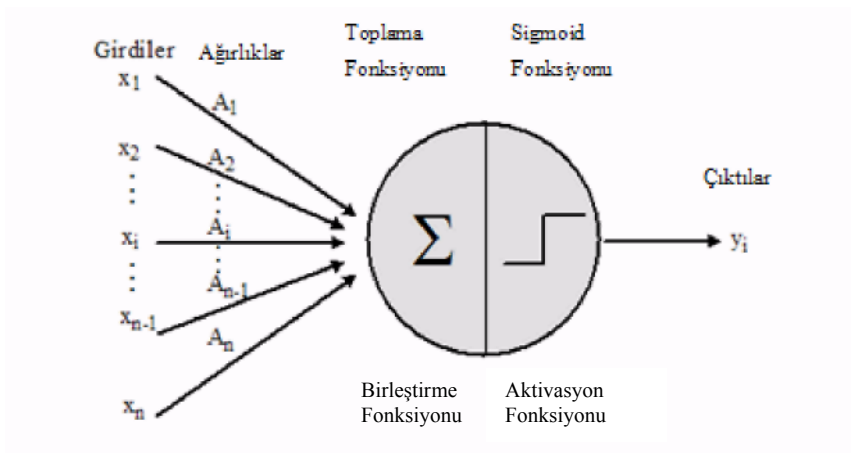


Şekil 3.3. Bir Yapay Sinir Ağı Modelinin Şematik Gösterimi

3.7. İşlem Elemanı

Biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir ağlarında da temel unsur, işlem elemanıdır. İşlem elemanı, YSA' nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük ve temel bilgi işleme birimidir. Ağ içinde yer alan tüm işlem elemanları bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler. Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen çıktılar olabileceği gibi başka işlem elemanlarına girdi olarak da kullanılabilirler. Geliştirilen işlem elemanı modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir işlem elemanı modeli 5 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

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



Şekil 3.4. Bir işlem elemanının yapısı

3.7.1. Girdiler

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

3.7.2. Ağırlıklar

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

3.7.3. Birleştirme fonksiyonu

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

Toplama Fonksiyonu
$$v = \sum x_i A_i$$

A: İşlem elemanının ağırlıklar matrisini

x: İşlem elemanının giriş vektörünü

v: İşlem elemanının net girişini

y: İşlem elemanının çıkışını

3.7.4. Aktivasyon fonksiyonu

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

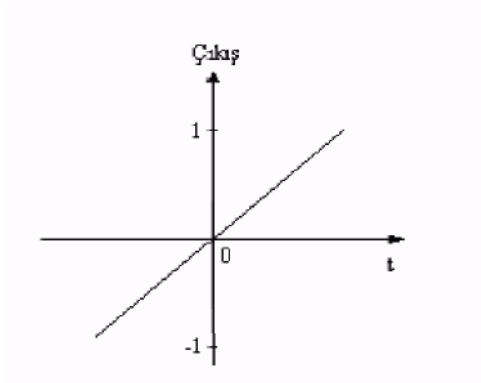
Aktivasyon fonksiyonları bir YSA' da işlem elemanının çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler genellikle $[0,1]$ veya $[-1,1]$ arasındadır. YSA' da kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevi alınabilir olması ve süreklilik arz etmesi gereklidir. Lineer veya doğrusal olmayan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

Aktivasyon Fonksiyonu $y = F(v)$

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

3.7.4.1. Doğrusal aktivasyon fonksiyon

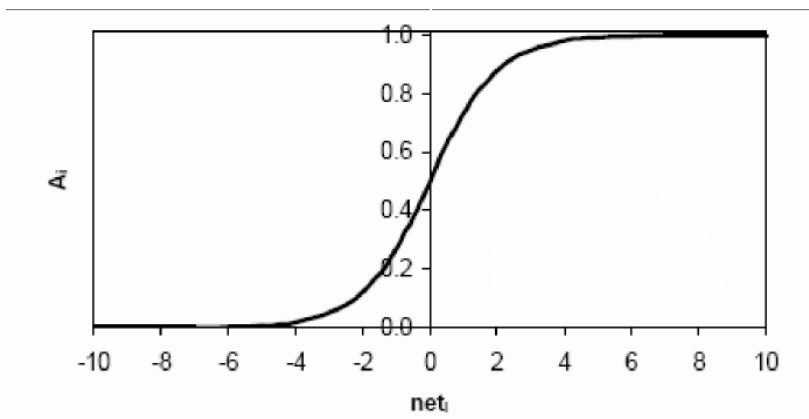
Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA' da ya da genellikle katmanlı YSA' nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak $y=Kv$ şeklinde tanımlanabilir. "K"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



Şekil 3.5. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

3.7.4.2. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

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



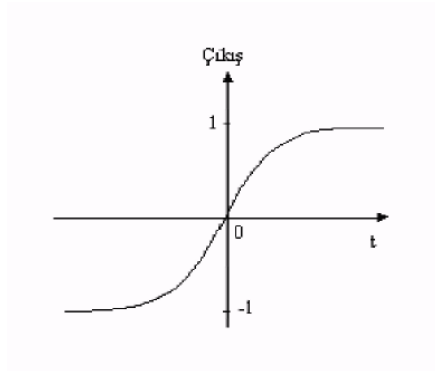
Şekil 3.6. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyon

Sigmoid fonksiyonunun formülü;

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

3.7.4.3. Tanjant hiperbolik fonksiyonu

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



Şekil 3.7. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu

Tanjant fonksiyonunun formülü;

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

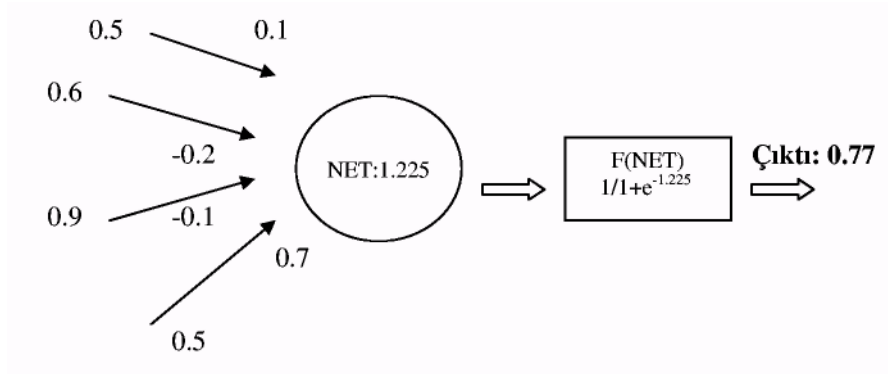
Yukarıda anlatılan aktivasyon fonksiyonlarından başka, literatürde geçen diğer aktivasyon fonksiyonları;

- Basamak Fonksiyonu
- Kutuplamalı Basamak Fonksiyonu
- Parçalı Doğrusal Fonksiyon

3.7.5. Çıktı

Aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra elde edilen değer, çıktı değeridir.

Bir İşlem elemanının Çalışma Prensibi Örneği;



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

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

işlem elemanının sigmoid fonksiyonuna göre çıktısı;

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

3.8. YSA' nın Uygulama Alanları

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

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

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

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

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

3.8.1. Arıza analizi ve tespiti

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

3.8.2. Tıp alanında

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

3.8.3. Savunma sanayi

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

3.8.4. Haberleşme

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

3.8.5. Üretim

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

3.8.6. Otomasyon ve kontrol

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

3.9. YSA Uygulamalarının Geliştirilme Adımları

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

3.9.1. Tasarım

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

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

3.9.2. YSA' da öğrenme

Yapay sinir ağının en önemli özelliği, öğrenme yeteneğidir. Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın probleme ait doğru çıktıları üretmesi için optimum ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Bilgi, bağlantılarda ağırlıklar şeklinde dağıtıldığı için tek bir bağlantı herhangi anlamlı bir bilgi ifade etmez. Yani, anlamlı bir bilgi oluşturmak için işlem elemanlarından oluşan bir bağlantı grubu gerekmektedir. Problemin en iyi çözümü için ağın, bağlantılarına ait doğru ağırlık değerine sahip olması istenir. Öğrenme, ağırlık değerinin değişimini ifade eden bir öğrenme kuralına dayanır. Geliştirilen birçok öğrenme kuralı vardır (Weber W.J 1999). Literatürde üç tip öğrenme stratejisinden söz edilir.

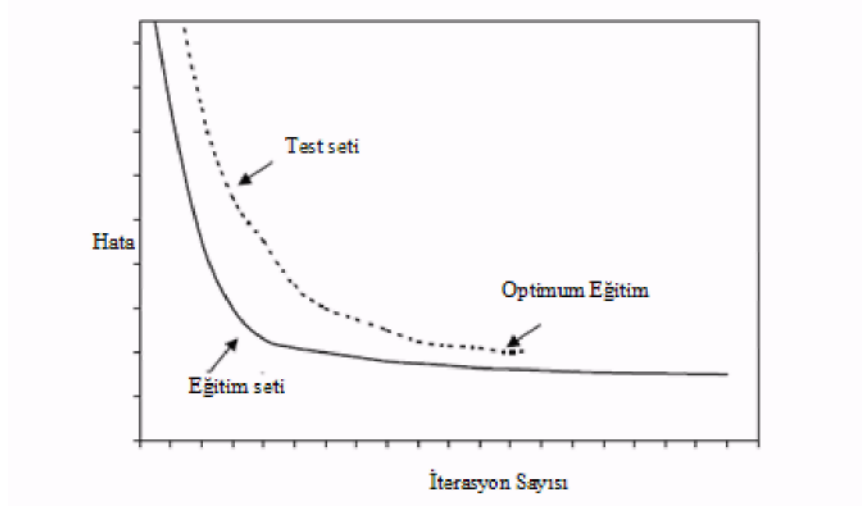
Denetimli öğrenmede, ağı eğitmek için bir öğretici gerekir. Öğretici, çıktı katmanında ağ kararının ne olması gerektiğini belirler. Diğer yandan öğrenmede kullanılacak olan örneklerin seçimi de öğretici tarafından yapılır. Girdiler ve doğru çıktı örnekleri ağa verilir. Ağ, girdiyi işleyerek çıktıyı üretir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

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

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

YSA' da bilginin temsili çok önemlidir. Ağ yapısı ne kadar güzel olursa olsun ya da öğrenme ne kadar iyi gerçekleşirse gerçekleşsin, eğer ağa girilen bilgiler tutarlı

değilse, üretilen sonuçlar da tutarlı ve isabetli olmayacaktır. Öğrenme seti, ağa problemin öğretilmesinde kullanılan girdi ve çıktılardan oluşan bir settir. Denetimli öğrenmede, çıktılar sette bulunurken destekli öğrenme ve denetimsiz öğrenmede bulunmazlar. Öğrenme işlemi için, çoğu zaman bir eğitime algoritması kullanılır ve ağırlıkların nasıl düzenleneceği bu algoritma tarafından belirlenir.



Şekil 3.8. Eğitim ve test seti üzerinde hatayı gösteren tipik bir eğitim eğrisi

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

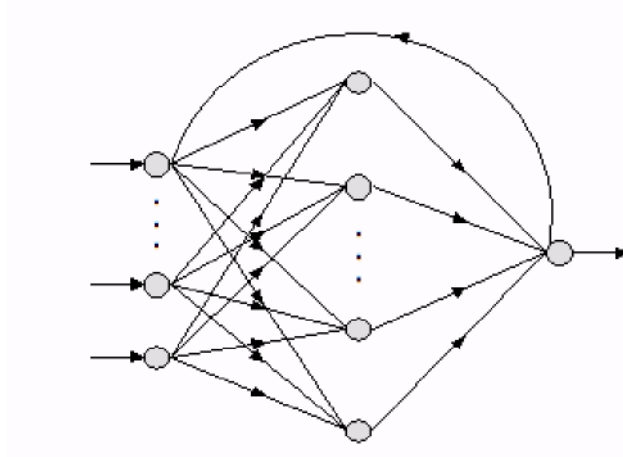
Günümüzde kullanılan sinir ağ modelleri, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bir veya birden fazla gizli katmanı olmak üzere en az üç veya daha fazla katmandan meydana gelir. Girdi katmanı her girdi örneğini sadece bir sonraki katmana aktarmaktan, son iki katman ise bilgiyi işlemekten sorumludur, işlem elemanları,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

Ağ dışından gelen bilgiler girdi katmanında bir işleme tabi tutulmadan hiyerarşik yapıya uygun olarak ara katmandaki elemanlara iletilir. Bilgi işleme sadece ara

katmanlardaki elemanlar ve çıktı katmanındaki elemanlarla gerçekleşir ve ağ dışına sonuç işlenmiş bir şekilde verilir, buna ileri doğru işlem adı verilir.

3.9.3. Hatayı geriye yayma ağı öğrenme prosedürü

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



Şekil 3.9. Hatayı geri yayma prosedürü örnek şekli

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

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

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

7. Eğer hata kabul edilebilir seviyede ise işlem durdurulur, aksi halde 3. adıma geri dönülür.

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

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

3.9.4. Test/uygulama

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

BÖLÜM 4.KOİ DEĞERLERİNDEN BOİ DEĞERLERİNİN TAHMİN EDİLMESİNDE REGRESYON ANALİZİ VE YSA'NIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmanın amacı bir Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisin (AAT)'de ölçülen deneysel Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerlerini kullanarak Yapay Sinir Ağları ile (YSA) Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) değerlerini tahmin etmektir. Bu amaçla A ve B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisleri için KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin regresyon analizi ve YSA'nın karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1. A Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi İçin KOİ Değerlerinden BOİ Değerlerinin Tahmin Edilmesinde Regresyon Analizi Ve YSA'nın Karşılaştırılması

A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde ölçülen 365 adet deneysel KOİ ve BOİ değerleri YSA'nın eğitim ve test setleri için kullanılacaktır. YSA'dan elde edilen sonuçlar daha önceden deneysel olarak ölçülmüş olan 365 adet deney sonuçları ve YSA sonuçları ile kıyaslanacaktır. A Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri minimum ve maksimum değerleri ile birlikte EK1'de verilmiştir. B Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri ile birlikte EK2'de verilmiştir.

Deneysel veri tabanı olarak bir biyolojik atıksu arıtma tesisinden ölçülen bir yıllık 365 adet deneysel KOİ ve BOİ değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmadaki 365 adet deneysel verinin 315 tanesi YSA'nın eğitiminde 50 tanesi de YSA'nın test edilmesinde kullanılmıştır.

Önerilen YSA'nın girdi katmanında, KOİ (mg / lt) olmak üzere 1 parametre çıktı katmanında ise BOİ (mg / lt) olmak üzere 1 parametre kullanılmıştır. Tablo 4.1'de bu parametrelerin minimum ve maksimumları verilmiştir.

Tablo 4.1. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Veritabanındaki parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

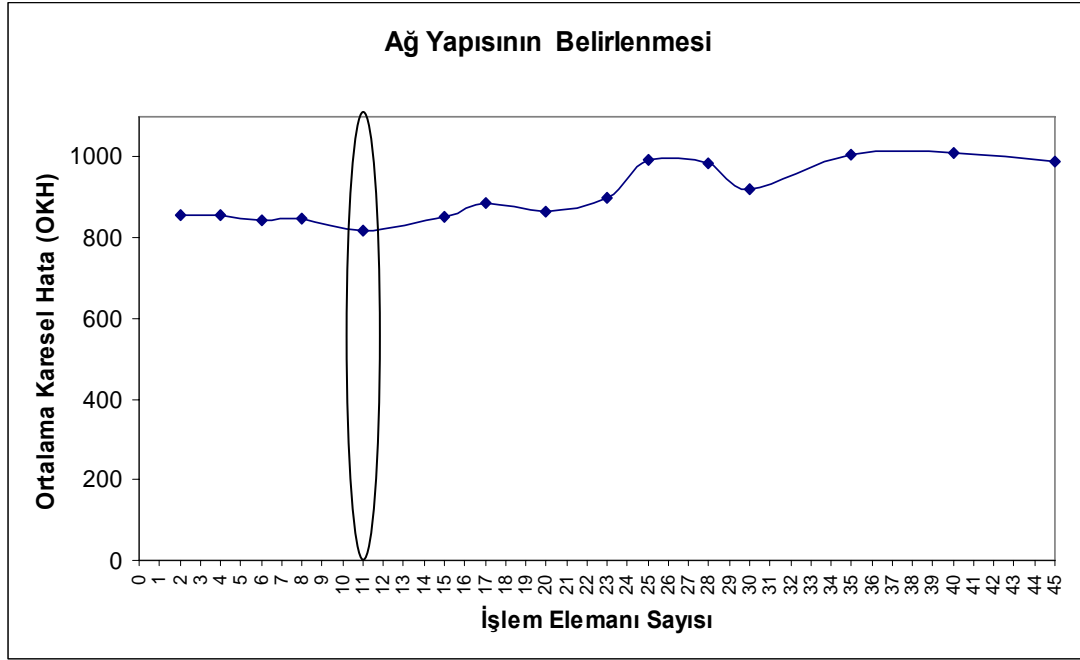
Değişkenler	Minimum	Maksimum
KOİ (mg/l)	73	865
BOİ (mg/l)	33	490

Başlangıçta 365 adet deney veri ve sonuçları YSA' nın en uygun ağ yapısını belirlemek üzere 315 tanesi eğitim setinde ve 50 tanesi test setinde kullanılmak üzere ikiye ayrılmıştır. YSA metodunda en uygun ağ yapısını belirlemek için gizli katman sayısı bir katmanlı olarak seçilerek tek katmanlı yapıda 2 ila 45 işlem elemanı farklı varyasyonlarında YSA' nın performansları araştırılmıştır. Burada performansın değerlendirilmesinde ortalama karesel hata (OKH) kullanılmıştır. Bu yöntemde YSA' dan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları arasındaki en az ortalama karesel hatayı veren ağ yapısı saptanmaya çalışılmıştır. OKH aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (BOI_d - BOI_{ysa})$$

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

Sonuç olarak eğitim setinde 703 ve test setinde 818 olmak üzere en az ortalama karesel hatayı veren tek gizli katmanlı ve 11 işlem elemanlı ağ yapısının en uygun olduğu deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Şekil 4.1'de tek gizli katmanlı işlem elemanı sayılarına bağlı olarak test sonuçlarının ortalama karesel hataları verilmiştir. Bundan sonra test seti örneklerini artırarak daha gerçekçi bir tahmin elde etmek amacıyla eğitim setinde 250 ve test setinde 115 veri olmak üzere setler yeniden oluşturulmuştur. Bu yeni veri setleri en uygun ağ yapısı belirlenmiş olan YSA'nda analiz edilmiş ve YSA' dan elde edilen sonuçlar deney ve model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların çizelge halinde özeti EK3'de verilmiştir.



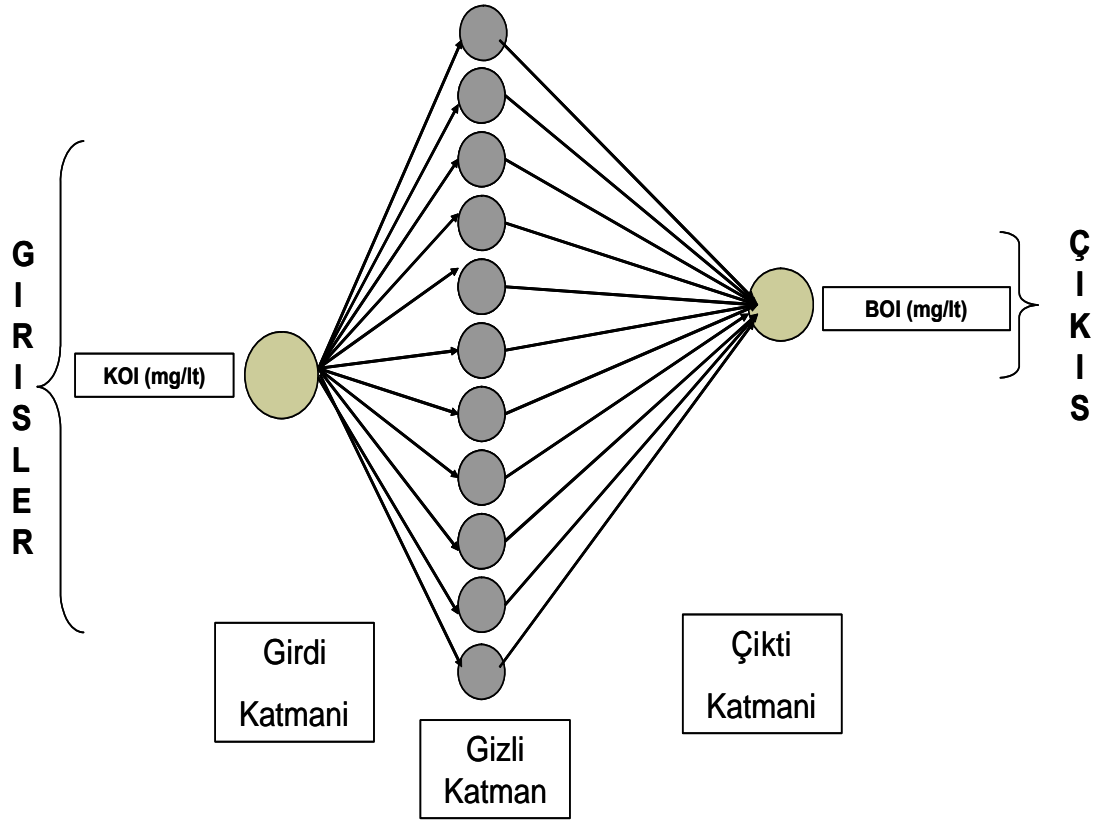
Şekil 4.1. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Tek gizli katmanlı YSA' nın işlem elemanı sayısına bağlı olarak test sonuçlarının ortalama karesel hataları

4.1.1. A biyolojik atıksu arıtma tesisi için önerilen model ve programın tanıtılması

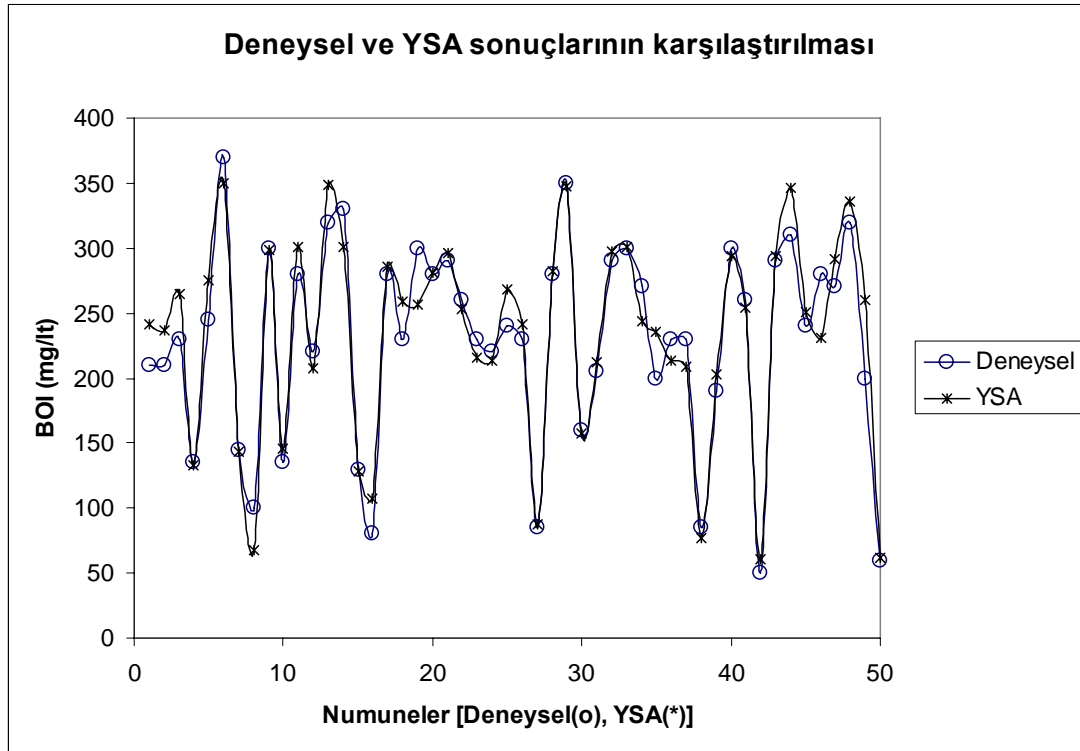
Önerilen YSA modelinin mimarisi Şekil 4.2'de girdi ve çıktı katmanı bilgileri ise Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Girdi ve Çıktı Katmanı Bilgileri

Simge	Açıklaması
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/lt)
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı (mg/lt)



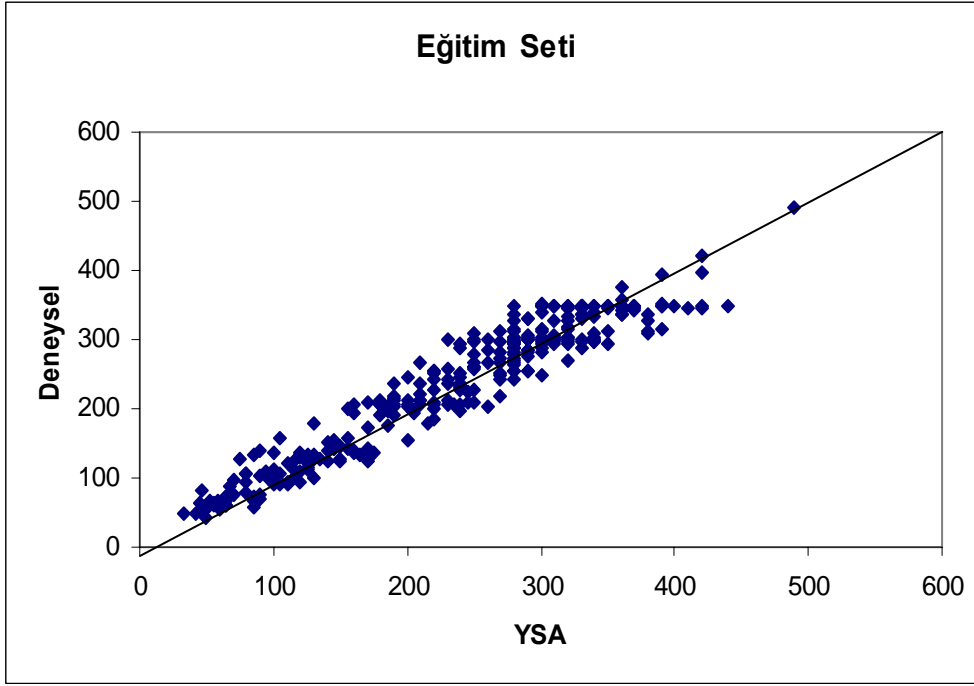
Şekil 4.2. Önerilen YSA modelinin mimarisi.



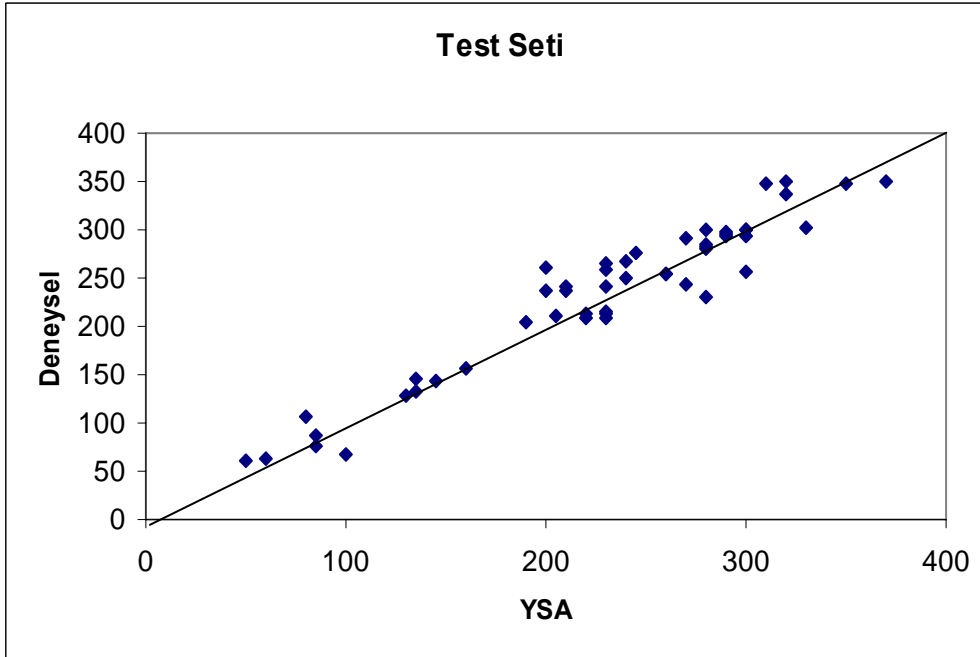
Şekil 4.3. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Deneyel ve YSA sonuçlarının karşılaştırılması.

Grafiklerde düşey eksen BOİ değerlerini, yatay eksen ise örnek sayısını göstermektedir. Deney sonuçları yuvarlak işareti ile YSA sonuçları yıldız semboller ile gösterilmiştir.

Aşağıda YSA eğitim ve sonuçları ile deneysel sonuçların $x=y$ doğrusu üzerindeki dağılımları eğitim seti için (Şekil 4.4) test seti için (Şekil 4.5) grafikler halinde gösterilmiştir. YSA modelinin sonuçları ile deneysel bulgu değerlerinin $x=y$ doğrusundaki dağılımları YSA modelinin problemi öğrenme performansının nasıl değiştiğini göstermektedir.



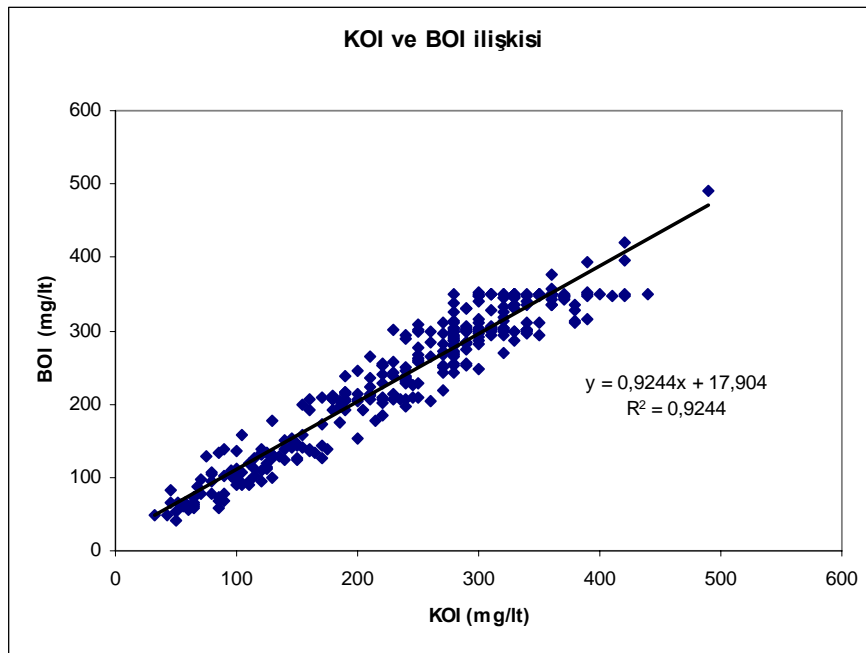
Şekil 4.4. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların eğitim seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi



Şekil 4.5. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların test seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi

4.1.2. A biyolojik atıksu arıtma tesisi için regresyon analizi

Eğitim ve test verileri kullanılarak lineer regresyon metodu ile eğitim verilerinden aşağıda ki gibi bir doğru denklemi elde edilmiştir. Ve test verilerinde kullanılarak KOİ değerlerinden BOİ değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin regresyon analizi ile tespit edilmesi.

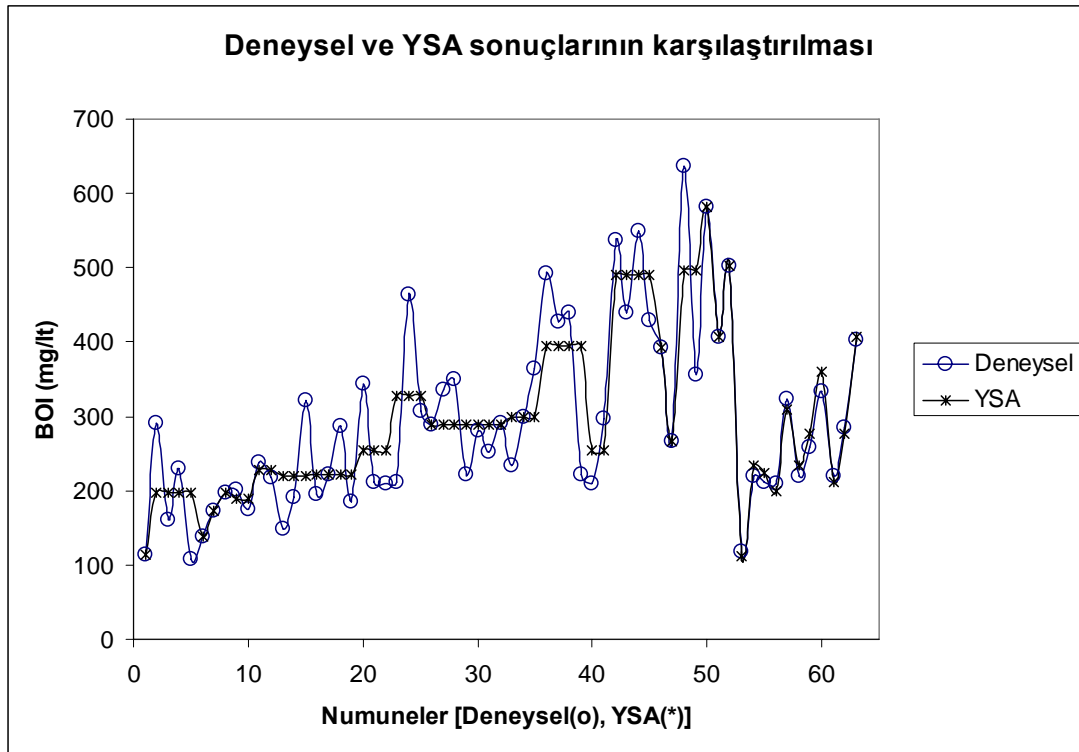
YSA ve Regresyondan elde edilen tahmin sonuçlarının istatistiki olarak karşılaştırılması aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 4.3. A Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Performanslar

	REG	YSA
OMYH	8,88	9,44
OKH	480	818
R2	0,9269	0,8637

4.2. B biyolojik atıksu arıtma tesisi için KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin tahmin edilmesinde regresyon analizi ve YSA'nın karşılaştırılması

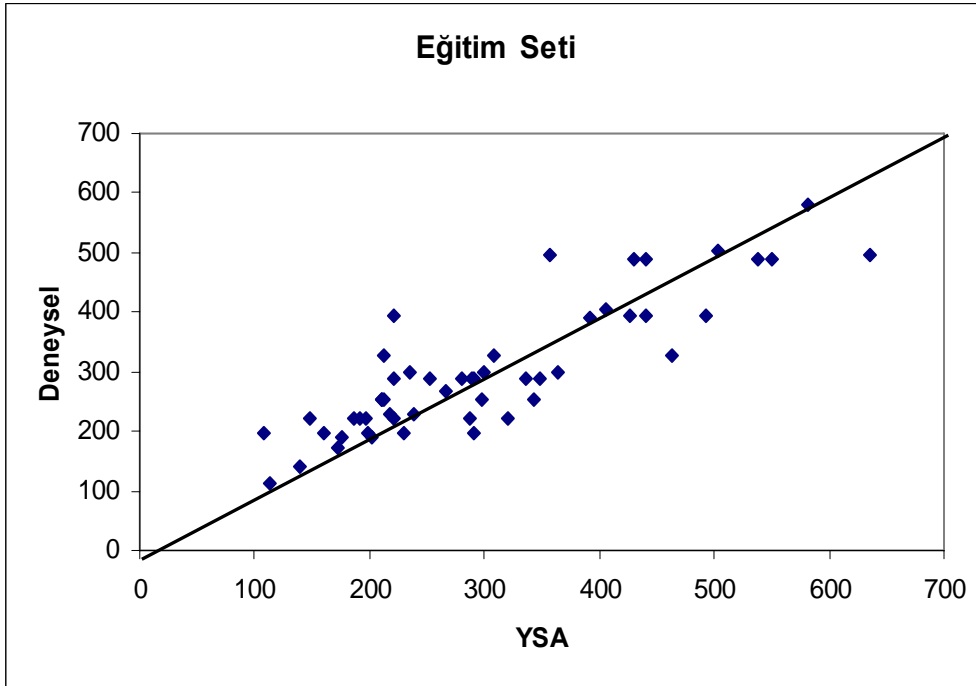
Önerilen YSA modelinin mimarisi ile birlikte girdi ve çıktı katmanı bilgileri bölüm 4.1.1'de gösterildiği gibidir.



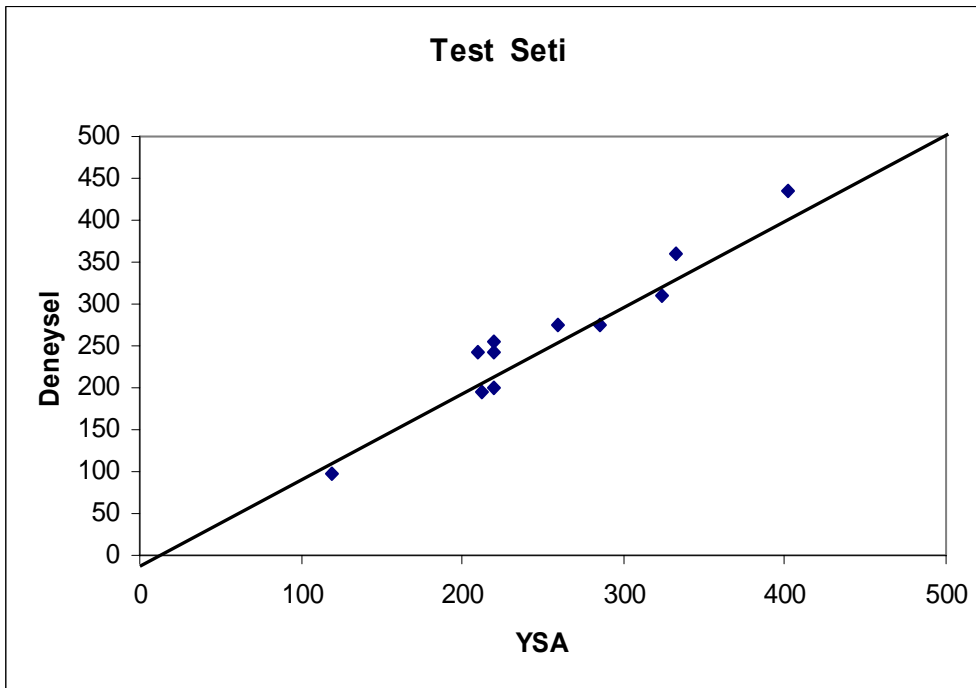
Şekil 4.7. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde deneyel ve YSA sonuçlarının karşılaştırılması.

Grafiklerde düşey eksen BOİ değerlerini, yatay eksen ise örnek sayısını göstermektedir. Deney sonuçları yuvarlak işareti ile YSA sonuçları yıldız semboller ile gösterilmiştir.

Aşağıda YSA eğitim ve sonuçları ile deneyel sonuçların $x=y$ doğrusu üzerindeki dağılımları eğitim seti için (Şekil 4.8) test seti için (Şekil 4.9) grafikler halinde gösterilmiştir. YSA modelinin sonuçları ile deneyel bulgu değerlerinin $x=y$ doğrusundaki dağılımları YSA modelinin problemi öğrenme performansının nasıl değiştiğini göstermektedir. Ek 4'te A Biyolojik Arıtma Tesisi İçin Deneyel-YSA ve Regresyon Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması gösterilmiştir.



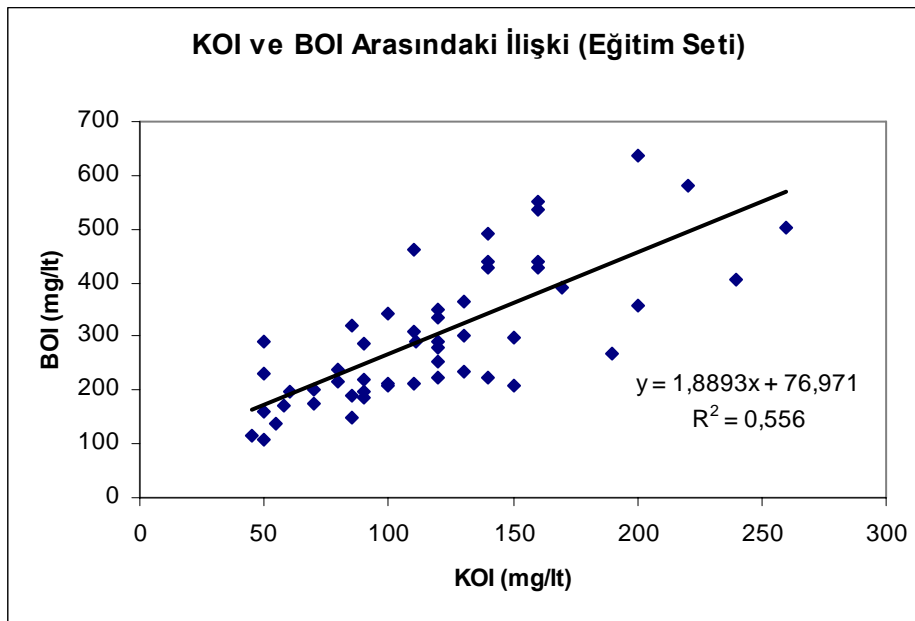
Şekil 4.8. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların eğitim seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi



Şekil 4.9. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde YSA-istenen sonuçların test seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi

4.2.1. B biyolojik atıksu arıtma tesisi için regresyon analizi

Eğitim ve test verileri kullanılarak lineer regresyon metodu ile eğitim verilerinden aşağıda ki gibi bir doğru denklemi elde edilmiştir. Ve test verilerinde kullanılarak KOİ değerlerinden BOİ değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde KOİ değerlerinden BOİ değerlerinin regresyon analizi ile tespit edilmesi.

YSA ve Regresyondan elde edilen tahmin sonuçlarının istatistiki olarak karşılaştırılması aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 4.4. B Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde Performanslar

	REG	YSA
OMYH	31,03	9,67
OKH	6922	563,09
R2	0,7105	0,9383

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada A biyolojik atıksu arıtma tesisinde ölçülen deneysel kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerlerini kullanarak Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bir biyolojik atıksu arıtma tesisinden ölçülen 365 adet deneysel KOİ ve BOİ değerlerinin 315 tanesi Yapay Sinir Ağlarının eğitim setinde 50 tanesi test setinde kullanılmak şartı ile BOİ değerlerinin tahmin edilmesi için en uygun katmanlı ve işlem elemanlı Yapay Sinir Ağı mimarisi bulunmaya çalışılmıştır. Bunu belirlerken deney ve Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında en az ortalama karesel hatayı (OKH) veren mimari belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre uygun Yapay Sinir Ağı mimarisinin tek katmanlı ve 11 işlem elemanlı olduğu belirlenmiştir. Bu mimaride eğitim setinde 703 test setinde 818 olmak üzere en az ortalama karesel hata elde edilmiştir.

Aynı zamanda eğitim setinde lineer regresyon metodu kullanılarak bir doğru denklemi elde edilerek, test setindeki KOİ değerlerinden BOİ değerleri hesaplanmıştır. En uygun YSA mimarisini belirledikten sonra deney sonuçları YSA' dan elde edilen sonuçlar ve regresyondan elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır. Buna göre ortalama karesel hatalar ve R^2 ler YSA için (818), (0,8637) regresyon için (480), (0,9269) olarak bulunmuştur.

İlaveten uygulanan B biyolojik atıksu arıtma tesisi içinde En uygun YSA mimarisini belirledikten sonra deney sonuçları YSA' dan elde edilen sonuçlar ve regresyondan elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır. Buna göre ortalama karesel hatalar ve R^2 ler YSA için (563,09), (0,9383) regresyon için (692,2), (0,7105) olarak bulunmuştur. Buna göre YSA' dan elde edilen sonuçlarda regresyon analizinde elde edilen sonuçlar kadar iyi olduğu görülmüştür.

Bu da Yapay Sinir Ağlarının atıksu arıtma tesislerinde performans parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir alternatif bir metot olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

CIWEN (1998). An introduction to Wastewater Treatment. Terence Dalton Publishers Ltd., United Kingdom.

VanLoosdrecht, M. C. M., Kuba, T., Van Veldhuizen, H. M., Brandse, F. A. and Heijnen, J. J. (1997). Environmental impact of nutrient removal processes: case study. Journal of Environmental Engineering. (123) pp. 33 - 40.

Bayazıt, M., ve Oğuz, B., (1994), Mühendisler için istatistik. Birsen Yayınevi, Çağaloğlu, İST.

Mehra P.and Wah B. J. Artificial Neural Networks: Concepts and Theory, IEEE Computer Society Press, Washington, 1992, p 45

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

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

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

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, New York, United States, Water Environment Federation, 2003

EKLER

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
1	73	50
2	87	33
3	89	42
4	97	50
5	103	60
6	106	85
7	113	65
8	115	56
9	118	50
10	119	60
11	121	60
12	122	60
13	123	64
14	127	65
15	128	60
16	131	55
17	139	45
18	140	52
19	142	65
20	143	58
21	144	85
22	146	100
23	147	90
24	153	85
25	155	65
26	155	65
27	158	90
28	158	85
29	158	70
30	160	80
31	163	46
32	168	68
33	169	85
34	172	105
35	173	110
36	173	100
37	175	105
38	179	120
39	179	110
40	179	80

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
41	180	70
42	182	98
43	186	130
44	189	115
45	191	96
46	192	90
47	193	100
48	196	80
49	199	105
50	200	80
51	201	80
52	202	100
53	205	120
54	206	95
55	207	125
56	209	100
57	210	115
58	213	125
59	221	125
60	221	110
61	227	150
62	228	140
63	229	170
64	229	115
65	231	130
66	232	150
67	235	135
68	235	130
69	235	75
70	241	130
71	241	120
72	243	130
73	245	120
74	247	165
75	247	125
76	247	85
77	252	100
78	256	160
79	259	120
80	260	175

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
81	261	160
82	262	90
83	264	140
84	270	145
85	271	155
86	274	170
87	276	145
88	278	150
89	282	135
90	283	150
91	290	140
92	295	200
93	295	145
94	300	155
95	301	105
96	316	170
97	318	185
98	321	215
99	322	130
100	337	190
101	338	180
102	340	205
103	340	160
104	348	185
105	354	155
106	356	220
107	363	185
108	364	190
109	365	190
110	369	200
111	373	200
112	375	210
113	375	180
114	375	180
115	377	160
116	382	220
117	385	240
118	385	190
119	388	220
120	388	220

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
121	391	250
122	391	230
123	392	170
124	401	210
125	402	180
126	404	230
127	405	230
128	406	210
129	406	200
130	406	190
131	410	190
132	413	190
133	416	270
134	422	210
135	426	245
136	431	250
137	431	220
138	432	240
139	439	280
140	439	240
141	441	240
142	445	240
143	451	240
144	451	210
145	452	240
146	453	230
147	453	190
148	459	220
149	459	210
150	460	230
151	462	270
152	463	280
153	466	200
154	467	240
155	469	300
156	472	270
157	473	240
158	475	270
159	476	220
160	477	290

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
161	477	280
162	477	220
163	480	220
164	481	290
165	481	280
166	483	250
167	485	230
168	487	250
169	491	250
170	494	280
171	496	260
172	497	210
173	499	280
174	499	270
175	499	250
176	500	240
177	501	320
178	502	280
179	504	280
180	505	270
181	507	290
182	511	250
183	512	280
184	514	280
185	515	270
186	516	300
187	516	290
188	516	280
189	517	260
190	519	290
191	519	290
192	521	300
193	521	280
194	521	280
195	522	330
196	524	280
197	524	240
198	530	300
199	530	280
200	531	240

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
201	533	350
202	534	290
203	534	280
204	535	310
205	536	320
206	540	340
207	545	270
208	546	300
209	547	340
210	547	280
211	548	310
212	548	280
213	549	280
214	551	330
215	551	320
216	552	250
217	555	290
218	556	330
219	559	260
220	562	300
221	562	290
222	566	340
223	566	300
224	566	300
225	566	230
226	568	320
227	568	280
228	569	340
229	569	310
230	570	250
231	571	310
232	571	310
233	571	290
234	573	340
235	573	290
236	576	310
237	577	290
238	577	280
239	579	300
240	579	280

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
241	580	320
242	580	320
243	583	310
244	583	290
245	589	380
246	589	340
247	590	350
248	590	300
249	590	270
250	591	280
251	592	380
252	594	320
253	595	300
254	596	390
255	597	320
256	605	320
257	605	280
258	606	310
259	608	290
260	608	290
261	610	330
262	611	320
263	613	340
264	614	360
265	614	330
266	614	330
267	615	360
268	616	280
269	619	340
270	620	300
271	625	370
272	625	360
273	627	320
274	628	370
275	629	330
276	629	330
277	630	320
278	633	420
279	633	370
280	637	370

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
281	640	340
282	641	360
283	642	330
284	643	370
285	645	300
286	647	440
287	647	340
288	650	320
289	651	330
290	652	360
291	652	330
292	656	390
293	656	350
294	657	330
295	658	400
296	658	350
297	661	370
298	663	310
299	664	320
300	665	350
301	669	360
302	673	360
303	673	310
304	673	300
305	676	280
306	677	310
307	680	330
308	682	420
309	682	360
310	691	330
311	696	390
312	701	350
313	711	410
314	717	300
315	729	360
316	738	360
317	747	390
318	750	420
319	769	390
320	769	300

Ek 1. A Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri(Devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
321	838	420
322	865	490
323	245	135
324	276	145
325	299	160
326	328	220
327	349	240
328	365	260
329	374	235
330	381	230
331	388	245
332	402	205
333	410	230
334	406	220
335	450	200
336	451	210
337	460	230
338	463	270
339	473	240
340	477	260
341	478	260
342	482	300
343	488	200
344	487	230
345	496	230
346	508	245
347	514	280
348	519	280
349	527	270
350	534	300
351	541	290
352	549	290
353	557	300
354	566	280
355	571	330
356	587	250
357	594	280
358	607	380
359	614	380
360	615	320
361	635	310
362	653	320
363	690	350
364	721	370
365	778	310
min	73	33
mak	865	490

Ek 2. B Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri

No	KOI (mg/lit)	BOİ (mg/lit)
1	45	114
2	50	290
3	50	160
4	50	229
5	50	108
6	55	139
7	58	172
8	60	198
9	70	202
10	70	176
11	80	239
12	80	217
13	85	148
14	85	191
15	85	321
16	90	196
17	90	221
18	90	287
19	90	186
20	100	343
21	100	212
22	100	210
23	110	212
24	110	463
25	110	308
26	111	289
27	120	336
28	120	349
29	120	222
30	120	280
31	120	253
32	120	290
33	130	235
34	130	300
35	130	364
36	140	492
37	140	427
38	140	440
39	140	222
40	150	210
41	150	297
42	160	538
43	160	440
44	160	550
45	160	430

Ek 2. B Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan bir yıllık deneysel KOİ ve BOİ değerleri (devamı)

No	KOI (mg/l)	BOİ (mg/l)
46	170	392
47	190	267
48	200	636
49	200	357
50	220	581
51	240	406
52	260	503
53	50	119
54	100	220
55	110	212
56	110	210
57	120	324
58	120	220
59	130	259
60	140	333
61	150	220
62	170	285
63	240	402

Ek 3. A Biyolojik Arıtma Tesisi İçin Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performans Çizelgesi

İşlem elemanı	EĞİTİM SETİ			TEST SETİ		
	OMYH	OKH	R ²	OMYH	OKH	R ²
2	10,7744	760,1616	0,9239	9,8386	856,3552	0,8547
4	10,4945	735,448	0,9264	9,7321	855,3511	0,8558
6	10,4466	729,2663	0,927	9,4936	841,2874	0,8591
8	10,4704	723,4073	0,9276	9,6342	848,2742	0,8589
11	10,2727	702,3724	0,9297	9,4456	818,8048	0,8637
15	10,1484	696,2072	0,9303	9,7612	853,707	0,8581
17	9,902	682,1839	0,9317	10,0179	885,5214	0,8516
20	9,6771	655,5205	0,9344	9,8711	866,7193	0,8566
23	9,7683	661,6283	0,9338	10,2017	897,6378	0,8513
25	9,6326	640,4375	0,9359	10,5726	991,1714	0,8388
28	9,568	628,6811	0,9371	10,5271	983,0599	0,8391
30	9,5037	630,4547	0,9369	10,36	920,3184	0,8521
35	9,3962	607,5871	0,9392	10,8	1007,223	0,8321
40	9,3205	600,3206	0,9399	11,042	1011,804	0,8363
45	9,1592	854,711	0,9413	10,596	990,552	0,8412

Ek 4. A Biyolojik Arıtma Tesisi İçin Deneysel-YSA ve Regresyon Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması

EĞİTİM			TEST		
Deneysel	YSA	REGRESYON	Deneysel	YSA	REGRESYON
50	42	41,7617	135	133	130
33	48	49,0879	145	143	147
42	49	50,1345	160	157	159
50	53	54,3209	205	212	174
60	56	57,4607	230	215	185
85	57	59,0306	220	214	194
65	59	62,6937	200	236	199
56	60	63,7403	210	237	202
60	61	65,3102	230	242	206
60	61	65,8335	270	244	213
60	61	66,8801	240	251	218
64	61	67,4034	260	253	216
65	62	67,9267	260	254	239
220	184	70,0199	300	256	239
240	198	70,5432	200	260	244
260	203	72,1131	230	259	246

ÖZGEÇMİŞ

Mücahit Sezer, 05.07.1980 de Tekirdağ' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1999 yılında başladığı SAÜ Çevre Mühendisliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. 2005 yılında Biat Holding kuruluşunun inşaat departmanında uluslararası işler sorumlusu ve teklif hazırlama departmanı görevlisi olarak çalışma hayatına başlamış bulunup çalışmasına devam etmektedir. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamış olup halen eğitimine devam etmektedir.