



**KENTSEL ATIKSULARDAN FOSFOR GİDERİMİNDE 5  
KADEME BARDENPHO PROSESİNİN İNCELENMESİ**

**Merve ÖZKAN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ATIKSULARDAN FOSFOR GİDERİMİNDE 5 KADEME  
BARDENPHO PROSESİNİN İNCELENMESİ**

**Merve ÖZKAN**  
0000-0001-9748-7334

Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU  
0000-0002-7730-776X

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Merve ÖZKAN tarafından hazırlanan “Kentsel Atıksulardan Fosfor Gideriminde 5 Kademe Bardenpho Prosesinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU

**Başkan** : Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU  
0000-0002-7730-776X  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Prof. Dr. Taner YONAR  
0000-0002-0387-0656  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Doç. Dr. Nurtaç ÖZ  
0000-0003-2204-6993  
Sakarya Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

.././.....

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**17/01/2020**

**Merve ÖZKAN**  


## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kentsel Atıksulardan Fosfor Gideriminde 5 Kademe Bardenpho  
Prosesinin İncelenmesi

**Merve ÖZKAN**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU

Bu çalışmada, (BUSKİ) bünyesinde işletilen, proses tipi 5 aşamalı Bardenpho olan Batı ve Doğu Atıksu Arıtma Tesisinden (AAT) alınan verilerle, kentsel atıksu arıtımı için fosfor geri kazanımında uygulanabilecek yöntemler araştırılmıştır. Tezde kullanılan veriler 2016 - 2018 döneminde alınan atıksu giriş ve çıkış konsantrasyonlarının ölçülmesine dayandırılmıştır. Bu tez çalışmasında, Bursa Doğu AAT ve Bursa Batı AAT'den alınan girişte ölçülen ve arıtmadan sonra ölçülen parametrelerle yapay sinir ağları kullanılarak fosfor verisinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Yapay sinir ağları (YSA) modellerini oluşturabilmek için MATLAB programı kullanılmıştır. Model geliştirmede; debi ( $m^3/gün$ ), hava sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), su sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), pH, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ, mg/L), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ, mg/L), askıda katı madde (AKM, mg/L), çözünmüş katı madde (CKM, ml/L), toplam azot (N, mg/L) ve toplam fosfor (P, mg/L) değerleri girdi olarak, atıksu çıkış fosfor değeri (mg/L) ise çıktı olarak kullanılmıştır. 10 gizli katmandan oluşan modelde, Doğu AAT için  $R^2$  değeri 0.65789, Batı AAT  $R^2$  değeri 0.2321 bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında, 5 aşamalı Bardenpho Prosesinin başarısı ve kentsel atıksular da fosfor gideriminin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca Yapay sinir ağı kullanılarak deney ve ölçüm miktarlarının azaltılması hedeflenmiştir. Bu durum tesislerin işletilmesinde ve sistem kontrolünde kolaylık sağlamanın yanı sıra bölgesel ve ulusal ekonomiye katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Bardenpho, Fosfor, Yapay Sinir Ağı, Fosfor Giderimi, Atıksu Arıtma Tesisi  
**2020, vii + 79 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

Investigation of 5 Stage Bardenpho Process in Phosphorus Removal From Urban Wasterwaters

**Merve ÖZKAN**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU

In this study, a method used for phosphorus recovery for urban wastewater treatment is investigated by using data obtained from West and East Wastewater Treatment (WWTP) Plant which is managed by BUSKI (Bursa Metropolitan Municipality General Directorate of Water and Sewerage Administration). The process type used in this plant is the 5-stage Bardenpho. The data used in the thesis is based on the measurement of wastewater input and output concentrations taken in 2016-2018 period. In this thesis, it is aimed to estimate the phosphorus data via artificial neural networks with input and output parameters in Bursa East WWTP and Bursa West WWTP. MATLAB program was used to create artificial neural network models. In model development; flow, air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), water temperature, pH, biological oxygen demand (BOD mg/L), chemical oxygen demand (COD mg / L), suspended solids, dissolved solids, nitrogen and phosphorus values are used as input and wastewater output phosphorus value are taken as output. Using 10 hidden layers,  $R^2$  obtained for the eastern WWTP is 0.65789 and for the western WWTP is 0.2321

In this thesis, the success of 5-step Bardenpho Process and the importance of phosphorus removal in urban wastewater are emphasized. In addition, the amount of experiments and measurements will be reduced with the artificial neural network used in this study. This will not only facilitate facility operation and system control, but will also contribute to the regional and national economy.

**Key words:** Bardenpho, Phosphorus Removal, Artificial Neural Network, WasterWater Treatment Plant

**2020, vii + 79 pages.**

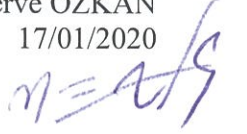
## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisansımı, danışmanlığı altında yürüttüğüm tez çalışmam boyunca, tecrübesiyle bana hep yol gösteren, her ihtiyacım olduğunda yanımda olan, desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, çok değerli hocam Prof. Dr. N. Kamil Salihoglu'na, teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisansım boyunca her daim yanımda olan, her tökezlediğimde yoluma ışık tutan, her zaman arkamda duran çok kıymetli hocam Doç. Dr. Rana Özbakır'a ve tez çalışmam da desteğini ve yardımını esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Oğuz Kaynar'a, teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca sonsuz sevgileri ve sabırlarıyla yanımda olan, yaşamımın her anında beni yüreklendiren, maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen, koşulsuz şartsız sevgilerini ve desteklerini her zaman hissettiğim canım babam Eyüp Özkan'a ve canım annem Fatma Özkan'a, teşekkürlerimi sunarım.

Merve ÖZKAN  
17/01/2020



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	10
3.1. Atıksularda Fosforun Varlığı ve Önemi.....	10
3.2. Kentsel Atıksular.....	13
3.3. Evsel Atıksular.....	17
3.4. Endüstriyel Atıksular.....	17
3.5. Kentsel Atıksuyu Etkileyen faktörler.....	17
3.6. Kentsel Atıksularda Geri Kazanım ve Yeniden Kullanımı.....	18
3.7. Atıksu Arıtma Yöntemleri.....	18
3.8. Atıksu Arıtımında Fosfor Gideriminin Önemi.....	22
3.9. Kentsel Atıksu Arıtımında Nutrient Gidermek İçin Kullanılan Biyolojik Prosesler.....	23
3.9.1. Phoredox prosesi (A/O prosesi).....	23
3.9.2. A2/O prosesi.....	24
3.9.3. Standart UCT prosesi.....	25
3.9.4. Modifiye UCT prosesi.....	27
3.9.5. VIP (virginia initiative plant) prosesi.....	27
3.9.6. Ardışık kesikli reaktör.....	27
3.9.7. Bardenpho prosesi (dört basamaklı).....	28
3.9.8. Beş basamaklı bardenpho prosesi.....	29
3.10. Yapay Sinir Ağları.....	32
3.10.1. Yapay sinir ağı tanım ve görevleri.....	32
3.10.2. Yapay sinir ağlarının günümüze kadar olan gelişimi.....	34
3.10.3. YSA'nın temel işlevi ve yapısı.....	35
3.10.4. Yapay sinir hücresi.....	35
3.10.5. YSA'nın üstünlükleri ve sakıncaları.....	36
3.10.6. YSA'nın kullanıldığı alanlar.....	37
3.11. Yapay Sinir Ağı Modelleri (Öğrenme yöntemleri).....	37
3.11.1. Öğretmenli öğrenme.....	38
3.11.2. Danışmansız öğrenme (unsupervised).....	38
3.11.3. Karma stratejiler.....	38
3.12. ÇKA Modeli.....	39
3.12.1. Çok katmanlı ağın öğrenme nizamı.....	40
3.12.2. ÇKA'nın çalışma prosedürü.....	40
3.13. YSA'nın İşlem Elemanları.....	41
3.14. Ağ Tipleri.....	43
3.14.1. İleri beslemeli ağ.....	43
3.14.2. Geri beslemeli ağ.....	44
3.14.3. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları (İBGYYSA).....	45



3.15. Tasarım.....	47
3.16. Test Uygulama (Doğrulama).....	49
4. BULGULAR.....	50
4.1. Batı ve Doğu AAT.....	50
4.2. Doğu ve Batı aat kullanılan proses ve veriler.....	50
4.3. Yapay Sinir Ağın İle Doğu Ve Batı AAT Verilerinin Değerlendirilmesi.....	51
4.4. YSA ile Çıkış Fosfor Değerinin Tahmin Edilmesi.....	53
5. SONUÇ.....	70
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	80



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
N	Azot
P	Fosfor
pH	Potansiyel Hidrojen

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AKM	Askıda Katı Madde
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
BM	Birleşmiş Milletler
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Kurumu
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
CKM	Çözünmüş Katı Madde
ÇO	Çözünmüş Oksijen
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı
TÜRAAT	Ülke Geneli Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespit Projesi
YSA	Yapay Sınır Ağı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1 Phoredox prosesi şematik olarak gösterimi.....	24
Şekil 3.2. A2/O prosesi şematik olarak gösterimi.....	25
Şekil 3.3. Standart UCT prosesinin şematik görünümü.....	26
Şekil 3.4. Modifiye UCT prosesinin şematik görünümü.....	27
Şekil 3.5. VIP prosesinin şematik görünümü.....	27
Şekil 3.6. AKR prosesinin şematik görünümü.....	28
Şekil 3.7. Dört Basamaklı Bardenpho prosesinin şematik görünümü.....	29
Şekil 3.8. Beş Basamaklı Bardenpho prosesinin şematik görünümü.....	30
Şekil 3.9. Yapay sinir hücresinin yapısı.....	35
Şekil 3.10. Çok katmanlı ağ modeli.....	39
Şekil 3.11. YSA'nın işlem elemanının yapısı.....	41
Şekil 3.12. Yapay sinir ağı katmanının birbiriyle olan ilişkisi.....	42
Şekil 3.13. Bir yapay sinir ağı örneği.....	43
Şekil 3.14. Çok katmanlı ağ modelleri.....	44
Şekil 3.15. Üç tabakalı ileri beslemeli YSA.....	46
Şekil 3.16. Tipik gizli ya da çıktı tabakasına ait nöronun yapısı.....	46
Şekil 3.17. Sinir ağı modeli.....	48
Şekil 4.1. Neurol network dataların seçilerek doğrulama ve test oranlarının belirlendiği sayfalar.....	52
Şekil 4.2. Neurol network gizli katman ile öğrenme algoritmasının seçildiği sayfalar.....	53
Şekil 4.3. Doğu AAT fosfor tahmini için Network yapısı.....	55
Şekil 4.4. Doğu AAT için hata grafiği.....	58
Şekil 4.5. Doğu AAT için %80 eğitim %10 doğrulama %10 test değerleri ile oluşturulan model.....	59
Şekil 4.6. Doğu AAT için fosfor tahminindeki performansın belirlenmesi (gözlenen fosfor .....)	60
Şekil 4.7. Çıkış fosfor için ölçülen değerlerin YSA tahmin değerleri ile kıyaslanması.....	60
Şekil 4.8. Batı AAT için hata grafiği.....	64
Şekil 4.9. Neurol networkte girilen %85 eğitim, %10 doğrulama ve %5 test değerleri için elde edilen grafikler.....	65
Şekil 4.10. Eğitim kümesi için dağılım grafiği.....	66
Şekil 4.11. Çıkış fosfor için ölçülen değerlerin YSA tahmin değerleri ile kıyaslanması.....	66
Şekil 4.12. 10 gizli katmandan oluşan 1 girdi 1 çıktı için neurol network yapısı.....	67
Şekil 4.13. Doğu AAT fosfor çıktısı için Bayesian Regularization öğrenme modeli ile %80 eğitim, %10 doğrulama, %10 test ile oluşturulan model.....	69

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. çevre mühendisliği uygulamalarında sıklıkla rastlanan fosfor bileşikleri ..10	
Çizelge 3.2. Su ve atıksu ile ilgili parametreler.....14	
Çizelge 4.1. Fosfor çıkış tahmini için uygulamanın girdi ve çıktıları.....54	
Çizelge 4.2. YSA'da uygulanan eğitim, doğrulama ve test değerleri.....56	
Çizelge 4.3. Doğu AAT tüm veriler girdi fosfor çıktı için yapılan testler.....57	
Çizelge 4.4. Değişik İterasyon değerlerine göre; train,validation ve test değerleri.....61	
Çizelge 4.5. Doğu AAT için MLP'de girdi ve çıktı değerleri için regrasyon analizi.....62	
Çizelge 4.6. Doğu AAT %80 eğitim ,%10 doğrulama %10 test değerleri için R <sup>2</sup> değerleri.....62	
Çizelge 4.7. Batı AAT için, 10 girdiden ve 1 çıktıdan oluşan mimarinin eğitim, validasyon ve test oranlarına göre training, validation,test ve all grafiklerinden elde edilen R değerleri .....63	
Çizelge 4.8. Batı AAT verileri ile farklı validation MLP'de girdi ve çıktı değerleri için regrasyon analizi.....67	
Çizelge 4.9. Doğu AAT %80 eğitim ,%10 doğrulama %10 test değerleri için R <sup>2</sup> değerleri.....68	



## 1. GİRİŞ

Globalleşen dünyada, nüfus artışının bir sonucu olarak atıksu miktarı da artmaktadır (Manav 2013). TÜİK verileri baz alındığında Türkiye'nin nüfus artış hızı %1,47'dir. Ülkemizdeki nüfus artışı, dünya nüfus artış ortalamasıyla kıyaslanabilir seviyelerdedir (Anonim 2018). UNESCO'nun 2018 yılı BM'ler Dünya Su Geliştirme Raporu donelerine göre iki milyar insan emniyetli suya ulaşamamaktadır. Küresel su ihtiyacının 2050 yılına gelindiğinde, bugün ihtiyaç duyduğumuz orandan %30'dan daha fazla olacağı belirtilmiştir. Bakanlık ile Selçuk Üniversitesinin birlikte yürüttüğü TÜRAAT projesine göre, tekrar kullanılma varlığı bulunan arıtılmış suların %99'u tekrar kullanılamamakta bu sebepten mevcut kaynaklarımız hızla tükenmektedir (Anonim 2015). Sürekli artan nüfus, azalan su kaynakları, temiz suya ulaşmanın her geçen gün zorlaşması atıksuların arıtılmasının önemini ortaya koymaktadır. Kaliteli su kaynaklar için ileri teknolojilere gereksinim vardır (Manav 2006).

Organizmanın hayatta kalması için ve yaşamı boyunca ihtiyaç duyduğu önemli besin maddelerinden biri fosfordur. Yaşamsal öneme sahip olan fosfor sınır elementtir ve başka elementler fosforun yerine geçemez. Fosforun sürdürülebilir kullanımı büyük önem arz eder bu sebepten dolayı bilim insanları atık maddelerden fosforu geri kazanmak, yeniden kullanmak amacıyla yeni teknolojiler aramakta ve yeni yöntemler geliştirerek çalışmalarını sürdürmektedirler. Kaynaklarının tükenmiş olması ve doğal çıkarımının ekonomik açıdan artık mümkün olmayışı fosforun önemini arttırmaktadır.

Atıksularda ki yüksek nütrient içeriği çevreye deşarj edildiği takdirde toksisite, ötrofikasyon ve oksijen tüketimi gibi küresel çevre sorunlarına sebep olur (Asrafhi 2019). Daha çok bu belirtiler yaz aylarında alglerin çoğalmasıyla görülür. Alglerin çoğalması çözünmüş oksijen miktarını azaltır (Yazıcı 2014). Balık ölümleri flora ve faunana çeşitliliğinin azalması ve bulanıklığın artış göstermesi alg patlamasının diğer sonuçlarıdır (Ortatepe 2013).

Kentsel atıksular da ana kirletici olarak organik kirleticiler ile fosfor, azot, askıda katılar bilinmektedir. Ötrofikasyona mühim katkısı olması sebebiyle azot ve fosforun, alıcı ortama gönderilmeden önce atıksudan giderilmesi gerekir. Fosfor, tüm canlı hücreler için varlığı zorunlu olan bir makronütrienttir. Göl ve diğer su ortamlarında alg ve

bitkilerin büyümesini sınırlandıran nütrienttir. Biyolojik olarak arıtım yöntemleri işletim kolaylığı, maksimum kalitede çıkış suyu özellikleri nedeniyle tercih sebebidir. Dünyada atık sulardan fosforun geri kazanımına ilişkin farklı metotlar bulunmaktadır. Bu metotlardan yaygın olarak kullanılanları; Phoredox (A/O) prosesi, A2/O (Anaerobik/Anoksik/Oksik) prosesi ve UCT (Cape Town Üniversitesi), 5 Aşamalı Bardenpho prosesleridir (Yıldırım 2012). Biyolojik olarak fosfor giderme metotlarında az miktarda çamur oluşumu, atık çamur fosfor içeriğinin fazla olması, iyi gübre değerine sahip olması, oluşan çamurun iyi çökebilmesi ve TN değerinin kıyaslandığı taktirde birçok procesten az miktarlarda olmasından dolayı 5 Aşamalı Bardenpho Prosesi tercih edilmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi ve yönetmelikte yer alan çıkış suyu sınır değeri parametreleri sağlanması gerekmektedir. Kentsel atıksu tesislerinin performansı için genel ve daha gelişmiş modeller kullanılarak tahmin edilmesinde yaşanan güçlükler vardır. Aynı zamanda performansı birden fazla parametre etkilemektedir. Bu sebepten yapay sinir ağları kullanılmakta ve daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Yıldız 2009). Yapay sinir ağları ile yapılan çalışmalar genel itibariyle BOİ ve azot gibi parametreler üzerinedir. Bardenpho prosesi ile YSA'da fosfor gideriminin incelenmesi üzerine yoğunlaşılın çalışma miktarı oldukça azdır. Bu yüzden bu çalışma kentsel atıksulardan 5 kademe Bardenpho prosesi ile fosfor gideriminin incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada ki, atıksu verilerinin kaynakları; Bursa ili Özlüce mevkiinde yer alan Bursa Batı Atıksu Arıtma tesisi ile Bursa ilinin Küçük Balıklı mevkiinde yer alan Bursa Doğu Atıksu Arıtma tesisidir. Bursa Doğu AAT ve Bursa Batı AAT'leri atık su kalitesi standartlara uygun olan tesislerdir. Verilerin toplanması, 2016-2018 döneminde, düzenli olarak konsantrasyonlarının ölçülmesine dayandırılmıştır. Bursa Doğu AAT ve Bursa Batı AAT'den alınan girişte ölçülen ve arıtmadan sonra ölçülen parametrelerle yapay sinir ağları kullanılarak fosfor verisi tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan YSA modellemeleri ile çalışmalarda fosfor miktarlarında giriş ve çıkış akımlarında dalgalanmalar görülmüştür. Giderek daha katı olan besinsel atıksu arıtma limitleri göz önünde tutulduğunda, bu çalışma sadece tesis çalışmalarının izlenmesi için değil, aynı zamanda yeni düzenlemelerin yapılması, sıkı önlemlerin yerine getirilmesi ve gelecekte

olası değişikliklerin yönlendirilmesi için de yararlı bir araç olabilecek sonuçlar ve gözlemler sunmaktadır.





## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Manav-Demir (2006) yaptığı çalışmada İSKİ Ataköy İleri Biyolojik AAT'de bulunan biyolojik AAT kullanılmıştır. Modifiye 5 Kademeli Bardenpho Prosesi ve İki Kademeli Kaskat Beslemeli Biyolojik Nutrient Giderim Prosesi ile bu proseslerin arıtma performansı ve işletme sürelerindeki mikroorganizma tipleri ortaya konmuştur. Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi için arıtmadan sorumlu bakteri türlerinin Nitrosomonas, Nitrospira, Accumulibacter, Dechloromonas, Firmicutes cinslerine ait türler olduğu ve diğer tanımlanmamış türler belirlenmiştir. Her iki proses için elde edilen verimler ve işletme koşulları dikkate alındığında yeni geliştirilen Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi'nin orta kuvvetli atıksular için daha uygun ve başarılı olacağı sonucuna varılmıştır.

İleri ve Çakır (2006) Matlab ile bakır iyonlarının sıvı ortamdan biyosorbisyonla giderimi incelenmiştir. Langmuir, Freundlich ve BET izotermi deneysel verileri Matlab programı kullanılarak doğrusal ve eğrisel grafik formları elde edilmiştir. Matlab en küçük kareler yöntemiyle eğriler ile veri arasındaki farkı en aza indirerek ulaşmayı sağlamaktadır. Elde edilen korelasyonlar karşılaştırılmış izoterm modeli olarak Freundlich ve Langmuir in daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Gürtekin ve Şekerdağ (2007) Elazığ Evsel AAT'de ki fosfor formlarını belirlemek ve giderimi yönünde iyileştirme yapmak için çalışma yapmışlardır. Partiküler fosforun %83 ön çökelmede giderilmektedir. Fosfat formlarından oluşan fosforun % 43'ü ise mikroorganizmaların faaliyeti sonucu giderildiği ve tesiste iyileştirme yapmak için gerekli fosfor formunun fosfat olduğu görülmüş olup kimyasal ön veya son çökelme havuzu eklenmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir.

Yüksel ve diğerleri (2007) geri yayılmalı yapay sinir ağı kullanılarak Sivas ili için hava kalitesi modellenmeye çalışılmıştır. SO<sub>2</sub> parametresi üzerinden meteorolojik ve kirlilik verilerinin kentsel etkileri araştırılmıştır. Model başarısı %86 ± 2 arasında olup model başarılıdır.

Sezer (2007) iki farklı atıksu arıtma tesisinde ölçülen KOİ verisi kullanılmış olup YSA'da BOİ<sub>5</sub> Tahmini yapılmıştır. A, AAT'de bir yıllık veri ile B, AAT' 66 günlük veri

ile eğitim ve test işlemleri YSA'da yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar MATLAB tabanlı YSA algoritmasının AAT'lerinde kullanılabilir alternatif bir metot olduğunu göstermiştir.

Yıldız-Pulcu (2009) Denizli AAT verileri ile YSA'da modelleme çalışması yapılmıştır. pH, sıcaklık,iletkenlik, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, TN, toplam fosfor, AKM, ÇKM analizleri rutin olarak yapılmaktadır. KOİ konsantrasyonu  $107 \pm 40$  mg/L ve ortalama BOİ<sub>5</sub>,  $11 \pm 6$  mg/L ÇHİ 200 mg/L'dir. KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TN, TP ve ÇHİ verileri YSA kullanılarak modellenmiştir. İlk aşamada giriş parametreleri 2. aşamada eğitim şekli son aşamada nöron sayıları optimize edilmiştir. En uygun ANN yapısı ve modeli ile başarı elde edilmiştir.

Akyürek (2009) farklı aktif çamur modelleri kullanılarak üç farklı inceleme gerçekleştirilmiştir. İlk olarak aktif çamur prosesinde çözünmüş oksijen kontrolü için kontrol stratejileri karşılaştırması yapılmıştır. İlk kısımda 6 farklı kontrol stratejisi karşılaştırılmış NARMA-L2 ve SQP kontrol stratejilerinin diğerlerine göre başarılı bulunmuştur. ikinci kısımda ardışık kesikli reaktörde proses çevrim süresinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Son kısımda ise ASM3C modeli kullanılarak konvansiyonel sistemde toplam azot ve çözünmüş oksijen kontrolü yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının işletme ve işletim kolaylığı maliyetin azaltılması toplam ÇO ve toplam azot kontrolü gerçekleştirildiği görülmüştür.

Yıldırım (2012) Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesiyle evsel atıksulardan nütrient giderimini araştırılmıştır. KOİ, TKN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, TN, PO<sub>4</sub>-P, TP, AKM, UAKM analizlerinin; ön çöktürme, anaerobik, anoksik1, aerobik1, anoksik2, aerobik2 ve son çöktürmede ki değişimleri incelenmiştir. Toplam azot ve toplam fosfor giderim verimleri sırayla %82,4 ve %88,7'dir. Elde edilen sonuçlar ile modifiye beş kademe bardenpho prosesinin atıksudan biyolojik nütrient giderimi kullanılması açısından başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında bulanık mantık kullanılmıştır determinasyon katsayısı 1'e yakın hesaplanmış ve bulanık mantık yönteminin sisteme uygulanabilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Özel ve Ersü (2012) Hurma AAT performansının tespiti için YSA' nın uygulanabilirliği araştırıldığı bu çalışmada tesis girişi ve tesis çıkışında pH, BOİ, KOİ, sıcaklık, iletkenlik TN, TP analizleri düzenli olarak yapılmaktadır. SPSS ve YSA ile yapılan çalışmalar sonucunda veri yetersizliği sebebiyle YSA ile modelleme yapılamamıştır. Model kurulduğunda tüm parametrelerin optimum kombinasyonlarının gerektiği sonucuna varılmıştır.

Subaşı ve Ersü (2012) YSA ile AAT'nin performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Matlab ile çalışılmış olup veriler yüzey altı akışlı yapay sulak alan verileridir. KOİ giriş, KOİ çıkış, Toplam Katı giriş, TKM çıkış, UAK 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 KOİ, TKM, UAKM ve sıcaklık parametreleri olmuştur. Model başarılı olmuştur.

Boztoprak ve Özbay (2012) Protozaların arıtmadaki öneminden yola çıkılarak YSA ile yerlerinin otomatik bulunması amaçlanmıştır. Görüntüler ön işleme tabii tutulmuş protozoanın olacağı yerler tespitinden sonra YSA'dan yararlanılmıştır. Protozaların özellikleri dikkate alınarak YSA sınıflandırılmıştır ve birtakım işlemlerden geçirilmiştir çalışmanın protozaların yerinin tespitinde başarılı olduğu görülmüştür.

Manav-Demir ve ark. (2013) Beş Kademeli Bardenpho Prosesi ile iki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Proseslerin de nutrient giderimi araştırılmıştır. KOİ, TKN, NH<sub>4</sub>-N, TP, PO<sub>4</sub>-P, AKM ve UAKM giderim verimleri incelenmiştir. İki proses için literatürdeki verilerle kıyaslanma yapılmış olup iki prosesinde arıtmada başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Evsel atıksu arıtımı için maliyet ve diğer kıyaslamalar yapıldığında Beş Kademe Bardenpho Prosesinin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Alan (2013) Matlab ile literatürde bulunan deneysel veriler kullanılarak bir YSA oluşturulmuştur. Fosfor kapasitesinin tahmini için, literatürde var olan değişik sistemlere ait fosfor kapasitesi verileri ile yapılan her çalışma için uygun YSA modelleri oluşturulmuştur. 2011 yılında yapılan bir çalışma ile "iyon ve molekül birlikte varoluş" teorisinin çıktıları kıyaslanmıştır. Bunun gibi birçok kıyaslama gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma YSA ile elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Diğer modellerle YSA ağ modeli kıyaslandığında YSA'nın daha üstün ve yakın verilere ulaşılmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Raptopoulou ve ark. (2016) Kuzey Yunanistan yakınlarında ki AINEIA arıtma tesisinde nütrient giderimi için bir çalışma yapmışlardır. Mart 2014 - Şubat 2015 tarihlerinde düzenli fosfor ve azot ölçümleri yapmışlardır. Azot ve fosforun mevsimsel değişimini istatistiksel program olan SPSS ile çalışmışlardır. Azotun mevsimsel olarak çok değiştiğini fosforun ise sadece yaz aylarında önemli farklılık gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Öztemel ve Düğenci (2016) Atıksu arıtma tesislerinde zaman, maliyet, ölçüm kolaylığı, tesisin etkin yönlendirmesi ve yönetilmesini sağlamak için Sakarya ili Karaman AAT'de yapay sinir ağları ile çalışma gerçekleştirmişlerdir. Girişte sıcaklık, debi, pH, AKM, KOİ, çıkış parametresi olarak ise sıcaklık, pH, AKM, KOİ tahmini yapılmıştır. Sıcaklık, pH, AKM ve KOİ tahminleri sırasıyla %89,1, %92,9, %78,9 ve %86,5'tir ve bu sonuçlar tesis kontrolü için karar vericiye yardımcı olacak nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır.

Demir-Manav (2016) AO Prosesi için Geri beslemeli YS'da atıksulardan nütrient ve azot giderimi araştırılmıştır. KOİ, TKN ve TN giderim verimlerinin tahminleri için 7 farklı işletme ve tasarım parametresi kullanılmıştır. ASM1 kadar ayrıntı gerektirmeyen YSA ile test edilmiştir. BPANN'nin dört farklı aktivasyon kodu ile KOİ, TKN ve TN giderim verimlerinin yüksek oranda doğru tahmin edildiği sonucuna varılmıştır. Geri beslemeli ağda en başarılı fonksiyon Sinc olmuştur. KOİ, TKN ve TN sırasıyla 0,000250, 0,000415 ve 0,000265 giderim verimleri ile YSA'nın ASM1 den üstün ve az girdiyle zamandan tasarruf sağlayarak sonuca ulaştığı görülmüştür.

Demirci ve ark. (2016) Pamuklu tekstil atıksularınının EC ile arıtılması Matlab/Simulink programı kullanılarak yöntemin etkinliği araştırılmıştır. Verimin nasıl arttırılacağı incelenmiştir. Sıcaklık, pH, iletkenlik eş zamanlı incelenmiştir. KOİ, renk, bulanıklık, ve yağ-gres giderme etkinliği sırasıyla %76,2, %88,9, %91,6, ve %74,2 olduğu sonucu elde edilmiştir. EC yöntemi arıtımda etkili bir yöntemdir ve YSA ile eş zamanlı yapılan sıcaklık iletkenlik ve pH'ın kullanımı yöntemin etkinliğini arttırdığı tespit edilmiştir.

Miron ve ark. (2018) atıksu arıtma tesisinde büyük risklerin önüne geçmek için arıza tespit hata tanıma çalışması yapılmıştır. İleri beslemeli bir YSA ile çalışılmıştır. Normal çalışma şekli, devir daim pompasının arızası, besleme pompasının arızası, fazla çamur pompasının arızası, biyokütle, konsantrasyon sensörü ve çözülmüş oksijenin hatası 6 farklı arıza tipi hataları ile YSA'nın başarısı %97,2 olduğu görülmüştür. Eğitim için yapay sinir ağı uzun zaman gerektirmemesi, deneysel verilerin yeterince büyük olması durumunda düşünülen tüm arıza durumlarını temsil edildiği sonucuna varılmıştır.

Gümüş (2018) Eber gölünde belirlenen 5 istasyondan mevsimsel değişimi izlemek için Nisan 2014 - Şubat 2015 arası veriler alınarak ağır metal tespiti amaçlanmıştır. Klasik yöntem ve YSA ile bulanık mantık metodu ile kirlilik parametresi araştırılmıştır. Bulanık mantık sayesinde su kalitesi bir bütün olarak değerlendirilebilmiştir. Sonuçlar daha anlaşılır ve kolay yorumlanmıştır. Su kalitesi değerlendirilmesinde uygulanabilir iyi bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Baran (2019) atıksuların arıtmadan sonra alıcı ortama deşarj edildiğinde deşarj limitlerinin temizlik derecesinin ne olduğu yapay sinir ağları ile araştırılmıştır. BOI<sub>5</sub>, KOI, AKM ve pH parametreleri kullanılarak çalışma yürütülmüştür. Yönetmelikte belirtilen kompozit numune sınır değerlerine göre temiz su sınıflandırılmıştır. Değerler 0-1 arası normalize edilmiş, yüzde olarak en düşük ve en yüksek değerler kabul edilmiş en az kirlilik miktarı %0 olarak alınmıştır. Bu yüzdeler oran 1-4 arası sınıflanmış test için ve eğitim için ayrılan değerler doğrultusunda Aşırı öğrenme makinalarının başarısı ölçülmüştür.

Erdem (2019) *S. cerevisiae* ile remozol sarı gideriminin araştırıldığı bu çalışmada yapay sinir ağı yaklaşımı incelemiştir. Girdi pH, biyosorbent ve boyanın giriş konsantrasyonları ile boya giderim verimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. 2. kısımda ise biyosorbisyon parametrelerinin biyosorbisyona etkileri araştırılmıştır. Yapay sinir ağı ile elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan kıyaslanmış geliştirilen YSA modelinin tahmin kabiliyetinin başarılı olduğu görülmüştür.

Hamada ve ark. (2018) Gazze AAT'de 3 ana su parametre tahmini için YSA ve çoklu regresyon (MLR) kullanılmıştır. Bu çalışma 9 yıl boyunca toplanan Gazze AAT aylık veri setlerinden oluşmaktadır. Tesisin arıtma verimliliği pH, sıcaklık, BOI<sub>5</sub> KOI ve BOI

ıkış değerleri ile KM giriş değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Model performansı için ortalama kök kare hata ortalama mutlak yüzde hata korelasyon katsayısı karşılaştırılarak nrol ağ oluşturulmuştur. YSA'nın MLR den başarılı olduğunu göstermiştir. KM ve sıcaklık parametresinin BOI, KOI ve KM'yi daha çok etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca BOI, KOI ve KM çıkış tahminleri başarılıdır. Sonuçlar yapay sinir ağının başarılı olduğunu göstermiştir.

İşeri ve Arıman (2019) Orta Karadeniz bölgesindeki kıyı ve ırmak sediment örnekleriyle ağır metal konsantrasyonlarının yapay sinir ağı ile tahmin etmeye çalışmışlardır. 2007-2008 yılları arasında elde edilen veriler MLR, MPR ve MLP modellerinde denemiş ve performansları karşılaştırılmıştır. En iyi tahmin eden modelin MPR modeli olduğu grlmştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Atıksularda Fosforun Varlığı Ve Önemi

Fosfor bütün canlı yaşamı için mühim bir nütrienttir. Deoksiribonükleik asitin, Ribonükleik asitin, Adenozin difosfat ve Adenozin trifosfatın yapılarında bulunur (Doğan 2010). Sıklıkla rastlanan fosfor bileşikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Polifosfatlar, ortofosfatların dehidrateleri şeklinde olduğundan, suyun mevcut olduğu ortamlarda dehidralize olarak orto hallerine geri dönerler. Dönüşüm hızı sıcaklıkla bağlantılıdır ve sıcaklık arttıkça özellikle kaynama noktasına yaklaşıldıkça hız artmaktadır. pH azaldıkça hidrolize olayı hızlanır. Bu sebeple atıksularda ki dönüşüm hızı daha hızlıken içme sularında bu hız yavaşlar (Samsunlu 2011).

**Çizelge 3.1.** Çevre Mühendisliği Uygulamalarında Sıklıkla Rastlanan Fosfor Bileşikleri (Samsunlu 2011)

Ortafosfatlar	Tri Sodyum fosfat
	Di Sodyum Fosfat
	Mono Sodyum Fosfat
	Diamonyum fosfat
Polifosfatlar	Sodyum Hekzametafosfat
	Sodyum Tripolifosfat
	Tetrasodyum Pirofosfat

Fosforun en önemli kaynakları; insan atıkları, kentsel atıksular ile tarımsal alan deşarjlarıdır (Gürtekin ve Şekerdağ 2007). Evsel atıksular yüksek oranlarda fosfor ihtiva ederler. Evlerden gelen atık sularda fosfor kaynaklarının %50-65 'i insan atıklarından %30-50'si sentetik deterjanlardan kaynaklanmaktadır. Sentetik deterjan kullanımının artışı ve deterjanların katkı maddesinin %12-13'ü fosfor içermesi ve %50'den fazlası polifosfatlardan oluşması ile beraber yüzeysel su ile fosforun birbiri içinde dağılarak birleşmesi ciddi bir sorun haline gelmiştir (Dursun 2005). Alıcı ortama fosfor %91 oranında kentsel atıksulardan gelirken geriye kalan %9'luk kısmı tarım alanlarından kaynaklanmaktadır (Çakır ve Minareci 2015).

Fosfor için doğal kaynak, mineral fosfat kayaçları ve doğal döngüdür. Bitkiler tarafından kullanılan fosfor büyük organizmaya geçer (Jonathan ve ark. 1990). Fosfor tüm canlıların ihtiyaç duyduğu laboratuvarında üretilmeyen önemli kimyasal elementtir (Cordell ve ark. 2011). Fosfor küresel açıdan tükenmekte olan bir üründür kazanımı ve iyileştirilmesi büyük önem arz eder.

Fosfor, su ortamlarının da büyümeyi sınırlayıcı bir elementtir (Dursun 2005). Canlı protoplazmanın %2'si fosfordan oluşur bu da fosforun fotosentez yapan ototrof canlılarda büyümeyi sınırladığını gösterir (Dirim 2006). Fosforun kontrolü, su kütlesinin ihtiva ettiği mikroorganizmanın bütününde ya da bir bölümünde gelişmesinin denetim altına alınması için bir metottur (Manav 2006).

Biyolojik aşırı fosfor gideriminin gözlemlendiği, biyolojik arıtma tesislerinde anaerobik-aerobik ardıl fazların olduğu aktif çamur sistemlerinde bünyelerine fosfor depolayan organizmaların yani PAO'ların baskın olduğunu ortaya koyar. Asetat gibi kısa zincirli yapıda olan yağ asitlerini PAO'lar hücre içine alırken polihidroksialkanoatlar (PHA) olarak depolarlar. Bunun için gerekli enerji PAO'ların hücre içi polifosfat depolarının bozunmasıyla oluşur. Fosfor salınımı hücrede oluşur, asetat sona erene kadar fosfor konsantrasyonu çözültide artmaya devam eder. Hücre içinde depolanan PHA'lar aerobik fazda fosforun depolanması ve çoğalma için kullanılır. Biyolojik aşırı fosfor giderimi elde edilen yüksek fosfor içerikli çamurun atılmasıyla gerçekleşir (Yağcı 2005).

Fosfor giderimi için bu bakterilerin gelişimi sağlanmalıdır. Öncelikli olarak anaerobik tanktan yararlanılmalıdır, aerobik ve anoksik tank daha sonra işletilmelidir. Anaerobik tanktaki bekleme süresi 0,5-1,0 saat arasında değişmektedir (Manav 2006). Düşük nütrient limintlerine ulaşmak için atıksu arıtma tesislerinde yenilikçi arıtma teknolojileri araştırılmaktadır (Anonim 2015). Yeni standartlara uyum sürecinde Avrupa ve birçok ülkede ana odak yeni inşaatların yapılması ve AAT'leri tasarlanırken nütrient ve fosforun giderilmesi yönündedir. Karbon ve nütrient giderimini elde etmek uygun şartları sağlamak hedefiyle farklı konfigürasyonlarda, sistemler üzerinde araştırma çalışmaları yapılmıştır. Öne çıkan sistemler Bardenpho, (A/O) prosesi, A2O (Anaerobik/Anoksik/Oksik), UCT (Cape Town Üniversitesi), VIP Prosesi, Johannesburg Prosesi ve ardışık kesikli reaktörlerdir (Uysal 2016).



Ortaya konmuş çalışmalar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ötrofikasyonun akut etkilerinden dolayı zarar gördüğü yönündedir (Birnhack ve ark. 2015). Ötrofikasyon EPA tarafından da "bozulmuş yüzeysel su kalitesinin ana kaynağı" olarak gösterilmektedir (Yazıcı 2014). Yüzeysel sularda ki alg miktarının artışı doğru orantılı olarak klorlama ihtiyacını da arttıracaktır (Ortatepe 2013). Artan klor miktarı ve klorun hümik asitlerle verdiği reaksiyonlar sonucu trihalometanların oluşması kanserojen etkileri sebebiyle büyük önem arz etmektedir (Samsunlu 2011). Su kalitesi, canlı sağlığının korunması yani ötrofikasyonun düşürülmesi için karbonun, azotla beraber fosforunda atıksulardan giderilmesi gerekmektedir (Doğan 2010).

Ötrofikasyon, nütrientlerin özellikle fosfor ve azotun durgun su alanlarında, göllerde, kıyı kesimlerde, besin maddesine zengin denizler de ki su alanlarında plankterlerin artışına sebep olan biyolojik bir süreçtir. Ötrofikasyon, ekosistemi olumsuz etkileyen bir sorundur. Ötrofikasyon, geliştiği alanlarda, filamentli algler ve sucul bitkilerin ve mikroskobik bazı canlıların artması ile kendini gösterir. Ötrofikasyon süreçleri alg patlamalarıyla devam eder aynı zamanda siyonobakterler, yüzey birikintilerinin etkileri ötrofikasyona neden olan süreçlerdir. Bu süreçler sonucunda organik maddelerde bozunmalar meydana gelir. Toksik etkiler, fosfatların sedimanlara bağlanmasıyla suda oksijen azalır (Sağlamtimur ve Sağlamtimur 2018). Bu süreçlerden bir diğeri ise güneş ışınlarının penetrasyonunun engellenmesidir. Fotosentezin gerçekleşmesinde önemli rol alan güneş ışınlarının derinlerde yaşayan su canlılarının faaliyetlerini olumsuz etkileyerek canlı ekosistemini tehlikeye sokmaktadır. Güneş ışınları ve oksijen ile birlikte bir diğeri önemli faktör nütrientlerdir. Nütrientler; kentsel suların arıtılmasından ya da eksik arıtılmasından, tarımsal faaliyetlerden, yüzey akış sularından, deponi alanları sızıntı sularından kaynaklanmaktadır. Yüksek nütrientlerden ötürü göller, nehirleri haliç, kıyı alanlarda aşırı azot ve aşırı fosfor birikimi olmakta bu da aşırı alg büyümesine sebebiyet vermektedir. Azot ve fosfor fitoplanktonların büyümesini sınırlayan nütrientlerdir. Artış gösteren nütrientler sonucu fitoplanktonların aşırı büyümeye su ortamında gözle görülecek seviyelere ulaşması yani ötrofikasyonun oluşması alg patlaması olarak tanımlanabilir. Fitoplanktonlar, ötrofikasyona neden olan algler olarak tanımlanmaktadır. Ötrofikasyon ile su ortamındaki oksijenin azalması canlı yaşamını sona erdirir. Alg patlamasıyla hızlıca çoğalan fitoplanktonlar, güneş ışınlarının gelmediği saatlerde üretilenden daha fazla miktarda oksijen harcayarak

oksijeni tüketirler. Ölen fitoplanktonları tüketen bakterilerde oksijenin harcanmasına sebep olan bir diğer faktördür.

Zararlı alg patlaması sonucunda siyanobakteriler ve diğer alg türleri siyanotoksin salgılamaktadır. Bu toksik bileşikler su ekosistemini olumsuz etkilemektedir. Siyanotoksinler su ekosistemi ve canlı sağlığını kötü yönde etkiler. İç organlara zarar veren siyanotoksinler sinir sistemi rahatsızlıkları gibi birçok rahatsızlığa neden olurlar. Siyanobakteriyel toksinlerin giderilmesi için klasik arıtma yeterli olmamaktadır (Eren 2018).

Deterjanlar, alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olan bir diğer unsurdur. Deterjanlar biyolojik süreçleri etkilerler. Alıcı ortamda 0,5 mg/l'den yüksek miktarlar köpük oluşturur. Oluşan köpük su yüzeyini örterek oksijen alışverişini engeller. Biyokimyasal reaksiyonlarla ayrılan alıcı ortamda ki deterjanlar suda ki oksijeni harcar. Azalan ve tükenen oksijen, bulanıklık, renk değişimleri canlı ölümleri sonucu ötrofikasyon oluşur (Çakır ve Minareci 2015, Minareci ve ark. 2013).

### **3.2. Kentsel Atıksular**

Evsel atıksu ya da evsel atıksuyun endüstriyel atıksu ve yağmur suyu ile karışımı sonucu olan atıksuya kentsel atıksu denir. Kentsel atıksu arıtımında genellikle konvansiyonel sistemler uygulanmaktadır (Yaşar 2016). Nüfus artışı orantılı olarak su tüketimini arttırmakta evsel ve endüstriyel kullanımdaki su miktarında kentsel atıksu miktarını arttırmaktadır. Yaşam alanlarından ve işyerlerinden kaynaklı atıksular kentsel AAT'de arıtılmaktadır. Bazı kirleticilerin arıtılmasında yetersiz kalan tesisler yeni proseslerin gelişmesine neden olmuştur. Nutrient giderimi için biyolojik prosesler tercih edilmektedir.

Kentsel atıksu bünyesinde makro ve mikrokirleticileri barındırır. Bu kirleticiler atıksuya evsel kaynaklı ve endüstriyel kaynaklı atıksullardan ulaşır. Fizikokimyasal ve mikrobiyolojik olmak üzere 2 sınıfta makro kirleticiler sınıflandırılır. BOI<sub>5</sub>, KOİ, TOK, AKM, TKN fizikokimyasal sınıfta yer alır. Toksik, mutojen ve kanserojen etki gösteren mikrokirleticiler biyo parçalanabilirliği güç kirleticilerdir (Kökner 2019). Kentsel atıksular, yaşamsal aktiviteler sonucu oluşan evsel nitelikli hizmet sektörü kaynaklı

okul, hastane ve otel kaynaklı sulardır. Konvansiyonel sistemler kentsel kaynaklı atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Arıtılmış kentsel su kaynakları sürdürülebilir su yönetiminden ötürü iyi bir sulama suyu kaynağıdır. İçerdikleri kimyasallar ve mikrobiyal içerikler çevre konusunda dikkat edilmesi gerektiğinin en önemli vurgusudur (Yaşar 2016).

### 3.3. Evsel Atıksular

Evsel Atıksular, suların farklı sebeplerle tüketimi sonucu oluşan kanalizasyon sistemleriyle bir noktadan başka bir noktaya iletilen atıksulardır. Arıtma tesisi projelendirilirken ve işletilirken atıksuyun bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu özellikler atıksuyun miktarı niteliği, niceliği, kaynağı gibi atıksuya ait faktörlerdir. Atıksular; evlerden, endüstrilerden, yağmur ve kar sularından, okullardan hastanelerden hizmet sektöründen kanalizasyona iletilir. Kanalizasyon sistemleri nüfusa atıksuyun niteliklerine ve birçok farklı sebebe bağlıdır.

AAT'de işletim ve kontrolün sağlıklı olması için atıksu karakterizasyonunun tespit edilmesi gerekir. Bu amaçla birçok test uygulanır. Atıksu arıtımı için yol haritası çizilebilir. Kentsel atıksular AKM, ÇKM, inorganikler ve organikleri ihtiva ederler. Kentsel atıksular Çizelge 3.2' de gösterildiği gibi; fiziksel(renk, iletkenlik, koku, katı madde, tuzluluk, tat, sıcaklık, bulanıklık), biyolojik (plankton, perifiton, , fekal straptakok, fungusler,..vb.) ve kimyasal (Fe, Pb, CH<sub>4</sub>, TOK, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, Fosfat...vb.) spesyalitesine göre sınıflandırılır.

**Çizelge 3.2.** Su ve Atıksu ile İlgili Parametreler (Samsunlu 2011)

Fiziksel Özellikler	Kimyasal Özellikler			Mikrobiyolojik Parametreler	
	Metaller	Organik Parametreler	Anorganik Parametreler	Biyolojik	Bakteriyolojik
Renk	Al	Yağ-gres	Asidite	Planktonlar	Koliform
Koku	Cd	KOI	Alkalinite	Perifitonlar	Fekal straptakok
İletkenlik	Cr	BOİ <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	Makrofitonlar	Patojenikler
Katı madde	Cu	TOK	Fosfat	Bentik	Virüsler
Sıcaklık	Fe	CH <sub>4</sub>	Azot	Dipsel vertatlar	Bakteriler
Tat	Mn	Pestisitler	Ç.O.	Balıklar	Fungiler
Bulanıklık	Hg	Deterjanlar	Sülfat		Demir-sülfür b.

Atıksuyun ihtiva ettiği organik bileşikler bozunarak ortama hidrojen sülfür gibi gazları bırakmasıyla koku problemi oluşur. Atıksu renksiz değildir anaerobik etkisiyle siyaha yakın gri bir rengi vardır. Mikrobiyal etkinlikler sıcaklığı etkiler (Samsunlu 2011). Atıksuyun sıcaklığı kış mevsiminde hava sıcaklığından yüksek derecelere sahipken, yaz mevsiminde hava sıcaklığından daha düşük değerlere sahiptir (Boduroğlu 2008). Atıksular organik bileşik ihtiva ederler bunun %70'i AKM, geriye kalan kısmı ise ÇKM'lerden oluşur (Fesliyen 2017). pH, bir çözeltinin asit ya da baz olma şiddetini gösteren bir terimdir. Çözeltide hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir. Evsel ve endüstriyel su arıtımında pH denetlenerek biyolojik canlılığın devamı için bilinmesi önem arz eder. Alkalinite, pH değerine karşılık suların gösterdiği direncin göstergesi olması nedeniyle incelenen suyun tampon kapasitesini yansıtır (Samsunlu 2011). Alkalinite biyolojik süreçlerin devamlılığı konusunda önemli etkiye sahiptir. Azot, doğal donanımı olan bakteriler tarafından tüketilmek suretiyle veya kimyasallar sistemlerden farklı oksidasyon basamaklarında bileşikler şeklinde bulunabilen bir maddedir. Canlıların yaşamını sürdürmesi ve çoğalması için varlığı zorunlu olan azot farklı oksidasyon seviyelerinde gerekli bir nütrienttir. Besi maddesi adıyla tanımladığımız yaşamın sürmesi ve üreme için gerekli olan bu ve benzer elementler minimum değerlerin üstünde olması gerekmektedir. Bu kural Liebig'in minimumlar yasası uyarınca ortaya çıkmaktadır. Azot %5 ve üstünde suda bulunması gereklidir çünkü aktif çamur prosesi, diğer benzer prosesler ve atıksu arıtımının olması için belli bir oranın üstünde azotlu maddeye ihtiyaç vardır. Evsel atıksular bu minimum oran ve üzeri koşulunu sağlarlar. Evsel atıksularda kişi başı kanalizasyona katılan atık limiti BOI karşılığı günlük 54 gram olmakla birlikte toplam azot konsantrasyonu 54 gr/kişi.gün'dür. BOI<sub>5</sub> ve azot konsantrasyon oranı 100:5 olan minimum gereksinimin çok üzerindedir. Ancak birçok endüstriyel atık su evsel atıksulardan yeterli miktarda karışmadığı takdirde karbon azot oranları yeterli gelmeyebilir. Bu takdirde biyolojik üremenin sağlanması ve biyolojik arıtmanın yapılabilmesi için atıksulara azot ilavesi gerekir.

Fosfor, sularda fosfat şeklinde bulunan fosfor çevre mühendisliği uygulamaları açısından büyük öneme sahiptir. Anorganik fosfat bileşikleri ve polifosfatlar şeklinde bulunurlar. Polifosfatlar içme sularında ve kullanma sularında korozyonun önüne geçmek maksadıyla suya ilave edilebilir. Kalsiyum karbonatın sudan çökeltilecek

uzaklaştırmak içinde bazı fosfat türleri suya ilave edilir. Evsel atıksular bol miktarda fosforu bünyelerinde barındırırlar. İnsan metabolizmasının da proteinlerin parçalanması sonucu anorganik fosfor oluşur ve bu atık fosforlu atık, idrar ile beraber atılır. İnsanın bir günde bu şekilde atacağı fosfor miktarı 1,5 gram/gün'dür. Deterjan üretiminde katkı maddesi olarak fosfat ve polifosfatlar kullanılmakta bu maddelerin %12-13'ü fosfor %50'den fazlasının polifosfattır. Dolayısıyla deterjan tüketiminde meydana gelen artış artışıyla sulara fosfor karışımı artmıştır. Deterjanların yol açtığı yüksek fosforlu evsel atıksuların arzının yüzeysel sularda eskiye göre 2-3 katı fazla anorganik fosforlu madde bulunmasına yol açtığı hesaplanmıştır. Evsel sular fosforu bünyelerinde barındırırlar endüstriyel atıksularda fosfor miktarı azdır böyle bir durumda dışarıdan ilave anorganik fosfat ilavesi yapılır.

Anaerobik ortamda metan sülfür tarzi gazlar oluşmakta korozyona, toksisiteye neden olmaktadır. Metan patlamalara sebep olabilmektedir (Samsunlu 2011). Atıksularda mikroorganizmaların oksijeni kullanmalarından ötürü çok düşük seviyelerdedir (Boduroğlu 2008). Tek hücreliler grubuna pozitif ya da negatif çevre süreçlerine neden olurlar. Bakteriler ise kirlilik parametreleri ile beslenirler özellikle nütrientler bakteriler için kıymetli besin kaynağıdır ötrofikasyonda sebep olurlar. Koku ve tat problemleri, hastalık yapma özellikleri de mikroorganizmalarca gerçekleşir (Fesliyen 2017). BOİ<sub>5</sub> sularda mikroorganizmalarca ayrıştırılabilen organik maddelerin miktarlarını belirlemekte kullanılan bir parametre olup, bu maddelerin ayrıştırılması için gerekli olan oksijen miktarını belirtir. Su kaynaklarının kirlenme miktarlarının biliniyor kılınması, atıksuların kirlenme varlığı ortaya çıkmamış kısmının belirlenmesi ve arıtma sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi gibi durumlarda BOİ<sub>5</sub> nitelik ve nicelikçe değeri olan bir parametredir. Evsel ve endüstriyel kirlilik aşamalarının açıkça biliniyor kılınmasında kullanılan önemli bir parametre KOİ'dir. BOİ' den farklı olarak organik maddelerin biyokimyasal reaksiyonlara değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Kimyasal oksidasyonda maddenin biyolojik olarak ayrışıp ayrışmadığına ve ayrışma hızına bakılmaksızın bütün organikler oksitlenir (Samsunlu 2011). TOK, küçük organik madde partikülleri için önemli bir parametredir. TeOİ, atıksudaki ayrışma ürünlerinden oluşur. Kimyasal yapısı bilinen karbonun oksitlenmesi için ihtiyaç duyulan oksijen miktarı bulunabilir (Fesliyen 2017).

### **3.4. Endüstriyel Atıksular**

İnsanların kendilerini geçindirmek maksadıyla kurdukları atölyeler, fabrikalar iş alanları ve bunun gibi mekanlarda kullandıkları soğutma suyu, yıkama suyu gibi bütünü kapsayan sulara endüstriyel atıksu denir. Evsel atıksuyla kıyaslandığı taktirde endüstriyel atıksuyun kirlilik oranlarının fazla olduğu gözlemlenir. Arıtılmadan direk olarak çevreye deşarj edildiği taktirde felaket boyutunda çevre sorunlarına neden olur. Nehirlere deşarj edildiği durumda suyun sıcaklığını dolayısıyla canlı yaşamını doğrudan etkiler koku problemleri, renk gibi bir çok soruna neden olur. Deşarj edildiği noktada oksijen miktarını harcayarak tüketir. Balık ölümleri flora ve faunanın zarar görmesi biyolojik çeşitliliğin azalması gibi faktörlerin önüne geçmek maksadıyla endüstriyel atıksular kesinlikle arıtılmalı deşarj standartları sağlandıktan sonra deşarj edilmelidir (Gök 2019).

### **3.5. Kentsel Atıksuyu Etkileyen Faktörler**

Kentsel atıksuların özelliklerini iklim, yaşam standartları, kültür, eğitim gibi faktörler etkiler. Kanalizasyona endüstriyel atıksularında deşarjı yapılıyorsa atıksuyun yapısı ve özellikleri yüksek miktarda değişim gösterir. Atıksuyun konsantrasyonunu günlük kişi başına düşen su miktarında etkilemektedir. Kültürler deşarj miktarını etkilese de bu değer çok uç değerlere sebebiyet vermez. Atıksu mevsimsel şartlar,zaman, konum vb. etmene bağlı olarak farklılık gösterir. Arıtılmamış atıksu fazla miktarlarda nütrient ve yüksek mikroorganizma ihtiva etmektedir. Biyolojik bozunma süreçleri atıksuda sürekli devam eder bu durum atıksuyun karakterizasyonunu etkiler (Dirim 2006).

İnsan bağırsağından kanalizasyona geçen birçok patojenik mikroorganizma vardır. Biyolojik arıtımın gayesi yüksek oranda ÇO tüketimine sebep olan organiklerin giderilmesidir. Ayrıca kolloidal ve askıdaki katılar, nütrientler ve patojen giderimi sağlanması istenir (Manav-Demir 2012).

Atıksu konsantrasyonu; suyun kirlilik öncesi haline ve kullanım sonrası ve kullanım şekline bağlıdır (Ortatepe 2013). Atıksuyun karakterizasyonu fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik olarak sınıflanır.

Standart deney metotları ile sınıflanan atıksu karakteristiği tayin edilir. Numunelerin titizlikle alınması, atıksuyu tam temsil etmesi doğru zaman, doğru şartlar ve saklama koşulları çok iyi belirlenmesi gerekir (Balçık 2013).

### **3.6. Kentsel Atıksularda Geri Kazanım Ve Yeniden Kullanımı**

Yapılan bir araştırma 2,7 milyon kişinin su kıtlığı olan kesimlerde hayatlarını sürdürecekleri 2025 yılında bu senaryonun gerçekleşeceği öngörmektedir. Kuraklığın var olduğu bölgelerin dışında da nüfusun hızla arttığı kesimlerde, yaşam standartlarında olan artış, iklim değişikliği ve insan etkinliklerinden ötürü bir sorun oluşturacaktır. Temiz su kaynaklarına ulaşmaktaki zorluklar kurak ve yarı kurak bölgelerde karşılaşılan su kıtlığındaki hızlı artış sulama suyu kullanımında atıksu arıtımı kökenli sulara yönelimi arttırmakta önemli bir strateji olarak önem kazanmaktadır. Kentsel atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı, su kaynak kullanımını korumak açısından temiz suya olan ihtiyacı azaltmak, ekonomik ve sağlıklı bir yöntem olarak kabul edilir. Atıksuyun yeniden kullanımı Avrupa ve Akdeniz ülkelerinde uygulanabilirlik açısından hız kazanmıştır.

Genelde kentsel atıksu kullanımı tarımsal amaçlı iken günümüzde yüzeysel sulamada popülerliğini arttırmıştır. Atıksular, nütrientler, aşılama maliyetinde düşüş ve su kaynağı olarak kullanım potansiyelinin oluşu olumlu yönleridir. BOI<sub>5</sub>, AKM ve nütrient giderimi için yapılan arıtmalar oldukça önemlidir (Yaşar 2016).

### **3.7. Atıksu Arıtma Yöntemleri**

Atıksular alıcı ortam deşarjlarından önce arıtmaya tabii tutulmalıdırlar. Çevrenin ve canlı yaşamının korunması için oldukça önemlidir. Alıcı ortamın ve atıksuyun niteliklik ve nicelikleri arıtım yapılırken oldukça önemlidir. Atıksu bileşim miktarı atıksuyun oluştuğu yeri temsil eder. %99'luk kısmı su geri kalan kısmı çözülmüş ya da kollaidal halde kirletici içeren atıksular arıtma yöntemleri 3'e ayrılır. Birincil, ikincil ve üçüncül arıtım olmak üzere. Fiziksel olarak arıtma metodu birincil arıtımı, kimyasal ve biyolojik arıtım ikincil arıtımı, ileri veya üçüncül arıtma ise arıtma metotlarının kombinasyonları anlamına gelmektedir (Boduroglu 2008).

Fiziksel Arıtım da arıtımın hedefi ham atıksuyun ihtiva ettiği, farklı boyutlardaki askıda ya da çökmüş halde olan maddelerin arıtmada kullanılan teçhizata zarar vermeden uzaklaştırılması tıkanma, aşınma gibi sorunların önüne geçilmesidir. Fiziksel arıtım yöntemleri; Izgara ve elekler, öğütücüler ve parçalayıcılar, dengeleme havuzları, kum tutucular, yağ ayırıcılarıdır (Şener 2016).

Kimyasal arıtım, fiziksel arıtmadan geçen fakat giderilemeyen çözünmüşler, askıda kalan katılar ve kolloidal maddelerin giderimini kimyasal reaksiyon ile oluşturulması işlemidir (Helvacı 2017). Atık suların özellik ve kirlilik yükü baz alınarak jar testlerde belirlenen kimyasal maddeler ilave edilerek farklı tepkimelerin oluşması sağlanır. Askıda katıların pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleri ile sudan uzaklaştırılması sağlanır. Kimyasal oksijen ihtiyacı, fosfor, ağır metal, AKM, BOI<sub>5</sub>, gibi maddelerin kimyasal arıtımı ile giderimi sağlanır. Askıda katılar kimyasal oksidasyonla zararsız hale gelerek sudan uzaklaşırlar. Patojen giderimi kimyasal arıtım işlemidir. Kimyasal çöktürme, adsorpsiyon, dezenfeksiyon (Boduroglu 2008, Şener 2016).

Biyolojik arıtım teknikleri aerobik ve anaerobik arıtım şeklindedir. Organik yükü fazla olan nitelikteki sulara uygulanır. Organik maddenin kısmen oksitlenmesi yada bakteri kütlesi haline gelerek biyolojik arıtma sistemlerinde çökmesi ya da inorganik maddelere dönüşmesi işlemidir. Çözünmüş organiklerin organizmalarca parçalanması tekniğidir. Doğada kendiliğinden gelişen süreçlerin, biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin emniyetli bir ortam ve kısa zaman içerisinde gerçekleşmesi halidir. Ortamda oksijen varsa aerobik oksijen yoksa anaerobik olarak sınıflanabilir (Şener 2016). Aktif çamur; stabilizasyon havuzları, anaerobik sistemler örnek verilebilir (Boduroglu 2008).

Aerobik arıtım; oksijenin mevcut olduğu ortamda gerçekleşen bu yöntemde atıklar sentezlenip okside olarak yok edilir. Bakteriler bir kısmından enerji elde edilmeye devam edilirken diğer kısmı çoğalmaya devam eder. Organik madde miktarı artış gösterirken oksitlenme ile hücreler içsel solunuma geçerler.

Anaerobik arıtım; ortamda oksijen olmadığı takdirde mikroorganizma ve organik gideriminin sağlandığı yöntemdir septik şartların mevcut olduğu bu sistemde organikler



organik asit ve alkole ve asetik asit CO<sub>2</sub> hidrojen ve metana dönüşen bir süreçtir metan gazından da enerji elde edilerek (Helvacı 2017).

İleri Arıtım; konvansiyonel olarak arıtımı yapılamayan maddelerin arıtma sistemlerinden giderilebilmesi için uygulanan sistemlerdir. Atıksu alıcı ortam limitlerinin düşürülmesi geri kazanılabilirliği gereksiniminin oluşması ileri arıtma yöntemlerinin kullanılması sonucunu ortaya çıkarmıştır (Helvacı 2017). Karbon giderimi yapan sistemler klasik sistem olarak tanınır. Arıtılan atıksudan askıda katı ve nütrientlerin gideriminde kullanılan arıtma yöntemine ileri arıtma denir

Dezenfeksiyon: Arıtılmış suyun alıcı ortama deşarj öncesi ihtiva ettiği bakteri ve virüslerin farklı yöntemler kullanılarak bertaraf edilmesi tekniğidir.

Azot Giderme: Atıksuyun barındırdığı amonyum iyonlarının azot bakterileri ile nitrifikasyon basamağından önce nitrite daha sonra nitrata dönüşmesidir.

Nitrifikasyon; 2 adımla amonyağın önce nitrite daha sonra nitrata oksitlenmesi işlemine nitrifikasyon denir. Nitrifikasyonun önemi deşarj uygulanan ortamda amonyağın zararlı etkilerinin önüne geçilmesi ve ötrofikasyon oluşumunun önlenmesi için azot gideriminin sağlanmasından ötürü büyük önem arz eder. Atıksudaki amonyumun nitrifikasyon aşamaları. Azot çevriminde izlenen süreçler yükseltgenme yönünde olanlar aerobik, indirgenme yönünde olanlar anaerobiktir. NH<sub>3</sub>'ün NH<sub>4</sub>'e dönüşümü için gerçekleşen zincirleme reaksiyona nitrifikasyon denir. Nitrifikasyon, şartların elverişli olması halinde oluşan; yüzeysel sularda bunlara karışan arıtılmış sularda ve dıştan doğrulandırmayla arıtma sağlanan biyolojik atıksu arıtma tesislerinde fazladan çözülmüş oksijen kaybına yol açan, gerçekleşmesi istenmeyen bir proses olmakla birlikte, amonyağın tasfiyesi için de uygun, doğal bir yöntemdir (Samsunlu 2011). Nitrifikasyon doğal süreçlerin denge içinde olması açısından çok önemlidir. Bitkiler nitrat iyonunu bünyelerine alarak azot ihtiyaçlarını karşılarlar. AAT işletme ve planlamalarında ehemmiyete sahip olan nitrifikasyon amonyum limitine, amonyak miktarına, pH derecesine sıcaklık gibi birçok unsura bağlı olarak değişir. 15 ± 5 °C sıcaklık 7-8.5 pH aralıklarında %95 oranında amonyum iyonu şeklinde atıksuda görülür. Nitrosomonas ve microbacter tarafından oksidasyon süreci gerçekleştirilir. Nitrifikasyon bakterileri ile diğer organizmaları kıyaslayacak olursak nitrifikasyon

bakterilerinin daha başarılı ve daha fazla oranda nitrifikasyon yaptığı görülür. Nitrifikasyon bakterileri bin on bin kat daha fazla nitrifikasyon yapma kapasitesine sahiptirler (Ortatepe 2013).

Denitrifikasyon; gerçekleşmesi için anaerobik şartların hakim olması gerekir. Nitratın hetetrofik bakterilerce azot gazına indirgenmesi işlemidir. Bakterilerin enerji kaynağı genellikle metanol, etanol ve asetik asittir (Manav 2006).

Atıksu arıtımında denitrifikasyon, denitrifikasyon bakterilerince organiklerin parçalanarak nitrit ve nitratı kullanmasıdır. Azotu atıksudan uzaklaştırmak için nitrifikasyon ve denitrifikasyon kombinasyonları sıklıkla kullanılırsa denitrifikasyonun anoksik şartlarda gerçekleşir. Ortamın anoksik ortama dönüşümü genelde ortamdaki nitrit ve nitrat gibi bağlı oksijenin hücresel faaliyetleri için kullanmasıyla olur.

Nitrit ve nitrat anoksik ortamda indirgenir. Gaz fazına geçer. nitrat nitrite en son olarakta azot gazına dönüşmektedir. Nitrifikasyon azotu uzaklaştıramaz fakat denitrifikasyon azot gazını uzaklaştırır. Denitrifikasyonla oluşan azot suda çözünmez (Ortotepe 2013).

Denitrifikasyon, azot gazının anoksit şartlar altında sudan uzaklaştırılması işlemidir. Fosfor Giderme: Kimyasal ve biyolojik yöntemler ayrı şekilde ya da bir arada kullanılarak fosforu gidermek amacıyla yararlanılır. Yüksek pH değerinde fosforu ve fosfor tuzlarını çöktürmek için kimyasal maddelerden faydalanılır. Mikroorganizmaların fosfatın alınması biyolojik yöntemlerle sağlanır.

Filtrasyon; kimyasal giderim ve biyolojik giderim kafi olmadığı takdirde kolloidal ve askıda katıların giderilmesi hedeflenerek uygulanan işlemidir.

Adsorbsiyon; elverişli bir ara yüzeyde suda çözülmüş haldeki maddelerin toplanması sürecidir.

İyon Değiştirme; atık suda istenmeyen anyon ve kationların iyon değiştirici kolonda tutulması işlemidir.

Ters Osmoz; yeniden kullanılması amaçlanan atıksuyun çözünmüş inorganik ve organiklerin sudan uzaklaştırılarak geri kazanılması hedefi doğrultusunda yüksek basınç uygulanan bir sistemdir.

Ultrafiltrasyon; ters osmoz sistemine benzeyen yarı geçirgen membranların kullanıldığı basınçlı membran filtrasyon tekniğidir. Disperse olmuş yağ su zerrecikleri ince bir membran yardımıyla filtre edilmek suretiyle su fazından ayrılır. Ultrafiltrasyondan önce arıtılması düşünülen emülsiyonun bir ön arıtma işlemine tutulmasında fayda vardır. Bu işlem emülsiyon kırma maddeleri ile gerçekleştirilir ve yağ su fazı ayrılır (Şener 2016).

### **3.8. Atıksu Arıtımında Fosfor Gideriminin Önemi**

Sürekli artmakta olan dünya nüfusu ve buna paralel artış gösteren endüstriyel gelişmelerin sonucunda kirlenen suyun yerküre üzerinde ki tabii yapısı istenilmeyen yönde bozulmaktadır. Kalitesi kötüleşen suyun kaynakları genellikle kanalizasyon, endüstriyel, tarımsal ve diğer zararlı istenmeyen maddelerin istenmeyen miktar ve konsantrasyonlarda deşarjlarıdır. Bu deşarjlar sonucu su kirlenir. İnsan sağlığını ve hayvan sağlığını, bitkilerin büyümelerini tehdit edici olarak suyun özelliği negatif yönde bozulur. Canlının yaşamını güçleştiren, ekosistemin dengesini olumsuz yönde bozan her şey doğrudan ve dolaylı olarak su kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır (Çakır 2015).

Alıcı su ortamlarının kalitesine etki eden fosforun atıksudan uzaklaştırılması günümüzde oldukça ehemmiyet kazanmıştır. Fosforun sularda ki artışı ortamı anaerobikleştirmeye sonuçlandırmaktadır (Shelknanloymılan ve ark. 2012).

Kimya endüstrisinin atık suları biyolojik olarak zor ayrışan ya da ayrıştırılmayan çok türde organik bileşik ve fosfor, azot organik madde üretmekte ya da ana ürün olarak üretimlerinde bu maddeleri kullanmaktadır. Biyotaya yabancı ürünlerin ve biyolojik olarak zor ayrışan bileşikler atıksuda görülmektedir. Konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılmadan çevreye verilen bu bileşikler yüksek oranda ekolojiyi tahrip etmekte ve büyük sorunlara yol açmaktadır (Aktaş ve ark. 2019).

Hidrolojik döngü ile yeryüzünün herhangi bir noktasında ki su, o bölgenin iklimsel özelliklerine bağlı olarak miktarı sınırlıdır. Suya duyulan ihtiyacın artması nedeniyel hızlanan su kirliliği, bu sınırlamayı etkilemektedir. Suyun kullanılabilir kısmı gün

geçtikçe azalmaktadır. Bunların önüne geçilmesi, su kirliliğinin büyük bir önemle kontrol edilmesi ve niteliği bozulan kullanım sularının arıtılarak hidrolojik döngüye geri verilmesi gerekmektedir. Bundan ötürü çok fazla sayıda ki çalışma atıksudan fosforun giderilmesine odaklanmıştır (Shelknanloymılan ve diğ., 2012).

Biyolojik atıksu arıtma tesisleri, birçok prosesi kapsayan biyolojik, fiziksel ve kimyasal proseslerin uyumlu ve bir arada çalıştığı mühendislik sistemleridir. Birçok mikroorganizma grubunun ve bu mikroorganizmanın faaliyetlerinin sonucu biyolojik prosesler gerçekleşmekte ve karmaşık süreçlerden oluşmaktadır.

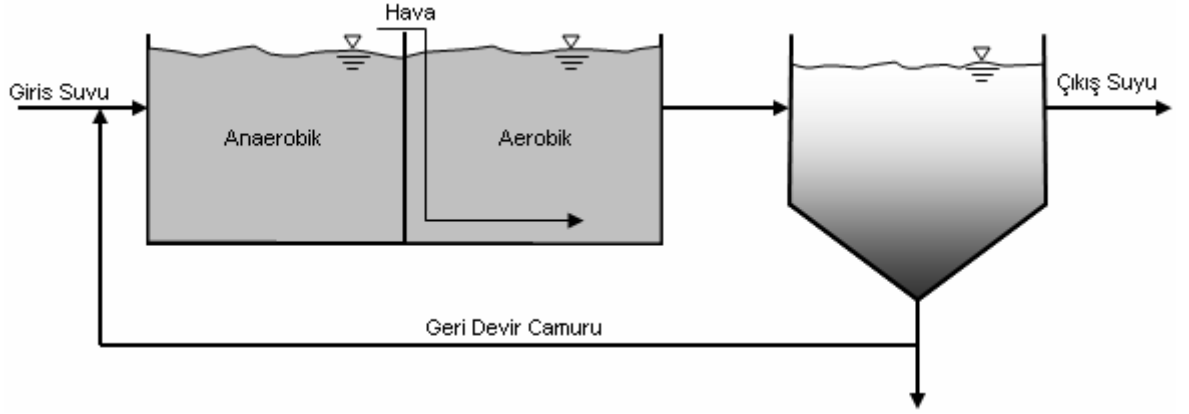
### **3.9. Kentsel Atıksu Arıtımında Nütrient Gidermek İçin Kullanılan Biyolojik Prosesler**

Fosfor ve azotu gidermek için çok çeşitli biyolojik arıtma metotları kullanılmaktadır. Geliştirilmiş bu prosesler aerobik, anoksik ve anaerobik kısımlardan meydana gelmiş olup besi maddesi gideren aktif çamur prosesleri formundadır. Bu prosesleri birbirinden ayıran özellikleri geri devir hattının aynı zamanda bölmelerin yerleşiminden kaynaklanan farklılıklardır.

Bu prosesler ilk etapta fosfor giderimi amaçlanırken daha sonra azot ve fosforun beraber giderileceği proseslere dönüştürülmüşlerdir. Çok sıklıkla kullanılan biyolojik prosesler; A/O prosesi, A2/O prosesi, UCT prosesi, VIP prosesi, Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) Beş Kademeli Bardenpho prosesidir (Balçık 2013).

#### **3.9.1. Phoredox prosesi (A/O prosesi)**

Ana sistemlerden Phoredox Prosesi, fosforun biyolojik olarak giderimi için biçimlendirilmiş bir sistemdir (Manav 2006). Fosfor giderimiyle beraber atıksulardan karbon oksidasyonu da sağlamaktadır (Kuru 2012). Phoredox Prosesi esas olarak fosfor giderimi için tasarlanmış olup azot giderimi gerçekleştirilememektedir. Sistemin çalışma mantığı fosfor giderim mekanizması şeklindedir (Balçık,2013). Bu sistem üç ana tank ve geri devir hattından oluşmaktadır (Manav 2006). Sırasıyla; anaerobik tank, aerobik tank, çöktürme tankı ve geri devir hattından oluşan sistem Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.** Phoredox prosesi şematik olarak gösterimi (Manav-Demir 2012)

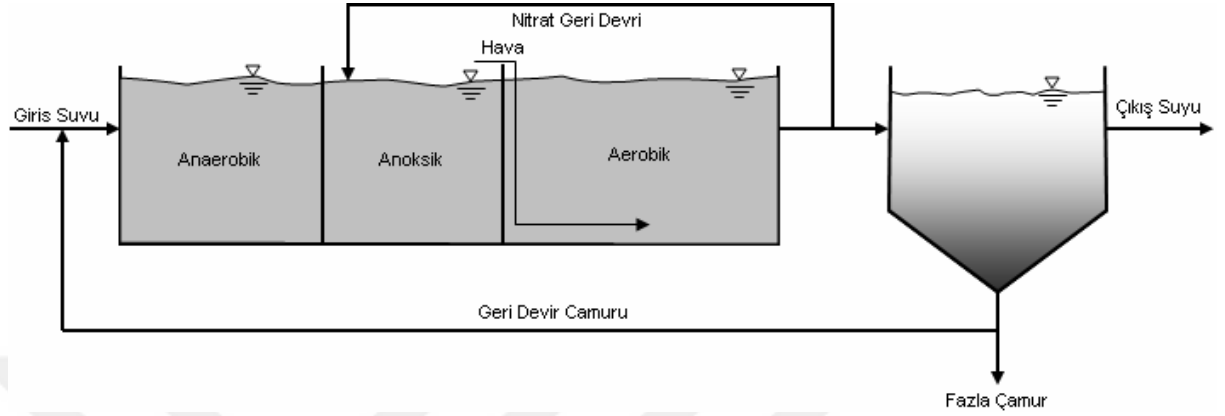
Geri devir hattından çökeltimden dönen çamur ile giriş atıksuyu ilk olarak anaerobik tanka gelerek 30 ila 60 dakikalık değişen bekleme sürelerine tabii tutulur. Anaerobik tankta bekletilen mikroorganizmalar fosforu bünyelerinden bırakırken PHB bünyelerine depo ederler. Bu esnada anaerobik şartlar altında çözünerek fosfat salınımını gerçekleştirirler (Balçık 2013).

Aerobik bölümde yeterli bekleme süresi oluşturulduğu takdirde nitrifikasyon için gerekli ortam sağlanmış olur (Kuru 2012) Ototrofik bakteriler çamur yaşının düşük olmasından ötürü gelişmemektedir dolayısıyla nitrifikasyon gerçekleşmez. Bu bölümde PAO'lar anaerobik tankta atıksuya verdiklerinden daha yüksek oranda fosforu bünyelerine alırlar. Bu tankta ayrıca  $BO_5$  giderimi oksitlenme ile sağlanmaktadır (Manav 2006). Çöktürülen çamur atıksudan ayrılır. Bir miktar çamur, çamur işlemeye gönderilerek  $BO_5$  ve fosfor uzaklaştırılır. Bir miktar çamur ise geri devrettirilir. Fosfor giderimi için gerekli SRT 2-4 gün arasında değişmektedir

### 3.9.2. A2/O prosesi

Bu proses phoredox prosesinin değişiklik yapılmış halidir. A2/O Prosesin de denitrifikasyonun meydana gelmesi için anoksik bölüm mevcuttur. Anoksik bölüm de bekleme süresi yaklaşık olarak 60 dakikadır. Anoksik bölüm de çözünmüş oksijen miktarı düşük seviyelerdedir. Kimyasal bağlı oksijen nitrit ve nitrat formların da geri devrettirilerek sisteme verilmektedir. Filtrasyon uygulanmadan çıkışta ki fosfor değeri 2 mg/L den daha az miktarlarda olabilmektedir. Filtrasyon işlemi uygulandıktan sonra ki fosfor değeri 1,5 mg/L'nin alt seviyelerine düşürülmektedir (Coşkun ve ark. 2018).

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi A/O Prosesinden farklı olarak A2/O Prosesin de Anoksik tank modifiyesi mevcuttur. Nitrat geri devri içinse aerobik tank çıkışı ile anoksik tankın girişini bağlayan bir hat bulunur.



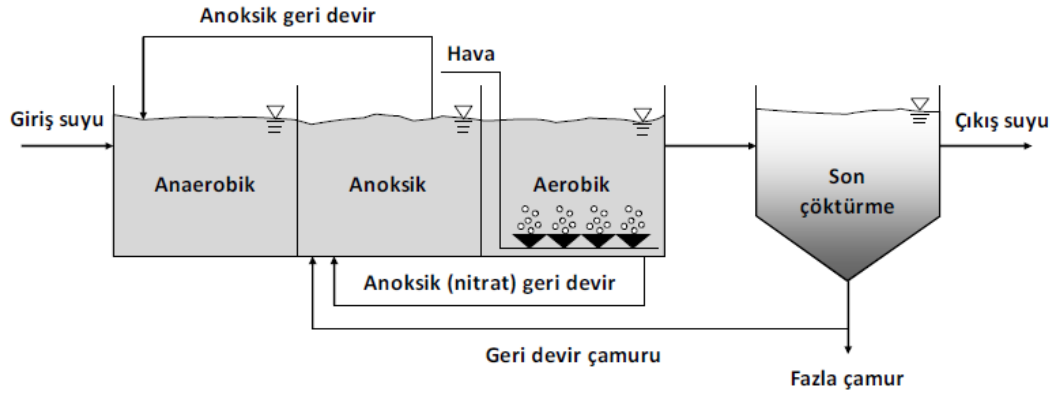
**Şekil 3.2.** A2/O prosesi şematik olarak gösterimi (Yıldırım 2012)

Geri devrettirilen çamur anaerobik tankta beslenen nitrat miktarını en az seviyeye düşürmesi aynı zamanda karbon ve fosfor giderirken, azot giderimi de yapması A/O prosesinden avantajlı noktalarıdır (Balçık 2013). Çamur yaşının A/O prosesinden fazla olması ototrofik mikroorganizmanın gelişimine bu da nitrifikasyon olayının gelişmesine zincirleme katkı sağlar. Aerobik tankın çıkışından yapılan nitrat geri devir hattı vasıtasıyla anoksik tanka nitrifikasyon sonucu oluşan nitrit ile nitrat geri devrettirilmiş olmaktadır. Organiklerin oksidasyonu için nitrit ve nitrat harcanmakta ve azot gazı atmosfere verilmektedir. A/O prosesinde olduğu gibi anaerobik tankın işlevi bu proseste de aynıdır. A/O prosesinden üstünlüğü tam anlamıyla nütrient giderimi yapması, işletme maliyetinin düşük olmasıdır (Manav-Demir 2006). A/O prosesine göre dezavantajı soğuk havalarda etkili çalışma verimi sağlamaması ve kompleks bir sistem oluşudur (Kuru 2012).

### 3.9.3. Standart UCT prosesi

UCT prosesi, Capetown üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. UCT prosesi, A2/O Prosesinden farklı özellikler gösterir (Coskun ve ark. 2018). A2/O prosesinde yaşanan genel problem geri devrettirilen çamurun nitrat içermesidir. Çamur havasız tanka geri devir ettirilmektedir. Anaerobik proses oksijene karşı çok hassas olup oksijen varlığında

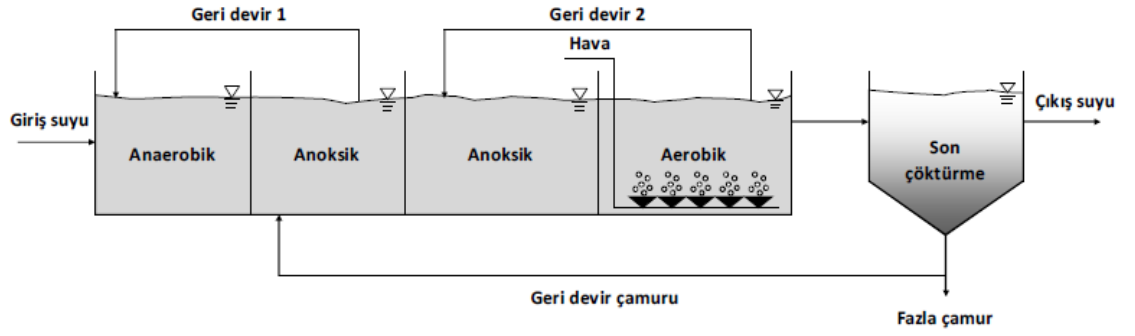
performansı yüksek miktarda azalmaktadır. Anaerobik tanka gelen nitrat miktarının UCT prosesi ile düşürülmesi hedeflenir. UCT prosesinde geri devir çamuru anoksik tanka verilir. Nitrat havasız kısma girmediği için havasız bölümde fosfor daha iyi açığa çıkar. Nitrat giderimi gerçekleştiikten sonra, mikroorganizmalar, anoksik tankın çıkışından anaerobik tanka verilir. Anoksik tankta denitrifikasyonun gerçekleştirilmesi için aerobik tank çıkışında nitrat geri devri sağlanır (Manav 2006, Kuru 2012). Denitrifikasyonun sağlanması için karbon kaynağının hesaplanması pH'ın 7 sınırında olması, aerobik tanktaki oksijenin 2 mg/L limitinde olması istenir (Manav-Demir 2013). UCT prosesinin dezavantajları ise prosesin yüksek pompa ihtiyacı, sıcaklığın etkisinin bilinmezliği ve yüksek BOİ/P ihtiyacının olmasıdır (Şekil 3.3.).



**Şekil 3.3.** Standart UCT prosesinin şematik görünümü (Balçık 2013)

#### 3.6.4. Modifiye UCT prosesi

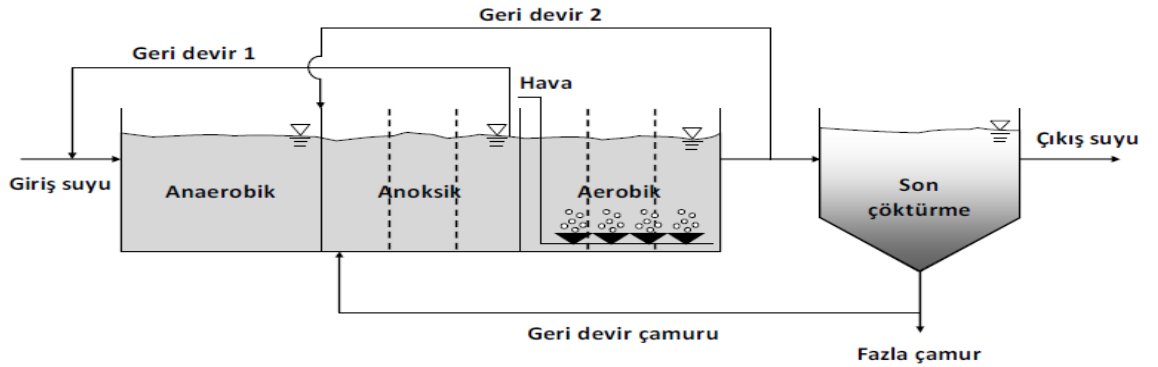
Bu proseste ardışık iki anoksik faz mevcuttur. 1. anoksik fazda geriden devrettirilen düşük yoğunluklu nitrat denitrifikasyona uğrar. Buradan alınan yüksek miktarda karbon içeriğine sahip su anaerobik tanka geri devrettirilir. 2. anoksik tanktan aerobik faza nitrat devrettirilerek nitrat giderimi sağlanır (Şekil 3.4.) (Coskun ve ark. 2018).



Şekil 3.4. Modifiye UCT prosesinin şematik görünümü (Manav-Demir 2012)

### 3.9.5. VIP (Virginia Initiative Plant) prosesi

Virginia Girişim Tesisi'ni simgeleyen bu proses VIP, A2O ve UCT prosesiyle benzerlik gösterir. Bütün kısımlar seri olarak bağlı 2 tam karışimli hücreden oluşur (Manav-Demir 2013). Aktif çamur ve aerobik çamur geri devri anoksik bölüme iletilir. Anoksik tankta oluşan karışım anaerobik tanka geri devrettirilir. Havasız kısım tarafından organik madde stabilize edilir. Kısa SRT ve yüksek oranda fosfor giderimi yapması avantajdır.

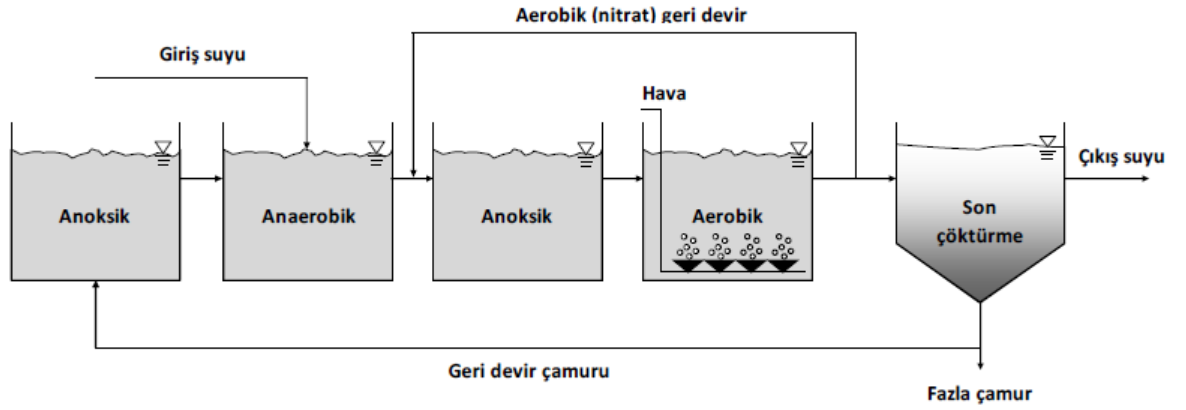


Şekil 3.5. VIP prosesinin şematik görünümü (Balçık 2013)

### 3.9.6. Ardışık kesikli reaktör

Aynı tankta ardışık olarak tüm arıtımın olduğu doldur boşalt tabanlı bir aktif çamur sistemidir. Yüksek fosfor ve azot içerikli atıksuların arıtımında tercih edilmektedir. Anaerobik faz eklendiğinde tam anlamıyla nütrient giderimi gerçekleşir. Şekil 3.6'da görüldüğü üzere 5 kısımdan oluşmaktadır; doldur, anaerobik, aerobik, anoksik, çöktür ve boşalt kısımlarıdır.





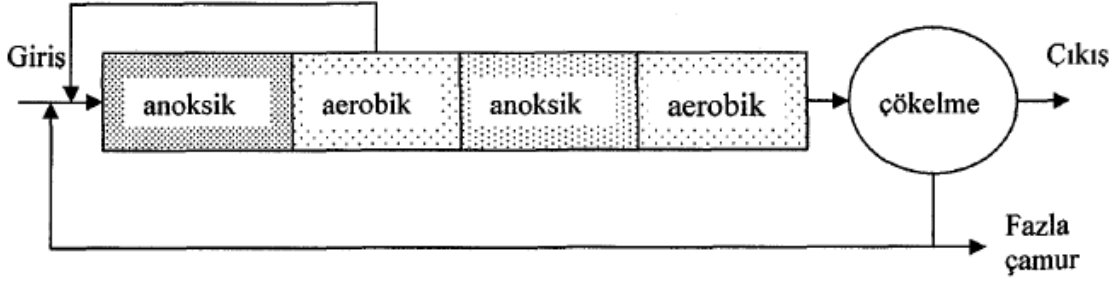
**Şekil 3.6.** AKR Prosesinin Şematik Görünümü (Balçık 2013)

1.kısım reaktörde var olan yoğun çamurun üstüne atıksuyun doldurulduğu kısımdır. Anaerobik kısım ise belirli bir süre anaerobik reaksiyonun oluşumuna izin verilen kısımdır. Aerobik kısım ise havalandırmanın gerçekleştiği yerdir. Nitrifikasyon sonucu oluşan nitrit ve nitratın çöktürülme yapılmadan giderilmelidir. Anaerobik kısımda belirli süre anaerobik reaksiyon gerçekleşir. Aerobik kısma geçilir ve havalandırma işlemi gerçekleşir. Anoksik bekleme sürecinden sonra nitrit ve nitrat azota dönüşür. Çöktürme bölümüne geldiğinde ise askıdaki MLSS çöktürülür ve boşaltma işlemi gerçekleştirilir. Basit oluşu güvenli oluşu, Yüksek verimli çıkış suyu kalitesi, pik debi ve yüksek  $BO_5$  yüklemelerini tolerans sağlaması geri devir olmayışıyla pompa gereksiniminde olmayışı. Nitrat problemini ortadan kaldırmaması. Başarılı fosfor giderme süreci olması. Karbon kaynağından etkili şekilde yararlanması. Az miktarda ya da hiç kimyasal kullanılmayışı avantajlarındandır (Manav-Demir 2006).

### 3.9.7. Bardenpho prosesi (dört basamaklı)

Bu proste denitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için atıksudaki karbon beraberinde, hidroliz sonucu oluşan karbon kullanılır. Havuzda karbonun okside olması, nitrifikasyonun gerçekleşebilmesi ve denitrifikasyonun olması için farklı bölümler mevcuttur. İlk olarak gelen atıksu anoksik olan denitrifikasyon reaktörüne ulaşır. Anoksik olan denitrifikasyon reaktörü geri devrettirilen karbon oksidasyonu ve nitrifikasyonun gerçekleştiği çıkış sularını bünyesinde toplamaktadır. Atıksudaki mevcut karbon geri devir işlemi gerçekleştirilen suda bulunan nitratı denitrifiye etmek amacıyla kullanılmaktadır. Organik yükleme oranı arttıkça denitrifikasyon hızı da artar. Atıksudaki amonyum hiç bir değişikliğe uğramadan ilk anoksik ortamdan ilk

havalandırma tankına gelir. 2. anoksik tanka nitrifiye olan atıksu gelir. İçsel solunumla karbon sağlanarak reaktörde denitrifikasyon gerçekleşir. İkinci havalandırma reaktör azot gazını ortamdan uzaklaştırmak için kullanılır. Nitrifiye olan çamurdan uzaklaşan amonyak ikinci anoksik reaktörde denitrifikasyona uğrar (Şekil 3.7) (Anonim 2019).

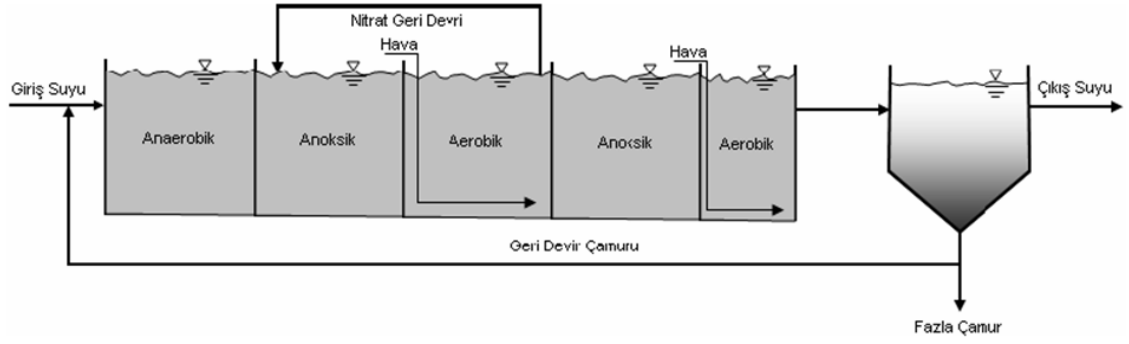


**Şekil 3.7.** Dört Basamaklı Bardenpho Prosesinin Şematik Görünümü (Kuru 2012)

### 3.9.8. Beş Basamaklı Bardenpho Prosesi

Bardenpho prosesi 1970'lerin ortalarında Güney Afrika da ki tam ölçekli tesislerde geliştirilerek uygulamalara başlanmıştır. Mukavemeti yüksek atık sularda pilot tesis testleri esnasında azot gideriminin yanı sıra biyolojik fosfor giderimininde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Bunun üzerine Bardenpho Prosesi, 5 aşamalı sistem haline getirilmiştir (Ahadi 2017).

Dört basamaklı bardenpho prosesinden üstünlüğü azot giderimini sağlarken artı olarak fosfor giderimi sağlamasıdır. Dört basamaklı proses modifiye edilerek havasız bölge eklenip beş basamaklı olmuştur (Coşkun ve ark. 2018). Birden fazla biyolojik aşamayı içeren ve aktif çamur prosesinin gelişmiş şekli Beş Basamaklı Bardenpho prosesidir (Manav-Demir 2006). Nitrifikasyon, denitrifikasyonun yanı sıra azot ve fosfatıda giderir. Aerobik, anaerobik ve anoksik kısımlar fosfor, karbon ve azot gideriminde görev alırlar (Uysal ve Üstünyıldız, 2016). 1. Anaerobik tank, 1. anoksik tank, 1. aerobik tank, 2. anoksik tank ve 2. aerobik tanktan oluşan Beş Aşamalı Bardenpho Prosesi Şekil 3.8'de görülmektedir.



**Şekil 3.8.** Beş Basamaklı Bardenpho Prosesi'nin şematik görünümü (Manav 2006)

Fosfor ve nütrient giderimi için anaerobik, anoksik ve aerobik kısımlar aktif görev alırlar. 1. Aerobik bölümden 1. anoksik bölüme geri devir yapılmaktadır. İlk 3 tankın çalışma stili A2/O prosesindeki biyolojik ilk 3 tanka benzer. Prosese ilave edilen 2 tankla ileri arıtım hedeflenmektedir. Aerobik tankın çıkışından alınan nitratın geri devrinden sonra kalan nitrat hala aerobik tank çıkışında mevcuttur. Çıkış suyunda nitrat görülmesi muhtemeldir. 2. anoksik tank, 1. aerobik tanktan sonra kalan nitratı denitrifikasyon yaparak giderimini hedefler. Bu anoksik tanktan sonra gelen aerobik tank ise herhangi bir arıtım sağlamayıp denitrifikasyondan kalan azotu uçurmayı hedefler (Manav 2006). Anoksik bölüm, aerobik bölümde oluşan nitratı elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanılır. İlave denitrifikasyon olmasını sağlar. Aerobik bölüm ise azot gazını çözümlerden sıyırmak ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek için kullanılır. Uzun çamur yaşında çalıştırıldığından dolayı (10-40 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir (Balçık 2013).

Fosfor gideriminin de görev alan bakterilerin geliştiği havasız ortam şartlarının hakim olduğu kısım anaerobik tanktır. Anaerobik tankta fosfor giderimini sağlayan bakteriler büyümek için gerekenden çok daha yüksek oranda fosforu kendi bünyelerine alırlar. Havasız ortam şartlarında fosfor giderimini sağlayan bu bakteriler, suya fosfor bırakırken aerobik ortam şartları gerçekleştiğinde, sudan fosforu yapılarına geri alırlar. Heterotrofik bakteriler anoksik tankta çözünmüş oksijenden yararlanmak yerine nitrat ile KOİ/BOİ oksidasyonunu temin ederler. Denitrifikasyonun gerçekleşmesiyle nitrat, azota indirgenir.

I. Aerobik tanka gelindiğinde hetetrofik bakteriler sayesinde anoksik tankın çıkışı aerobik tanka verilmek suretiyle KOİ/BOİ oksidasyonu gerçekleşir. Gereken oksijen sisteme havalandırma metodu kabarcıklı veya yüzey havalandırma metoduyla kazandırılır. Amonyagi oksitleyen ototrofik bakteriler nitrit ve nitrata dönüştürülmesini sağlarlar.

II. Anoksik Tankta geri devir işlemleri aerobik tanktan anoksik tanka yaptırılır. geri devir yaptırılmayan nitratlar bu tankta denitrifiye ettirilir. Platformdaki karbon içerikli organikler nitratdaki oksijeni harcayarak oksitlenir ve nitratın azot gazına dönüşümü gerçekleşir. Dönüşen azot atmosfere verilir. Bu tankta nitratın konsantrasyonu 1. anoksik tankla kıyaslandığında daha az seviyededir. Karbon sağlamak için içsel bozunmalar kullanılmaktadır.

II. Aerobik Tankta karbonu oksitlemeye mikroorganizmalar devam etmektedir. Uygun şartlarda poli-hidroksibütratlar oksidasyonla enerji kazanımı sağlarken atıksudan hücre içine fosfat alırlar. Aerobik şartların devam etmesi için tanka oksijen kazandırılır. Bu sayede hücrenin hapsettiği fosforun hücre dışına çıkması engellenmiş olur. Azot gazı atmosfere kazandırılır (Uysal ve ark. 2016).

Bardenpho Prosesinin avantajları;

- Diğer proseslerle kıyaslandığında daha yüksek nütrient giderim verimine sahip olması.
- Biyolojik fosfor gideren tüm proseslerden daha az çamur oluşumuna sebep olmaktadır.
- Çamurun fosfor içeriğinin yüksek olması, yüksek gübre değerine sahip çamuru değerli kılar (Kuru 2012 ).
- Uzun çamur yaşında işletildiği takdirde karbon oksidasyon kapasitesinde artışa neden olması. Kimyasalın kullanımının çok az limitlerde ya da hiç kullanılmayışı.

- İlk yatırım maliyetinin Tank ihtiyacı sebebiyle yüksek olmasına karşın işletme maliyetinin düşük olması, ilave işletme eğitime ya da kontrole gerek olmaması.
- İyi çökelebilen çamur üretiminin olması (Manav-Demir 2013, Balçık 2013).

Bardenpho sisteminin dezavantajları;

- Döngü sayısına bağlı olarak yüksek miktarda pompa enerjisi gerektirir.
- Fazla sayıda reaktör içerir.
- BOİ/P oranının yüksek olması.
- Yüksek oranlarda fosfor giderebilmek için birincil çökeltim ihtiyacının olması.
- Sıcaklığın proses performansındaki etkisinin tam olarak bilinmemesi (Kuru 2012).

### **3.10. Yapay Sinir Ağları**

#### **3.10.1. Yapay sinir ağı tanım ve görevleri**

Yapay sinir ağı, insan aklının spesiyalitesinden olan, fikir yapısını anlayarak, öğrenme yöntemi ile yeni bilgileri inşa edebilen, yeni bilgileri teşkil eden ve keşfedebilme gibi süreçleri bir yardım almaksızın kendiliğinden gerçekleştirmek amacıyla geliştiren, insan beyninin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri ile ortaya çıkmış sistemlerdir. Programlanmış bir makinenin düşünme girişimidir. Bu süreçler geleneksel metotlarla gerçekleştirmek çok zor veya mümkün olmamaktadır. Bu sebeple yapay sinir ağları, gerçekleşmesi muhtemel olmayan olaylar için geliştirilen uyarlanmış bilgiyi işleme ile ilgilenen bilgiye ulaşma, bu bilgiyi algılama bir sonuca ulaşmak üzere karar verme gibi insan zekasına ait yetilerle donatılmış bilgisayarlar, yapay zeka tanımını açıklamaktadır (Açıkalmın 2007, Öztürk 2007, Yılmaz 2008).

İnsan beyninin çalışma ilkeleri üzerine yapılan nörofizyolojik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar insan beyni gibi karar verebilen, öğrenme yetisine sahip hatta düşünebilen

makinalar üretme hayalinin gelişmesine neden olmuştur. YSA'lar insan beyinde ki sinir hücrelerinin bilgisayar ortamında matematiksel ve grafiksel modelidir (Yüksek ve ark. 2007). YSA' ları milyonlarca işlemi çok kısa zamanda hatasız olarak uygulama düşüncesinin, makinelere daha çok görev verebilme isteğinin bir sonucudur. Yapay kelimesi biyolojik kökene ait olmadığını vurgularken, sinir ağları oluşturulan ağ sisteminin insan anatomisinden ilham alınarak oluşturulduğunu belirtir.

Günümüzde makinelerin gelişmiş olmalarına rağmen yapamadıkları ya da yapmakta zorlandıkları işlemleri insan beyninin yapıyor oluşu araştırmacıların merakını uyandırmakta ve bu konuda çalışmalarına sebep olmaktadır. İnsan beyninin makinelerle kıyaslandığında yavaş kalan yapısına rağmen gelişmiş haberleşme ve paralel işlemler sayesindeki üstün yetenekleri klasik hesaplama yöntemlerine yeni bir bakış açısı olan YSA'ları oluşturmuştur. YSA'ların da hiyerarşik düzene göre kurallar sırasıyla yerine getirilmez. Belli bir kural olmaksızın bilişsel seviyede sembolik işlem yaparlar. Uzman sistemlerden farklı olarak davranışı taklit etme özelliğini YSA'ları kullanmaktadır. İnsan beyninin edindiği tecrübelerle benzer bir yöntemdir. Neyi niye yaptığını bilmeden doğru şekilde onu eğitilen bir canlının yapması şekline benzerlik gösterir. Yapay zekanın başka bir tanımı ise şu şekildedir; İnsanın uyguladığında zeka olarak isimlendirdiği davranışlarını makinelerin yapmasıdır.

Yapay zeka ile yapılan çalışmalar farklı teknolojilerin oluşumuna neden olmuştur. Değişim gösteren günlük olay ve sorunlar ve bu olayların farklı insanlarca farklı yorumlanması, karşılaşılan problemlere farklı insanların farklı kültürlerin değişik şekillerde ki çözüm önerileri bilgisayarlarında insanların bu karar ve sorunu çözüm mekanizmasını taklit etmesi üzerine değişik birçok teknolojinin doğmasına sebebiyet vermiştir. Günümüzde çok sayıda yapay zeka teknolojilerinden konuşulmaktadır. Günümüzde daha yaygın olarak kullanılanlar uzman sistemler, yapay sinir ağları, genetik algoritma , bulanık mantık ve zeki etmenlerdir (Öztürk 2007).

Yapay sinir ağları örnekler vasıtasıyla hadiseler arasındaki ilişkileri belleğine alarak daha sonra hiç görmediği örnekler üzerine öğrendiği bilgilere dayanarak karar veren sistemlerdir.

Uzman sistemlerin mantığı bir problemi çözen bir uzman gibi çözümler sunmaktır. Uzmanlık bilgisi çıkarım oluşturma bilgiler arası bağ ve iletişim kurabilme özelliğine sahiptir.

Genetik algoritmalar; genel yöntemlerle çözülemeyen sorunları çözmek için geliştirilmiştir. Birden çok problemin çözümünü birleştirerek daha iyi çözümler sunar. Bulanık mantık ise kesin rakamlarla ifade edilemeyen durumlarda karar vermek için kullanılan bir yöntemdir. Zeki etmenler birçok yapay zeka tekniğini kullanarak esnek çalışan bağımsız sistemlerdir. Bu teknolojiler gün ilerledikçe daha çok gelişmekte yeni ürünler ortaya çıkmaktadır. Otomasyon sistemlerde de kullanılan yapay zeka teknolojileri ile ticari ve fonksiyonel olarak gelişim sağlamaktadır (Açıkalin 2007).

### **3.10.2. Yapay sinir ağlarının günümüze kadar olan gelişimi**

Warren McCulloch ve Walter Pitts tarafından 1943 de elektrik devreleri ve insan beyninin mekanizması örnek alınarak ilk YSA modeli tasarlanmıştır.

1949 yıllarına gelindiğinde ise Hebb, YSA'nın bağlantı sayısını değiştirerek öğrenmenin olduğunu göstermiştir. Bu Hebbian öğrenme kuralı olarak literatürde yerini almıştır.

1954 yılından 1961 yılına kadar Rastgele ağlar ve adaptif tepki üretimi geliştirilmiştir.

1958 yılında algılayıcı örüntü tanıma gibi YSA'lar geliştirilmiştir. Devrim olarak kabul edilen bu çalışma eğitilebilen tek katmanlı ve tek çıkışa sahip YSA'dır. Çok katmanlı sinir ağlarının temelini bu çalışma oluşturur

1970'lerin başında ADALINE ve 70'lerin sonlarında MADALINE ortaya çıkarılmıştır. Mühendislik uygulamalarında kullanım sağlanmaya başlamıştır.

1960'larda doğrusal olmayan problemlere ysa'nın çözüm bulamadığı xor problemlerine cevap veremediği kanıtlanmıştır bu durum ysa ya verilen destek ve yatırımlara balta vurmuştur.

1982 de Hopfield XOR problemini çok katmanlı ysa ile çözmüştür. 1986 da Rumelhart geriye yayılma algoritmasıyla Xor problemlerini çözmüştür.

1988 de RBF radyal tabanlı fonksiyonu filtreleme ve geri sıkıştırma problemlerine lowe ve Broomhead çözüm bulmuştur.

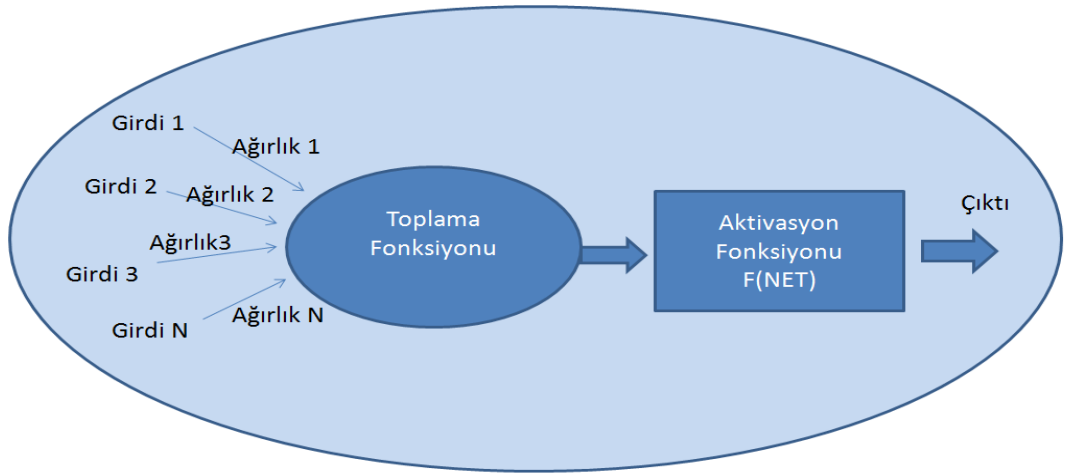
1990 da Olasılıksal sinir ağları 1991 de genelleştirilmiş regresyon ağları ile çalışmalar hız kazanmıştır. Günümüzde bir çok problemin çözümünde YSA'lar sıklıkla kullanılmaktadır (Yılmaz 2008).

### 3.10.3.YSA'nın temel işlevi ve yapısı

Problem karşısında çözüm geliştirmede önemli etkiye sahiptirler. YSA'ları birbirine bir düzenle bağlı nöronların paralel bir düzende çalıştığı yapay hücrelerden oluşurlar. Nöronların birbirine bağlandığı ve bu düzendeki her bağlantının bir değere sahip olduğu kabul edilmektedir. Öğrenilerek elde edilen bilgilerin bu procesteki bağlantı değerlerinde saklandığı bir dağılım hafızanın olduğu ortak noktalardan oluşur (Açıkalin 2007).

### 3.10.4. Yapay sinir hücresi

Biyolojik sistemlerin sinir ağlarında olan sinir hücreleri gibi yapay sinir ağlarında da bu sistem görülmektedir (Öztürk 2007). Mühendislikte YSA hücreleri proses elemanları olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.9. Yapay sinir hücresinin yapısı



Yapay sinir hücresinin yapısı Şekil 3.9'da gösterildiği gibidir bu proses 5 temel elemandan oluşmaktadır; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve hücrenin çıktısı şeklindedir (Açıkalın 2007).

### **3.10.5. YSA'nın üstünlükleri ve sakıncaları**

En kıymetli üstünlüğü, öğrenebilme kabiliyetidir ve değişik öğrenme algoritmalarını kullanabilmesi. Eksik bilgilerin olmasına rağmen başarılı şekilde çalışabilir. Örneklerden faydalanıp kendi kendine öğrenir. Atıksu arıtma tesislerin işletilmesinde optimizasyonunda YSA'lar modellerin geliştirilmesinde kullanılabilir. YSA'lar diğer klasik yöntemlerden üstün olarak daha esnek daha geniş bir ortam sunmaktadır. arıtma tesislerinde önem arz eden parametrelerin tayininde zaman ölçüm kolaylığı ekonomik yönden avantajlar sağlarken ölçümün yapılması zor durumlarda ölçümlerin kolay ucuz ve daha zahmetsiz parametrelerin yardımıyla bu değerlere YSA'lar sayesinde ulaşım imkanı sağlar (Açıkalın 2007).

YSA ile izlenen günlük atıksu arıtma verileri karşımıza çıkabilecek olumsuz etkilere karşı tedbir almayı mümkün kılar. Arıtma tesisi kontrolünü ysa ları sayesinde hızlı ve hatasız işlem kabiliyeti olması nedeniyle kontroller güvenilir şekilde sağlanır. Verinin oturtulacağı modelin evvelce belirlenmesi gereken gelenekselleşmiş regresyon modellerinden farklı olarak ysa'ları fonksiyonun mutlak surette belirleme zorunluluğu bulunmamaktadır. YSA 'nda ağ tarafından en doğru yöntem en doğru şekilde tayin edilecektir (Öztürk 2007).

YSA'nın genelleme özelliği eğitim esnasında rastlaşmadığı verileri somutlaştırma özelliğine sahip olmasından kaynaklı anlamlı cevaplar bulur. Bu özellik nodlar arasındaki ağırlıkların kodlanmasıyla gerçekleşir. Bu şekilde model yeni verilere gerçek yanıtlar verir ayrıca bu bilginin doğru yorumlanmasını ile farklı çözüm önerileri ve yaklaşımlar sunabilir. YSA doğrusal olmayan bağlantıları tanımlayabilir. Doğrusal olmama, alakalı eşitlikteki bilinmeyenlerin birbirine bağlı olmasından kaynaklı olabilir. YSA'nın doğrusal olmayışı büyük bir avantajdır. YSA'lar bulanık hatalı olan verilerde dahi iyi neticeler verebilmektedir (Yılmaz 2009).

YSA'nın modüler olması zamandan tasarruf sağlamakta hızlı olması sayesinde gerçek zamanlı çalışlabilmektedir. YSA'nın yanı sıra günümüzde birçok yapay zeka modelleme yöntemi mevcuttur. Yapılan araştırmalarda YSA'nın diğer yapay zeka modelleme yaklaşımları gibi güçlü bir model olduğu savunulmaktadır.

Sakıncaları: Sistem kara kutu mantığındadır ve içeride ne olduğu kestirilememektedir. Sakıncası ise sistemin nasıl çalıştığına analizinin yapılamayışı ayrıca öğrenme konusunda başarısız olma riskidir. Bazı ağlar dışında kararlılık analizleri uygulanamaz. Başka sistemler uyarlanmada güçlükler yaşanır. Model seçiminin deneme yanılma yoluyla olması da dezavantajdır (Dede 2009).

### **3.10.6. YSA'nın kullanıldığı alanlar**

Sistemlerin modellenmesi, yüz ve ses tanıma, parmak izlerini tanıma, askeri uygulamalar, tıp ve mühendislik uygulamaları, meteorolojik hava tahmini uygulamaları, mali uzmanlık gerektiren alanlarda uygulamalar, optimizasyon, robotik uygulamalar gibi çok geniş alanlarda ysa'lar kullanılmaktadır (Yılmaz 2009).

YSA'lar birbirine bağlı düğümlerden oluşur, bir araya gelen yapay sinir hücrelerinden meydana gelir. Bu düğümler insan beyninin çalışma şeklinden feyz alınarak oluşturulmuştur. İşlem elemanı biyolojik sisteme göre basit olsada onun görevlerini taklit etmektedir. Bu sinir hücreleri belirli bir hiyerarşide bir araya gelirler. Bu düzen genellikle 3 katman ve her katman kendi içinde paralel şekilde bir araya gelip ağı oluşturmaktadırlar. Girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır (Açıkalin 2007, Öztürk 2007) .

### **3.11. Yapay Sinir Ağı Modelleri Öğrenme Yöntemleri**

İstenilen verilere ulaşmak için işlem elemanları arasında ki sunulan ya da elde edilen seçeneklerden en uygun olanının ağırlıklarının bulunma sürecidir. Bilgi birçok ağda ağırlıklarla dağılmaktadır. Tek bir ağ ile yalnız başına bir sonuç elde edilemez. Ağ öğrenme sürecinde bir bütün olarak ele alınmalıdır. Sorunun cevabına ulaşmak için ağırlıklar doğru değerlere sahip olması istenir. bu işlem öğrenme kuralları ile yapılır (Açıkalin 2007, Alkay 2016).

### **3.11.1. Öğretmenli öğrenme**

Bu öğrenme stilinde bir öğreticiye gereksinim vardır. Öğretici sisteme girdi ve çıktıları işler. Gerçek çıktılar ile sistemin çıktıları kıyaslanır. Ağ ağırlık atamalarını yapar. İstenilen hata miktarına ulaşılmadığı taktirde ağırlıklar tekrar düzenlenir. Bu süreç istenene ulaşınca kadar devam edilir. Delta ve geriye yayılım öğrenme öğretmenli öğrenme sistemine örnek verilebilir (Yılmaz 2009, Karakaya 2012)

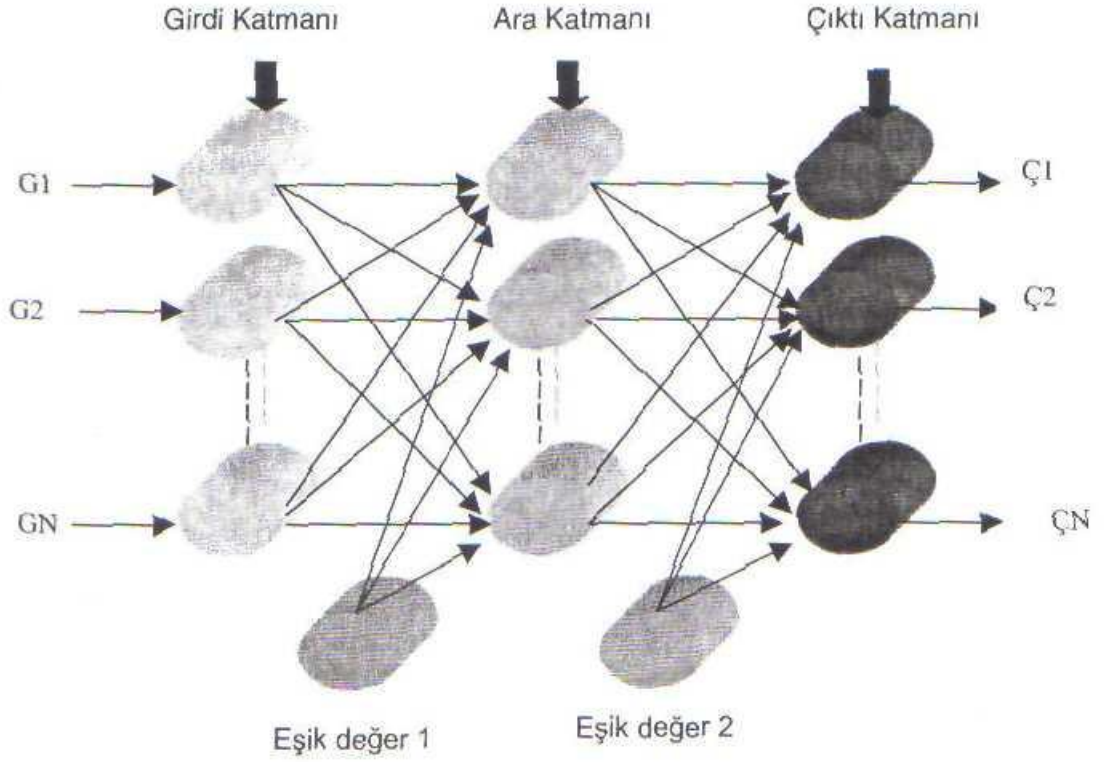
### **3.11.2. Danışmansız öğrenme (Unsupervised)**

Bir öğreticiye gereksinimin olmadığı öğrenme şeklidir. Gerçek çıktılar olmaksızın bu yöntem gerçekleştirilmektedir. Sistem çıktıyı kendi üretir. Öğretmen sisteme çıktının ne olması gerektiğini değil doğru ya da yanlış olduğunu belirten destekleyen bir sinyal gönderir (Yılmaz 2009). Sınıflandırma yapılacağı taktirde destekli öğrenme yöntemi kullanılır. Hebbian ve Grossberg öğrenme şekli destekli öğrenme sınıflarındadır (Açıkalın 2007, Alkay 2016).

### **3.11.3. Karma stratejiler**

Ağlar destekli öğrenme ya da öğretmenli öğrenme şeklini birlikte kullanarak öğrenme yapılabilir. Burada kısmen bir öğretici olduğu ve olmadığı şekillerde de ağın öğrenmesi vurgulanmaktadır. Rabial (RBN) ve olasılık (pbnn) tabanlı ağlar örnek verilebilir. Sınıflama, tanıma ve tamim yapılması gerekli zamanlarda problemin çözümü için kullanılmaktadır. Delta öğrenme kuralını kullanan bu modelin hedefi ağın beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasında ki hatayı minimum seviyeye indirmektir. Hatayı ağa yaymak suretiyle bu işlemi gerçekleştirmekte bu yüzden bu ağ hata yayma ağı olarak adlandırılmaktadır (Babar 2011).

Çok katmanlı algılayıcı modeli (Şekil 3.10). YSA'daki öğretilmek istenen vakaların giriş ve çıkışları arasında ki ilişkiler doğrusal olmadığı taktirde de uygulanmaktadır. Diğer yöntemlere göre gelişmiş bir yöntem olması avantaj sağlar. ÇKA modeli yapay sinir ağı döneminde yeni bir devir başlatmış ve mühendislik problemlerine cevaplar veren seçkin bir yöntem olarak tercih edilmektedir (Açıkalın, 2007, Babar 2011, Karakaya 2012).



**Şekil 3.10.** Çok katmanlı ağ modeli (Açıkalın 2007)

### 3.12. ÇKA Modeli

Girdi katmanı, çıktı katmanı ve ikisinin arasında bulunan ara katmandan oluşan çok katmanlı algılayıcı modeli 3 bölümden oluşur. Çevreden toplanan giriş bilgilerini ara katmana gönderir. Bu veriler üzerinde bilgi işleme olmamaktadır. Değişim olmadan bir diğer katmana iletilir. Bir veya birden daha fazla miktarda veri girişi sağlanabilir. Proses elemanlarında bir giriş vardır her biri için giriş katmanındaki süreç elemanı daha sonraki katmanda ki proses elemanının hepsine bağlıdır. Proses elemanlarının her birinde çıkış elemanı da mevcuttur çıkış verisi de kendinden sonraki tüm proses elemanlarına iletilir. Giriş katmanından sonra gelen kısımda ara katman mevcuttur. Giriş bilgileri ara katmanda işlenerek bir sonraki katmana buradan iletilir. Bir ya da birden fazla ara katman ve proses elemanı mevcut her katmanda olabilmektedir (Karakaya 2012).

Çıktı katmanı ise ara katmandan aldığı bilgileri alarak ağın ürettiği çıktı bilgisine göre girdi bilgisini seçerek dış ortama iletir. Her proses elemanı kendinden önceki tüm proses öğeleriyle bağlantılıdır ayrıca her proses öğesinin tek çıktısı olmaktadır.

Çok katmanlı ağ, öğretmenli öğrenme tekniğini kullanır. Ağa örneklerle beraber örneklerden elde edilen çıktılar verilir. Ağ bu örnekleri göz önüne alarak genelleme yapmaktadır. Problem uzayını gösteren bir çözüm uzayı üretir. Sonraki aşama ise örneklere çözüm uzayı ve çözümler üretilmesidir (Açıkalın, 2007, Babar 2011, Karakaya 2012).

### **3.12.1. Çok katmanlı ağın öğrenme nizamı**

ÇKA'nın öğrenme metodu en küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme kuralının genelleştirilmiş halidir. Genelleştirilmiş delta kuralı bazında, ağa öğrenmesi için eğitim setleri sunulmalıdır. Hem giriş hem bu girişlere karşılık gelen çıktılar ağa verilmelidir. Her girdi için buna karşılık bir çıktı üretmek ağın işlevidir.

### **3.12.2. ÇKA'nın çalışma prosedürü**

İlk adım daha önce ki zamanda gerçekleşmiş örneklerin elde edilmesidir. Eğitim için ve test için örnekler düzenlenmelidir. Eğitimi ağa uygulatırken test seti ağa gösterilmeyerek ağ eğitilir. Eğitim uygulamasında veriler tek tek ağa öğretilir. Ağ olayın mantığını öğrendikten sonraki süreçte test setindeki veriler ağa gösterilerek ağın performansı tespit edilir. Daha öncesinde görmemiş olduğu örneklerle karşılaşan ağın başarısı iyi öğrenip öğrenmediğini ortaya koymaktadır.

Bir sonra ki süreç ağın topolojik inşasının belirlenmesidir. Öğrenilmesi istenen düzen için bu belirleme yapılır. Kaç girdi, kaç ara katman bu ara katmanlarda kaç proses elemanı ve kaç çıktı olması gerektiği bu adımda gerçekleştirilir. 3. adımda ağın öğrenme katsayısı belirlenir. proses öğelerinin toplama ve aktivasyon fonksiyonları bu süreçte belirlenmektedir.

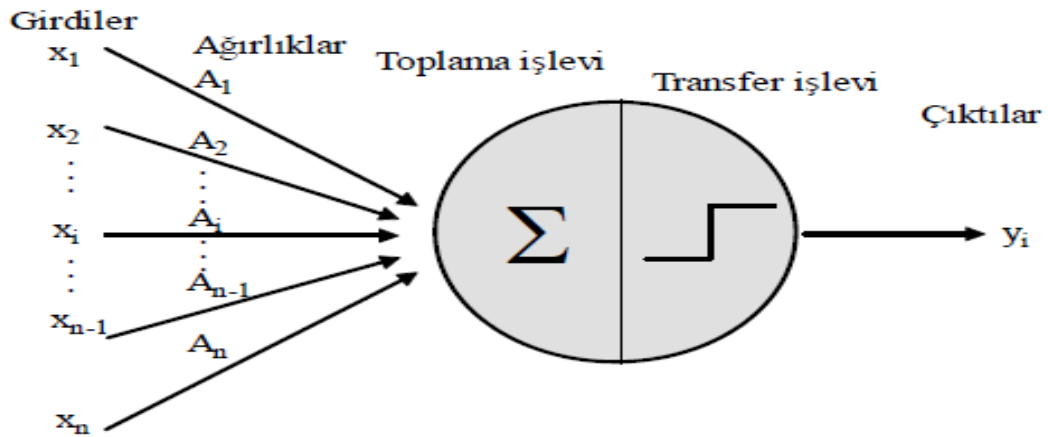
Ağırlıklı değerlerin atandığı dördüncü aşamada başlangıç kısmında rastgele değerleri atayan ağ sonraki aşamada öğrenerek bu değerleri kendi seçer. Özetle bu kısımda ağırlık değerleri seçilir ve başlangıç değerlerine eşik değer ünitesinin ağırlıkları atanır. Diğer adım örneklerin öğrenme setinden seçildiği kısımdır. Giriş ve çıkış verileri ağa sistematik şekilde gösterilir. Ağ bu süreçte ağ öğrenir ve öğrenme düzenine uygun şekilde ağırlıkları değiştirir.

Giriş verileri için ileri hesaplamalar yapılarak çıkış verileri hesaplanır. beklenen çıktı ile ağın çıktısı karşılaştırılarak hata miktarı tespit edilir. Geri hesaplama sistemi uygulanarak ağın ağırlıkları değiştirilerek hata miktarı minimize edilir (Açıkalın 2007, Babar 2011, Karakaya 2012).

### 3.13. YSA'nın İşlem Elemanları

Girdiler, dışarıdan aldığı verileri ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) düğüme yani işlem elemanına aktarırlar. Geri beslemenin gerçekleştiği aşamada düğümler kendi kendine girdi oluşturabilir (Yılmaz 2009).

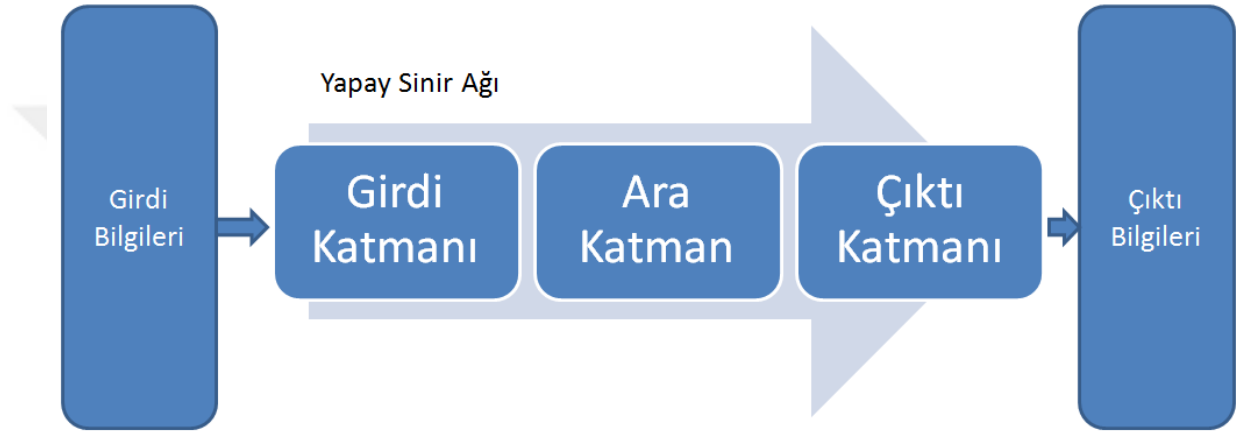
Ağırlıklar, oluşan girdilerin nöronlar üzerinde ki etkisinin izlendiği yerdir. Her girdinin sistemde kendine ait bir ağırlığı mevcuttur. Değişken ağırlıklara sahip durumlarda öğrenmenin gerçekleştiği süreçte sürekli değişim geçirerek giriş çıkış ilişkisini yakalamaya çalışır. Ağırlık değeriyle orantılı olarak büyük olduğu takdirde girdinin yüksek bağ kurduğunu bu değerin düşük olduğu takdirde zayıf bir bağ oluştuğu söylenebilir. Ağırlıklar YSA'nın bilgilerinin saklandığı kısımdır. Çıktılar, sinir hücresinin bağlantılı olduğu ya da ağ dışında ki kaynakları transfer fonksiyonunun bir sonucu olarak gösterir (Şekil 3.11) (Yılmaz 2009, Karakaya 2012, Alkay 2016).



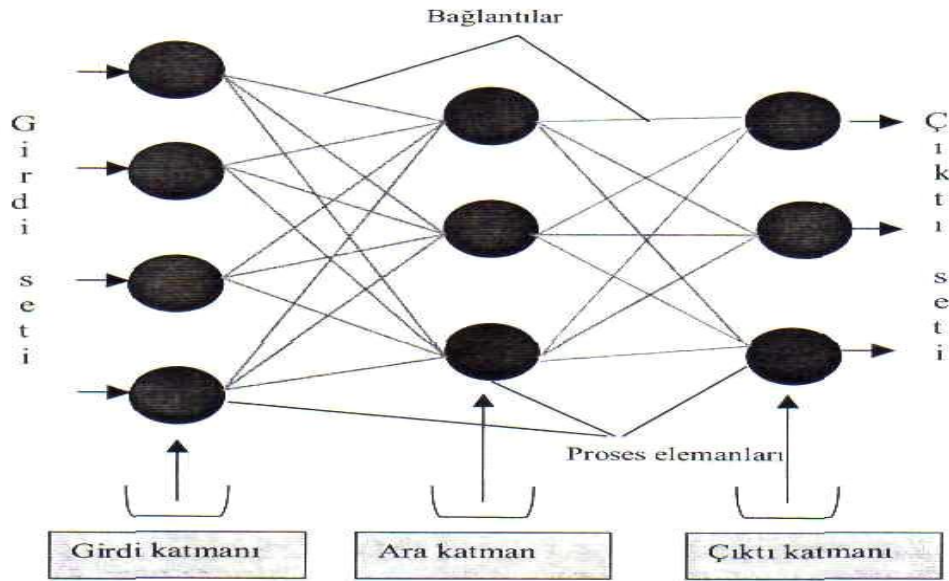
Şekil 3.11. YSA'nın işlem elemanının yapısı (Alkay 2016)

Gelen bilgileri alarak ara katmanlara aktaran proses elemanı girdi katmanıdır. Bu katmandan gelen bilgileri işleyerek çıktı katmanına gönderen bölüm ara katmandır. Bir ya da birden daha fazla ara katman ara katman kullanılabilir. Girdi setleri için çıktı

üretimini gerçekleştiren kısım ise çıktı Problem karşısında çözüm geliştirmede önemli rol oynarlar. YSA'lar birbirine bir düzenle bağlı nöronların paralel bir düzende çalıştığı yapay hücrelerden oluşurlar. Nöronların birbirine bağlandığı ve bu düzendeki her bağlantının bir değere sahip olduğu kabul edilmektedir. Öğrenilerek elde edilen bilgilerin bu prosesteki bağlantı değerlerinde saklandığı bir dağılım hafızanın olduğu ortak noktalardan oluşur (Şekil 3.12) (Öztürk 2009).



**Şekil 3.12.** Yapay Sinir Ağı Katmanlarının Birbirine Olan İlişkisi



**Şekil 3.13.** Bir Yapay Sinir Ağı Örneği (Açıkalın 2007)

3 katmanlı bir yapay sinir ağının gösterildiği şekilde proses elemanları ve katmanların ilişkileri şematik olarak gösterilmiştir. Yuvarlak kısımlar proses elemanlarını bu elemanları birbirine bağlayan çizgiler ağın yaptığı bağlantılarını gösteren Şekil 3.13 yapay sinir ağını oluşturur (Açıkalin 2007).

YSA'nı bilindik genel yöntemlerden farklı kılan en temel nokta, bu ilişkilerin yapılması için çok ayrıntılı teknik analizlerin uygulanması ve sistemin mekanizmasının tüm ayrıntılarıyla bilinmesi mecburiyetinin olmamasıdır. Geleneksel yöntemler makinalarda işlemleri ardışık ana işlemci (CPU) ile yaparken sinir ağları nodları kullanarak paralel olarak işlemleri gerçekleştirir (Karakaya 2012).

İstatistiksel yöntemlerle kıyaslandığında daha geniş bir pencereden farklı bakış açıları takdim eden YSA'larında özel fonksiyonel tanımlamalar gerek kalmamaktadır. İstatistiksel yöntemde olduğu gibi yorumlanması ve kullanılmasında uzmanlık bilgisi gerektiren dağılım, bağımsız değişkenler ve benzer uygulamalar bulunmamaktadır (Alkay 2016).

YSA, değişim gösteren çevre şartlarına kendini adapte edebilme özelliğine sahiptir bu özellik biyolojik nöronun bir modelin olmasından ileri gelir. Sistemde gelişen farklı özelliklere karşı nodların her biri duyarlılık gösterir. Veri setleri öğretildikten sonra ağa sunulan yeni veri girişleri karşısında nodların öğrenmiş olduğu bir sinyal karşısında bunu daha sonraki adıma iletir, bilmediği bir sinyal aldığında ise herhangi bir uyarım gerçekleşmez. Bu insanda gerçekleşen sinir hücrelerinin davranışının taklit şeklidir. YSA, sisteme verilen giriş verileri ile amaçlanan değerler arasındaki bağlantıyı en az hata ile eğitimden geçerek tanımayı öğrenen hesaplama sistemidir (Öztürk 2007).

### **3.14. Ağ Tipleri**

#### **3.14.1. İleri beslemeli ağ**

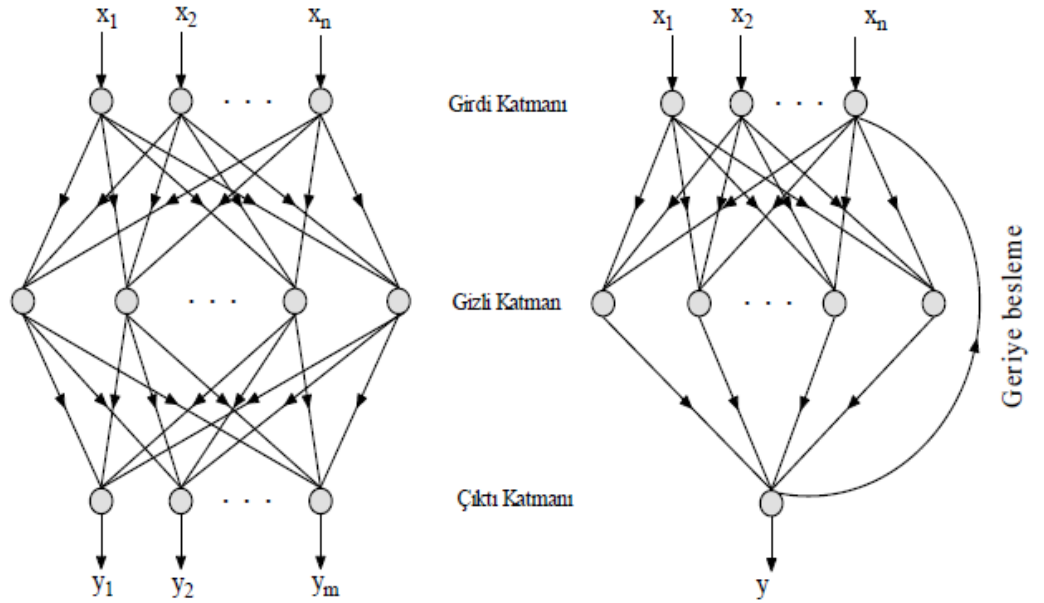
Katmanlar şeklinde oluşan yapıya sahiptirler. Girdi katmanı ilk katman olup problemin çözülmesine ilişkin bilgilerin ağa alınmasını sağlar. Çıktı katmanı ise ağa işlenen verilerin dışarıya aktarıldığı katmandır. Her katmandaki sinir hücreleri kendinden önce gelen gelen katmandaki işlem elemanlarını kullanır. Bu sebeple bilgi akışının ileriye doğru aktığı gözlemlenmektedir (Kaynar ve Taştan 2009).



### 3.14.2. Geri beslemeli ağ

Bir hücre sonrasında gelen bir diğer hücre tarafından beslenir. Bir katmandan bir diğer katmana doğru uzanan ağırlıklar yoluyla geri besleme bağlantısına müsade ederler. Daha genele uygun bir yapısı vardır. Geri beslemeli ağları kullanırken farklı şekildeki ağlar tercih edilebilir fonksiyonel, düz veya gizli katmanlı ağ tercih edilebilir. Düz ağ yapıları doğrusal olmayan problemlerde yetkinlik gösteremez. Düz ağların mantığı giriş ve çıkış katmanlarında ki doğrusal problemlerde kullanılır (Yıldız 2009, Dede 2009).

Gizli katmanlı ağlarda ilave katmanlar vardır ve bu ilave kısım düz ağın negatif yönünü kapatır. Gizli katman sayıları bir veya daha fazla olabilir. Doğrusal olmayan ağların problemler için uygundur. Bu ağlar çok katmanlı ağ sınıfındadır. Fonksiyonel ağ günümüzde popülerliği artan bir ağ yaklaşımıdır. Düz ağda ki problemlere cevap olarak geliştirilmişlerdir. Düz ağlara benzerlik göstermekte düz ağdan ayıran yanı temel giriş büyüklüğünün doğrusal olmayan dönüşümler için ilave kısımlarının olmasıdır (Şekil 3.14) (Öztürk 2007, Karakaya 2012).



Şekil 3.14. İleri beslemeli ve geriye beslemeli ağ yapıları (Yılmaz 2009)

### 3.14.3. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağıları (İBGYYSA)

Su ile ilgili yapılan çalışmalarda en çok tercih edilen metottur. Üç farklı birimden oluşan YSA giriş ara ve çıktı birimlerinden oluşur. Birimlerin her biri bir yada birden çok nörondan oluşur birimler birbirlerine ağırlıklarla bağlanmaktadır. Bağlanmanın stili ve nöron miktarı değişiklik gösterir. Aynı nöronlar arasında iletişim olmasına müsaade edilmez. Geriye dağılım ve hata kısmından oluşur. Çıktılar arasındaki farklılara dayalı bağlantılar üzerinde farklılıkların yapılabildiği geriye ilerleme kısmı bulunur (Yılmaz 2009, Eren 2010).

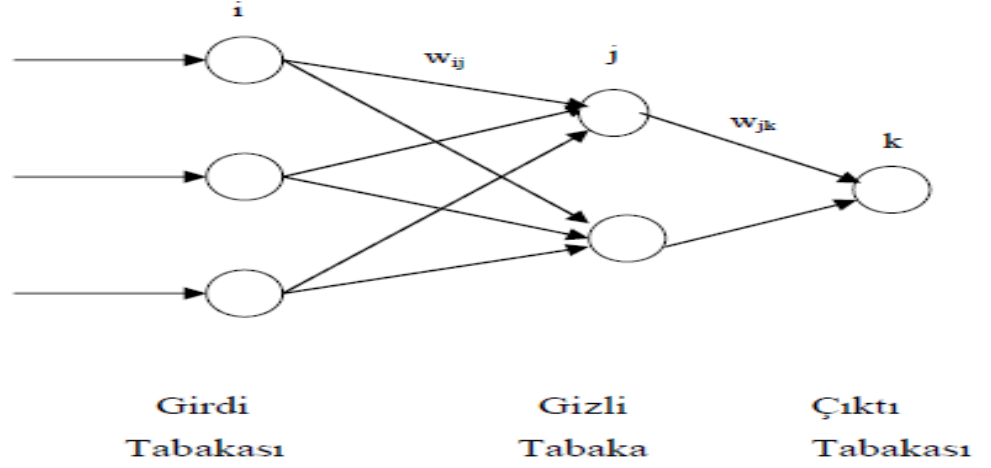
Bu sistemde bağlantı kuvvetleri gelişigüzel atanmaktadır. Eğitim olumlu sonuçlanana kadar öğrenme algoritması her iterasyonda kuvveti değiştirir. bir sonuç elde edildiğinde bu depolanır yeni verilerle giriş yapıldığında ileri doğru besleme ile öğrenilen ve depolanan bilgi neticesinde bir çıktı grubu elde edilir (Karakaya 2012).

Geri yayılma algoritmasındaki akış ileriye doğru bilgi akışı ve geriye doğru hatanın yayılımıdır. Elde edilen hatanın geriye doğru yayılarak ağırlıklarının değiştirilmesi sağlanır. Geriye yayılma algoritmasında ulaşılmak istenen giriş ve çıkıştaki en uygun bağlantı ağırlıklarına ulaşmaktır. Eğitim yaparken 2 yöntem varsayılabilir ilki belli ölçüdeki hata toleransını göze alarak o hatadan daha aşağı seviyelerde hata değerine ulaşmaya kadar eğitime devam etmektir. Burada önemsenen nokta eğitime sayısından ziyade hatanın miktarıdır. Diğer bir alternatif ise sabit bir eğitim sayısı belirlemektir. Burada eğitici seçilen eğitime sayısı sonucunda çıkan hatayı kabul etmelidir (Yıldız 2009, Dede 2009).

Geriye yayılma algoritmasının dezavantajları da mevcuttur ağı eğitilme garantisinin yokluğu önemli bir mahsurdur. Bunu gidermek için ağ genişletilebilir fakat ağ büyümek daha çok işlem yüküne sebep olur sonlu bir zaman diliminde eğitim ihtimali minimum olur (Dede 2009).

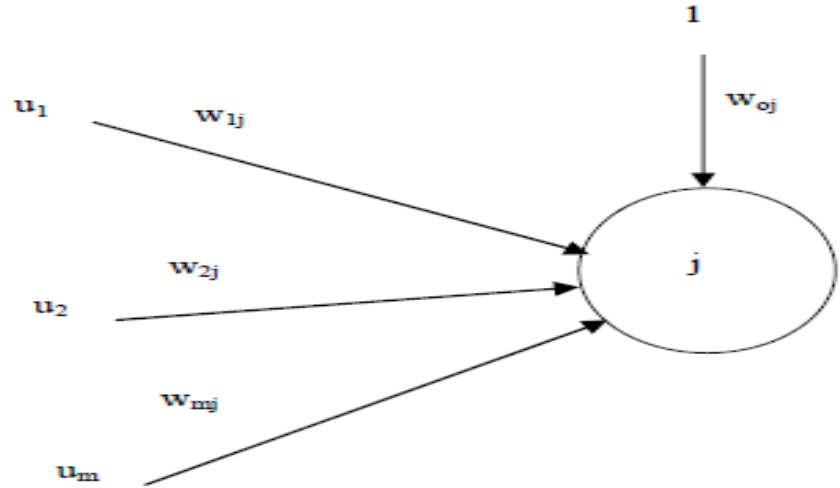
Şeki 3.15'te tabakadan oluşan ileri beslemeli geri yayımlı girdi tabakası gizli tabaka ve çıktı tabakası olmak üzere YSA görülmektedir.  $i$  sembolü girdi katmanını,  $j$  sembolü gizli tabakayı,  $k$  sembolü ise çıktı katmanını simgelemektedir,  $w$  ise her bir nöronun ağırlığını temsil eder. Bağlantıların hangi nöronla ilişkisi olduğunu ise alt indis

sembolleri göstermektedir. Örneğin  $w_{jk}$  j nöronunun k nöronuyla olan bağlantısını açıklamaktadır. Girdi katmanından çıktı katmanına doğru oluşu ileri beslemeli ifadesiyle açıklanabilir. Girdi katmanı ve diğer katmandaki nöronlar kendi aralarında bağlantı içermezler (Yıldız 2009).



Şekil 3.15. Üç Tabakalı İleri Beslemeli YSA (Yılmaz 2009)

Gizli katman ya da çıktı katmanındaki tipik bit nöron yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir



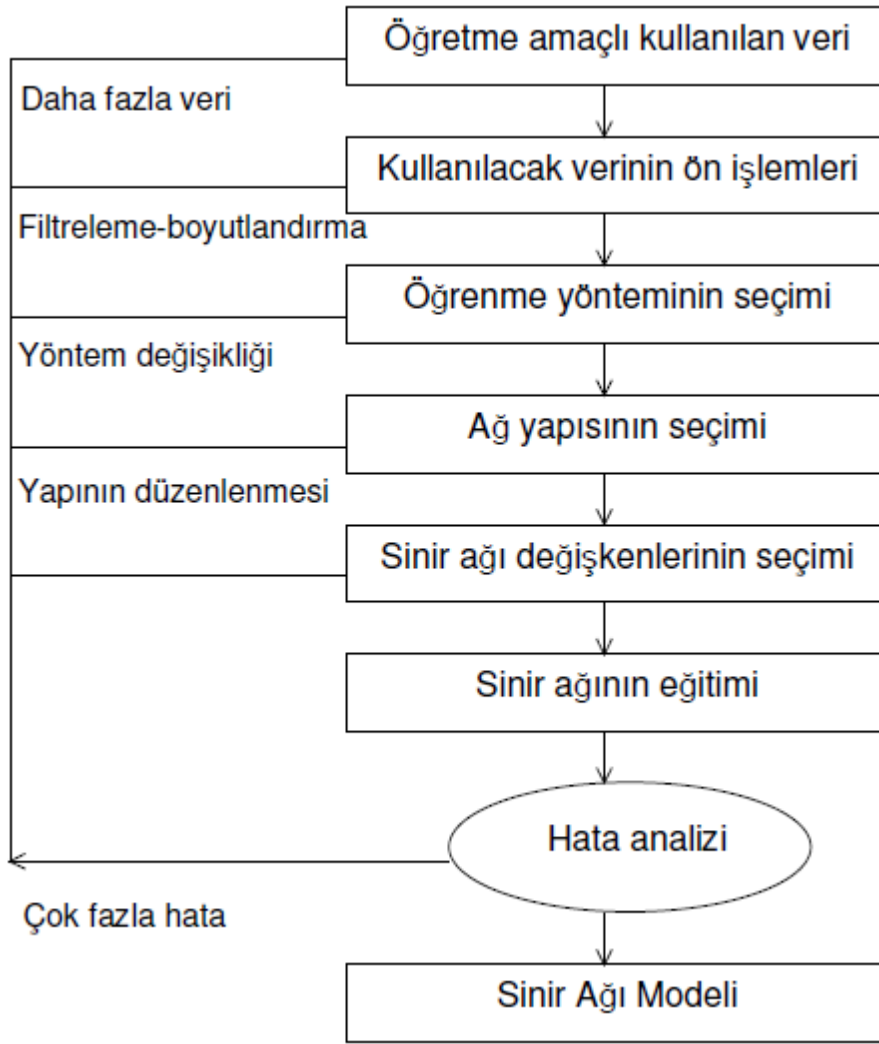
Şekil 3.16. Tipik Gizli ya da Çıktı Tabakasına Ait Nöronun Yapısı (Yılmaz 2009)

girdiler  $j$  nöronuna gelir. Gelen girdiler bir önceki tabakanın ağırlıklarıyla çarpılmış şeklidir. Bu duruma değeri 1 olan nöron eklemesi yapılır. Bias olarak adlandırılan bir ağırlıkla çarpıldıktan sonra bu çarpımla toplama fonksiyonu ile toplanır. Alınan tüm sinyalleri çıkış tabakasına transfer fonksiyonu ile iletir. Sigmoid transfer fonksiyonu hesaplanmış  $S_j$  değerlerini lineerlik olmadan  $[0,1]$  sınırını koruyarak gizli katmana ve devamında çıktı katmanına iletir. yapay sinir ağının çıkış verisi üretmesine neden olur (Yılmaz 2009, Eren 2010, Karakaya 2012).

### **3.15. Tasarım**

Sorunun ne olduğunun tam anlamıyla bilinmesi ve anlaşılması esasının öneminin vurgulandığı safhadır. Bu sorun YSA ile giderilebilmesi de önemlidir. Soruna uygun YSA mimarisi seçilmeli giriş verileri ve çıkış verileri net olarak saptanmalıdır. Bu girdiler nitelik ya da miktar cinsinde olmalıdır. Bu veriler ikili yada sürekli değerlere dönüştürülür. Bazı ön işlemler normalizasyon ölçeklendirme gibi işlemler yapılır. Verilerde 0 yerine 0,001 gibi parametreler girerek veri düzeltmesi yapılır. Giriş ve çıkış parametreleri göz önüne alınarak tekli YSA ya da birçok alt YSA gruplarından oluşan global YSA tercih edilebilir (Yılmaz 2009, Eren 2010, Karakaya 2012).

Şekil 3.16'da görüldüğü gibi ilk olarak veriler toplanır. Modelin kullanım amacı nedir, bu modele neden gereksinim duyulmaktadır, bu model elde edildiğinde kazanımlarımız ne olacaktır bunun için veriler nedir veri tipleri nelerdir gibi birçok soruya yanıt bulunmalıdır. Veriler; eğitim, genelleme yeteneğinin sınanması, eğitim sırasında karşılaşmadığı verilerle karşılaşan sistemin performansı için kullanılır (Yılmaz 2009).



**Şekil 3.17.** Sinir Ağı Modeli (Öztürk 2007)

Veriler modele girilmeden önce bazı işlemlerden geçirilerek amaca uygun hale getirilip modele uygun ağ yapısı kurulmalıdır. Eğitim kriterler sağlanana kadar devam ettirilir. Modelin gayesine uygun öğrenme metodu seçimi yapılmalı daha sonrasında ise maksat uygun ağ yapısı kurulmalıdır. Model istenen hedefe ulaştığında eğitim onaylanmış olur. Tam tersi durumda ise düzenlemeler yapılması için sistemde geri dönülür (Karakaya 2012).

Modelin giriş ve çıkışları temsil özelliği ile belirlenmektedir. Saklı katmanlar ve bu katmanlardaki nod sayıları tasarımı yapan kişilerce belirlenir. Tasarım kriterleri eğitimde kullanılacak örnek sayısı ne kadar olmalı dağılım hangi miktarda olmalı gibi kriterlere karar vermelidir. Ağırlık sayısı sınırlandığında genelleme yeteneğinde artış

olması makinanın ezber yapmasının önüne geçer. Eğitim için kullanılan miktar ağırlık için kullanılan miktardan oran olarak fazla olmalıdır (Dede 2009).

Gizli katmanların miktarı ve işlem eleman miktarı kesin olarak bilinir kılınmalıdır. Ağ hatasının en az seviyede, Öğrenmenin en iyi seviyelere ulaştığı elde edilen seçeneklerin en uygun olduğu katman ve işlem eleman sayıları deneme yanılma yapılarak neticelendirilmelidir. Bu şekilde yapay sinir ağı planlanmış olacaktır (Yılmaz 2009, Eren 2010).

### **3.16.Test Uygulama (Doğrulama)**

Yapay sinir ağı eğitimi gerçekleştirdikten sonra danışılmak için kullanılabilir hale gelmiştir. Eğitimde öğrendiği bilgiler ile daha önce karşısına çıkmayan veriler için çözüm üretip genelleme yapar. Kabul edilen sonuçlara yaklaşan test sonuçları varsa YSA kabul edilmiş olur. Aksi durumda YSA'da değişikliğe gidilir, eğitim ve test tekrarlanır. İstenen yaklaşıma ulaşılan kadar devam edilir. Örnek miktarının eğitim kısmında ki artışı iyi sonuca yaklaşımları artırır (Yılmaz 2009, Eren 2010, Karakaya 2012).

## **4.BULGULAR ve ARAŞTIRMA**

### **4.1. Batı ve Doğu AAT**

Bursa'daki Batı ve Doğu Atıksu Arıtma Tesisleri kentsel nitelikli atıksuların arıtıldığı tesislerdir.

Batı AAT kentin batı havzasında Özlüce de kurulmuş olup yaklaşık 100.000 m<sup>2</sup>'lik bir alandan oluşur. Eşdeğer nüfusu 650.000 kişidir. 2017 yılı için ortalama proje debisi 87.500 m<sup>3</sup>/gündür, 2030 yılı için ise hesaplanan ortalama proje debisi 175.000 m<sup>3</sup>/gün'dür. Arıtılan atıksuların deşarj edildiği yer Susurluk havzasında yer alan, Nilüfer Çayı'na bağlanan Aydoğrulamaı Dere'dir. Tesise gelen atıksular fiziksel arıtmadan geçtikten sonra ana dağıtım odasından anaerobik havuzlara dağıtılmaktadır.

Doğu AAT' i kentin doğu havzasında ki kentsel atıksuların arıtılması amacıyla 250.000 m<sup>2</sup>'lik bir alanda Küçük Balıklı mevkiinde kurulmuştur. Eşdeğer nüfusu yaklaşık 1.550.000 kişidir. Tesisin Proje debisi ortalama olarak 2017 ve 2030 yılları için sırasıyla 240000, 302000 m<sup>3</sup>/gündür. Deşarj noktası normal su alanı olan, Susurluk Havzasında yer alan Deliçay Deresi'dir.

### **4.2. Doğu ve Batı AAT Kullanılan Proses Ve Veriler**

İleri biyolojik arıtma proseslerinin uygulandığı Doğu ve Batı AAT'lerinin her ikisinde de 5 Kademeli Bardenpho Prosesi kullanılmaktadır. Tesislerde ilave kimyasal fosfor giderimi yapılmamaktadır.

Bu tezde, Doğu AAT ve Batı AAT 'den 2016-2018 dönemleri arasında günlük ve düzenli olarak fosfor konsantrasyonları ile birlikte diğer parametreler de ölçülmüştür. Ölçümler ilgili standart yöntemler baz alınarak uygun şekilde yapılmıştır.

Batı ve Doğu AAT'de girişte ve arıtmadan sonra debi (m<sup>3</sup>/gün), hava sıcaklığı (°C), su sıcaklığı (°C), pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ, mg/L), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>, mg/L), askıda katı madde (AKM, mg/L), çözünmüş katı madde (ÇKM, ml/L) toplam azot (TN, mg/L) ve fosfor (TP, mg/L) değerleri düzenli bir biçimde ölçülmektedir. Batı ATT için, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, ÇKM, TN ve toplam fosfor giderim

verimleri sırasıyla %93,98, %92,5, %94,1, %97,72, %84,1 ve %72'dir. Doğu AAT için BOİ5, KOİ, AKM, ÇKM, TN ve fosforun giderim verimleri sırayla; %93,6, %92,6, %94,6, %98,6, %84,9 ve %72,8'dir. Veriler incelendiğinde ve yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında, sistemin başarılı bir biyolojik arıtım yaptığı aynı zamanda başarılı nütrient giderimi sağladığı gözlemlenmektedir. Batı AAT için atıksuda 3 yıllık ortalama toplam fosfor giriş değeri  $12,36 \pm 2,43$  mg/L iken çıkış değeri  $3,26 \pm 0,6$  mg/L olarak bulunmuştur. Doğu AAT'de, atıksuda 3 yıllık ortalama fosfor değeri girişte  $11,6 \pm 1,9$  mg/L iken çıkış değeri  $3,16 \pm 0,4$  mg/L olarak ölçülmüştür.

### **4.3. Yapay Sinir Ağı ile Doğu ve Batı AAT Verilerinin Değerlendirilmesi**

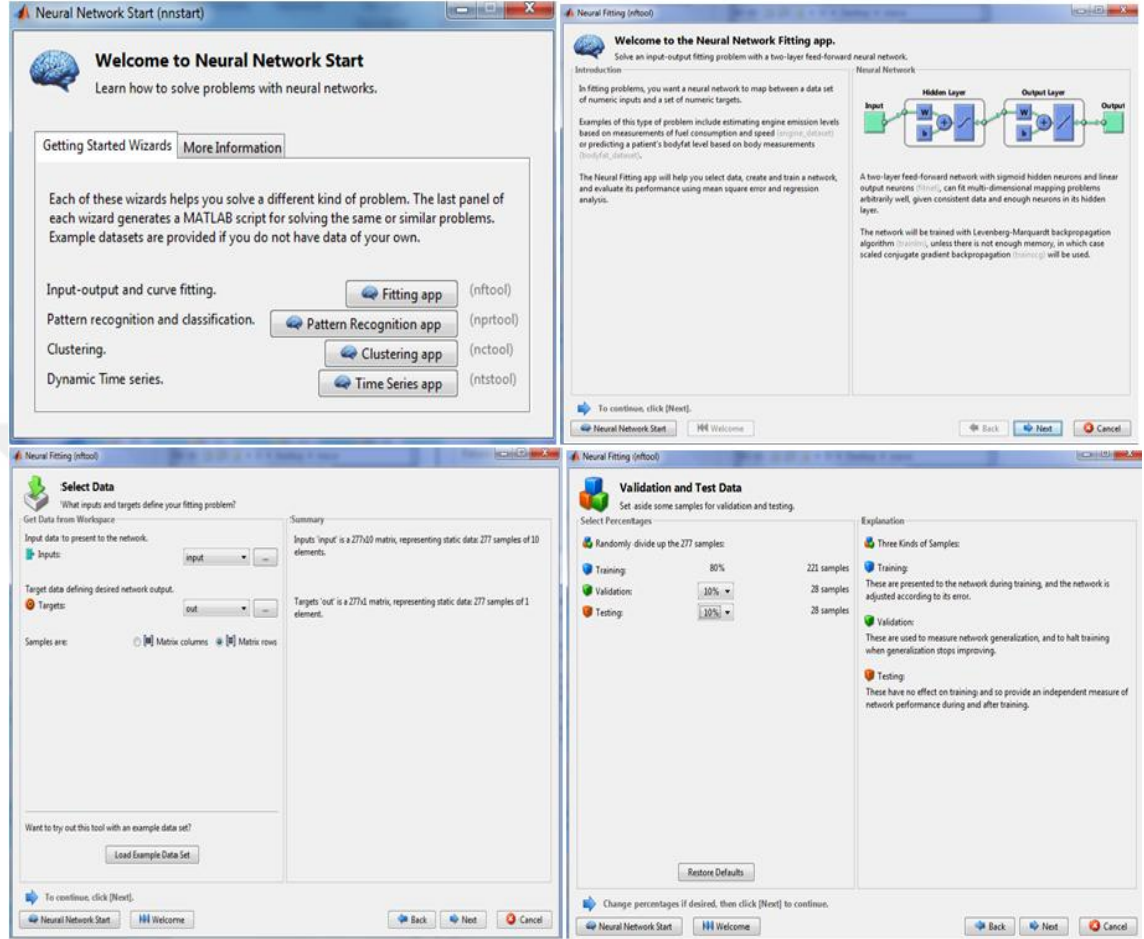
2016-2018 arasındaki dönemde atıksu arıtma tesisine giriş ve arıtmadan sonraki çıkış verileri incelenmiştir, verilerin sayısı konsantrasyon eğilimlerinin tahmini için temsili ve yeterlidir. Proses tipi 5 Aşamalı Bardenpho olan, fosfor geri kazanımı için uygulanabilecek yöntemler yapay sinir ağları ile MATLAB R2018b modeli ve YSA Araç Kutusu (ANN Toolbox) kullanarak YSA modelleri oluşturulmuştur. Sistem tüm YSA'lar gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşan bir sisteme sahiptir.

BUSKİ bünyesinde işletilen, Batı ve Doğu AAT verilerinde düzenlemeler yapılmıştır. Veriler MLP ile oluşturulan ağlara giriş verisi olarak girilmeden önce ağın yapısına uygun şekle uyarlanmıştır. Sonuçları yanlış etkileyeceği için, hafta sonları ve ölçüm yapılmayan günler silinmiştir. Aykırı ve hatalı olduğu tespit edilen parametreler temizlenmiştir, örneğin fosfor çıkış 20,4 şeklinde ki veriler. Verilerde 0 olan yerlere 0,001 gibi parametreler girerek veri düzeltmesi yapılmıştır.

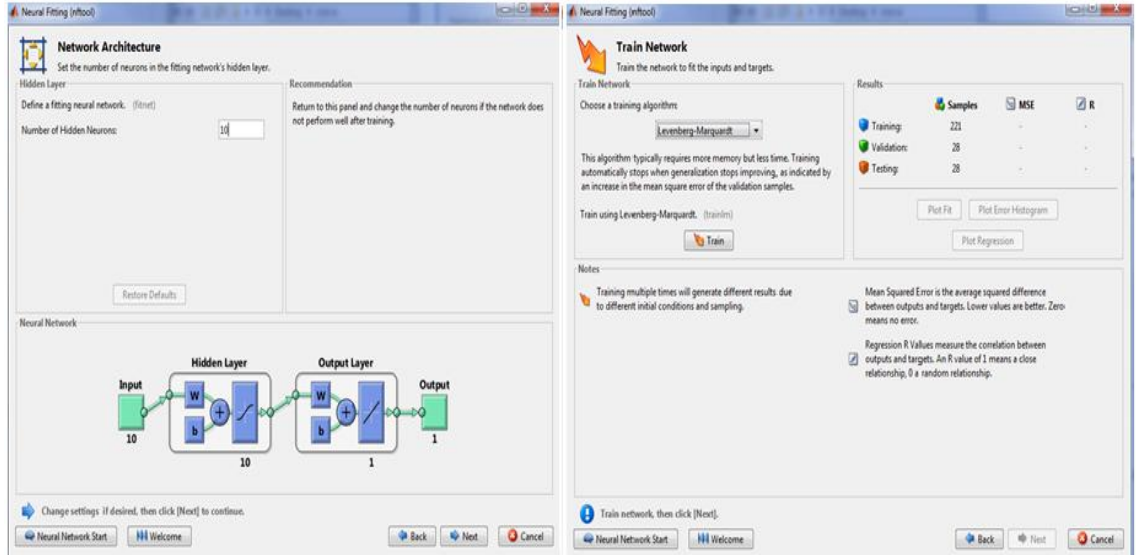
MATLAB programını çalıştırmak için düzenlenen veriler ".txt" formatında sisteme yüklenir daha sonra girdi parametresi ve çıktı parametresinin ne olacağı komutlarla programa yazılarak program çalıştırılır. Parametreler ilk olarak Fitting App seçeneği seçilir. Açılan Neurol Network Fitting App sayfasından sonraki aşamaya geçilir. Bu aşamada matrisleri sütun şeklinde mi yoksa satır şeklinde mi olacağına karar verilerek giriş ve çıkış belirlenerek kaç verimizin giriş parametresi kaç parametreden oluşacağı ve çıkış parametresinin ne olduğu seçilerek işleme devam edilir. Şekil 4.1'de ki gibi eğitim, doğrulama ve test için yüzde kaç oranda veri ayracağımız bu kısımda kesin olarak



bilinir kılınır. Yapay sinir ağı mimarisinin belirli bir duruma getirildiği bu kısımda kaç gizli katman olacağı kesinleştirilerek işleme devam edilir şekil 4.2.'de görülmektedir.



**Şekil 4.1.** Neurol network dataların seçilerek doğrulama ve test oranlarının belirlendiği sayfalar



**Şekil 4.2.** Neurol network gizli katman ile öğrenme algoritmasının seçildiği sayfalar

#### 4.4. YSA ile çıkış fosfor değerinin tahmin edilmesi

Çıkış fosfor değeri tahmin edebilmek için çalışmada kullanılan veriler Bursa Doğu AAT ve Bursa Batı AAT'ne ait 2016-2018 yıllarında günlük ve düzenli olarak konsantrasyonlarının ölçülmesinden elde edilmiştir. Batı AAT ortalama debi giriş parametresi  $56845 \text{ m}^3/\text{gün}$ , hava sıcaklığı ortalama değeri  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , su sıcaklığı ortalama  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , ortalama pH değeri 8, ortalama  $\text{BOI}_5$  değeri  $226 \text{ mg/L}$ ,  $\text{KOİ}$  ortalama değeri  $565 \text{ mg/L}$ ,  $\text{AKM}$  ortalama değeri  $239 \text{ mg/L}$ ,  $\text{ÇKM}$  ortalama değeri  $4 \text{ ml/L}$ , toplam azot giriş değeri ortalama  $57 \text{ mg/L}$ , fosfor giriş değeri ortalama  $11,6 \text{ mg/L}$  ve fosforun arıtmadan sonra ölçülen ortalama çıkış değeri ise  $3 \text{ mg/L}$ 'dir.

Doğu AAT ortalama değerleri; girişteki ortalama debi değeri  $175245 \text{ m}^3/\text{gün}$ , hava sıcaklığı ortalama değeri  $25,54 \text{ }^\circ\text{C}$ , girişte ölçülen ortalama su sıcaklığı  $16,23 \text{ }^\circ\text{C}$ , ortalama girişte ölçülen pH değeri  $7,86$ , ortalama  $\text{BOI}_5$  değeri  $228 \text{ mg/L}$ ,  $\text{KOİ}$  ortalama değeri  $552 \text{ mg/L}$ ,  $\text{AKM}$  ortalama değeri  $226 \text{ mg/L}$ ,  $\text{ÇKM}$  ortalama değeri  $3 \text{ ml/L}$ , toplam azot giriş değeri ortalama  $57 \text{ mg/L}$ , fosfor giriş değeri ortalama  $11,6 \text{ mg/L}$  ve fosforun arıtmadan sonra ölçülen ortalama çıkış değeri ise  $3 \text{ mg/L}$ 'dir.

Doğu ve Batı AAT'ler için 250 veri her bir parametre için kullanılmış olup MATLAB programı sayesinde farklı YSA modelleri elde edilmiştir. Gerekli giriş çıkış vektörleri

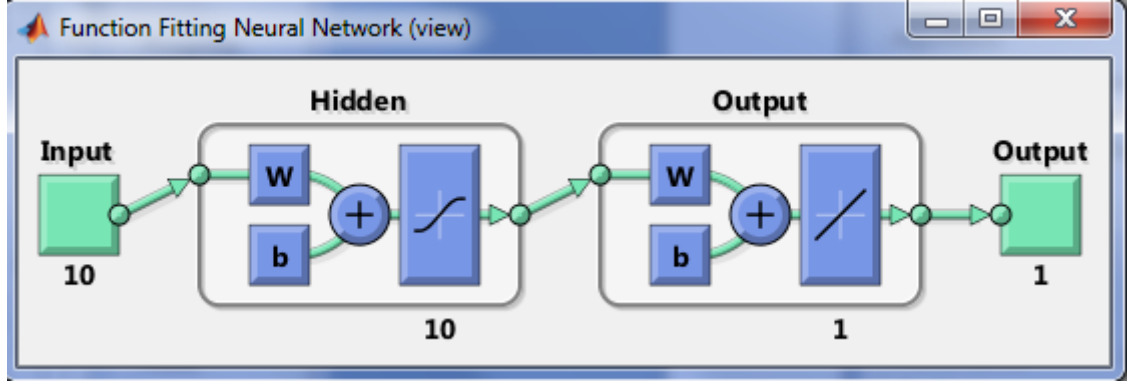
oluşturularak, öğrenme ve test verileri için en iyi değeri veren yapay sinir ağı seçilmiştir.

Doğu ve Batı AAT' inden elde edilen veriler debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı pH, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, ÇKM, TN ve TP giriş verisi olarak girilmiş ve çıkış olarakta fosforun arıtmadan sonra ölçülen değeri girilerek fosfor çıkış değeri tahmin edilmek istenmiştir. Farklı birçok kombinasyon denenmiş çizelgede en iyi sonuçlara ulaşılan kombinasyonlar gösterilmiştir. Çizelge 4.1'de ağ için uygulanan girdi ve çıktılar gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Fosfor çıkış tahmini için uygulamanın girdi ve çıktıları

Girdiler	Çıktılar
Debi, Hava Sıc., Su Sıc., pH, BOİ <sub>5</sub> , KOİ, AKM, ÇKM, TN ve TP	Fosfor Çıkış (mg/L)
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	Fosfor Çıkış (mg/L)
Hava Sıcaklığı °C	Fosfor Çıkış (mg/L)
Su Sıcaklığı °C	Fosfor Çıkış (mg/L)
pH	Fosfor Çıkış (mg/L)
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	Fosfor Çıkış (mg/L)
KOİ (mg/L)	Fosfor Çıkış (mg/L)
AKM (mg/L)	Fosfor Çıkış (mg/L)
ÇKM (ml/L)	Fosfor Çıkış (mg/L)
TN (mg/L)	Fosfor Çıkış (mg/L)
TP (mg/L)	Fosfor Çıkış (mg/L)

10 tane girdiden oluşan, on gizli katmanın kullanıldığı network mimarisi 1 adet çıktı üzerine kurulmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.3 Doğu AAT fosfor tahmini için kurulmuş olan mimari yapı görülmektedir.



**Şekil 4.3.** Doğu ve Batı AAT Fosfor Tahmini için Network Yapısı

Çalışmada eğitim algoritması olarak Levenberg- Marquardt kullanılmıştır. Levenberg Marquardt algoritması dik iniş ve Newton algoritmalarından türetilmiştir hızlı oluşundan dolayı tercih edilir (Çavuşoğlu ve ark. 2016).

Farklı eğitim, farklı doğrulama ve farklı test değerleri uygulanarak en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme, doğrulama ve test dataları için  $R^2$  değerleri karşılaştırılmıştır. Her uygulama için Çizelge 4.2'de gösterildiği şekilde eğitim, doğrulama ve test değerleri programa girilerek en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

**Çizelge 4.2.** YSA'da Uygulanan Eğitim, Doğrulama ve Test Değerleri

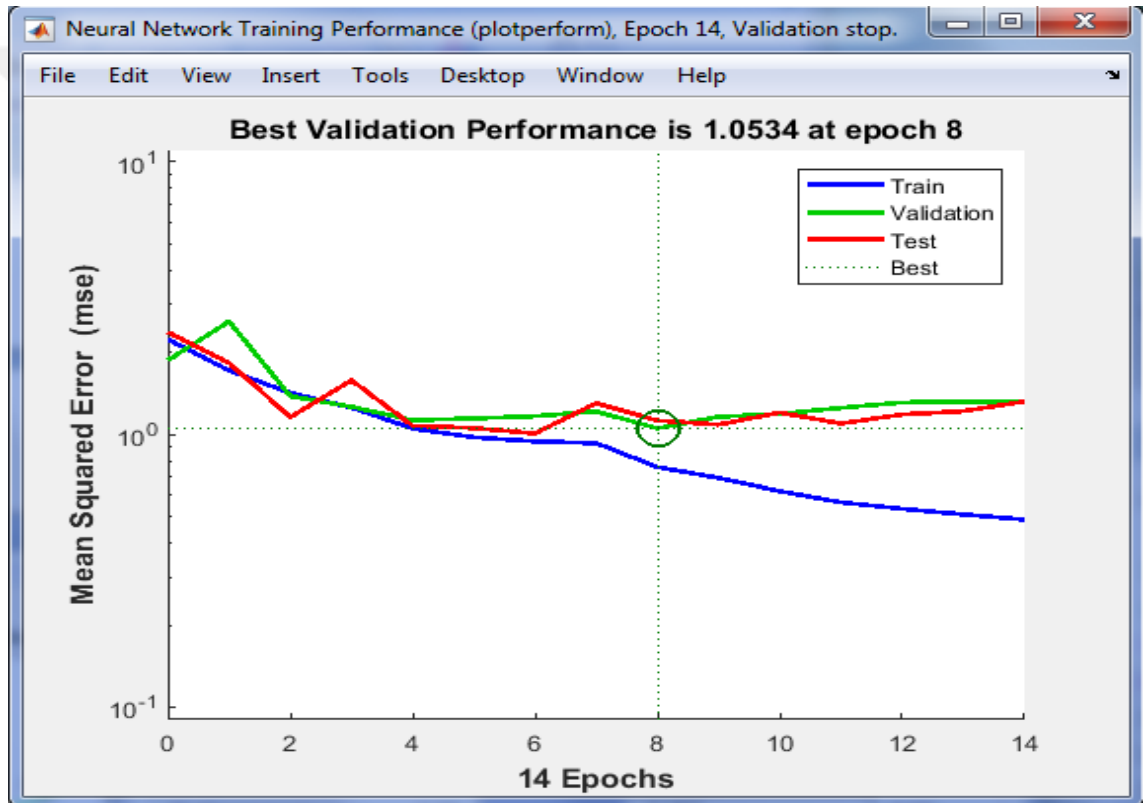
Eğitim	Doğrulama	Test
90	5	5
85	5	10
80	5	15
80	10	10
80	15	5
85	10	5
75	5	20
75	10	15
75	15	10
75	20	5
70	5	25
70	10	20
70	15	15
70	20	10
70	25	5
65	5	30
65	10	25
65	15	20
65	20	15
65	25	10
65	30	5

Girdi parametrelerinin debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, pH, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, çözülmüş katı madde, toplam azot ve toplam fosfordan oluşmaktadır. Çıktı ise fosfor parametresinin çıkış değeridir. Bu girdi ve çıktı değerleri için sisteme farklı eğitim, doğrulama ve test değerleri girilmiş olup en iyi öğrenme şeklinin %80 eğitim, %10 doğrulama ve %10 test olduğu durumda olduğu bulunmuştur. Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi R-eğitim, R-doğrulama, R-test ve R-all sırasıyla 0,8, 0,68, 0,74 ve 0,79' dur.

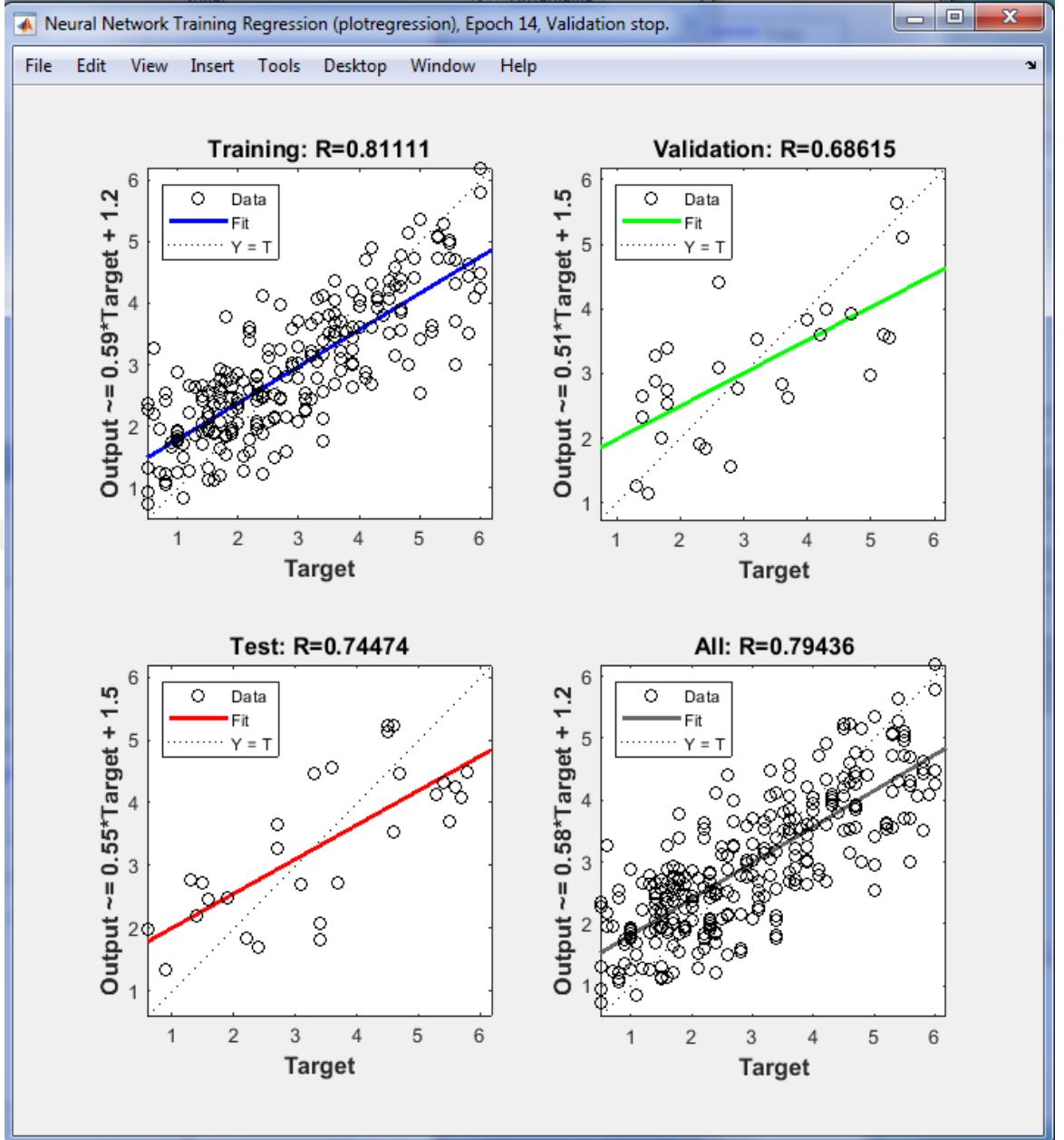
**Çizelge 4.3.** Doğu AAT Tüm Veriler Girdi, Fosfor Çıktı İçin Yapılan Testler

Girilen Değerler Eğitim%,Doğrulama%,Test%	Eğitim	Doğrulama	Test	All
Eğitim%90,Doğrulama%5,Test%5	R= -0,11	R=0,3	R= -0,1	R= -0,08
Eğitim%5, Doğrulama%10, Test%5	R=0,7	R=0,3	R=0,3	R=0,6
Eğitim%85, Doğrulama%5,Test%10	R=0,8	R=0,8	R=0,5	R=0,76
Eğitim%80,Doğrulama%5,Test%15	R=0,7	R=0,7	R=0,4	R=0,71
Eğitim%80,Doğrulama%10,Test%10	R=0,8	R=0,68	R=0,74	R=0,79
Eğitim%80,Doğrulama%15,Test%5	R=0,58	R=0,52	R=0,67	R=0,58
Eğitim%75,Doğrulama%5,Test%20	R=0,26	R=0,73	R=0,27	R=0,29
Eğitim%75,Doğrulama%10,Test%15	R=0,6	R=0,6	R=0,20	R=0,6
Eğitim%75,Doğrulama%15,Test%10	R=0,78	R=0,54	R=0,63	R=0,72
Eğitim%75,Doğrulama%20,Test%5	R=0,7	R=0,4	R=0,10	R=0,6
Eğitim%70,Doğrulama%5,Test%25	R=0,4	R=0,58	R=0,54	R=0,46
Eğitim%70,Doğrulama%10,Test%20	R=0,74	R=0,75	R=0,6	R=0,7
Eğitim%70,Doğrulama%15,Test%15	R= 0,79	R=0,46	R=0,37	R=0,65
Eğitim%70,Doğrulama%20,Test%10	R=0,7	R=0,5	R=0,4	R=0,64
Eğitim%70,Doğrulama%25,Test%5	R=0,7	R=0,5	R=0,4	R=0,6
Eğitim%65,Doğrulama%5,Test%30	R=0,76	R=0,71	R=0,55	R=0,68
Eğitim%65,Doğrulama%10,Test%25	R=0,78	R=0,59	R=0,41	R=0,64
Eğitim%65,Doğrulama%15,Test%20	R=0,83	R=0,56	R=0,59	R=0,73
Eğitim%65,Doğrulama%20,Test%15	R=0,67	R=0,4	R=0,4	R=0,6
Eğitim%65,Doğrulama%25,Test%10	R=0,66	R=0,55	R=0,57	R=0,60
Eğitim%65,Doğrulama%30,Test%5	R=0,6	R=0,2	R=0,7	R=0,5
Eğitim%60,Doğrulama%30,Test%10	R=0,54	R=0,52	R=0,45	R=0,52
Eğitim%60,Doğrulama%20Test%20	R=0,8	R=0,35	R=0,37	R=0,66
Eğitim%60,Doğrulama%10,Test%30	R=0,44	R=0,53	R=0,43	R=0,45
Eğitim%50,Doğrulama%25,Test%25	R=0,7	R=0,5	R=0,47	R=0,56
Eğitim%50,Doğrulama%15,Test%35	R=0,9	R=0,6	R=0,4	R=0,6
Eğitim%50,Doğrulama%35,Test%15	R=0,6	R=0,5	R=0,4	R=0,5
Eğitim%50,Doğrulama%40,Test%10	R=0,5	R=0,2	R=0,3	R=0,4

Neural networkte girilen %80 eğitim, %10 doğrulama ve %10 test için elde edilen hata grafiği verilmiştir test ve doğrulama oranları yaklaşık olduğundan bir kriter olarak sistemin başarılı olduğunu gösterir (Şekil 4.4). Doğu AAT 10 girdi ve 1 çıktıdan oluşan yapı için eğitim, doğrulama ve test oranlarına göre eğitim, doğrulama, test ve all grafiklerinden elde edilen R değerlerini göstermektedir (Şekil 4.5). Eğitim için MSE değeri 0,7594, doğrulama için MSE (ortalama karesel hata) değeri 1,00534, test için MSE değeri 1,1246 bulunmuştur. Eğitim için MAPE değeri 0,3699, doğrulama için MAPE 0,3444, test için MAPE değeri 0,4022'dir. En iyi sonucu elde edildiği YSA modelidir.



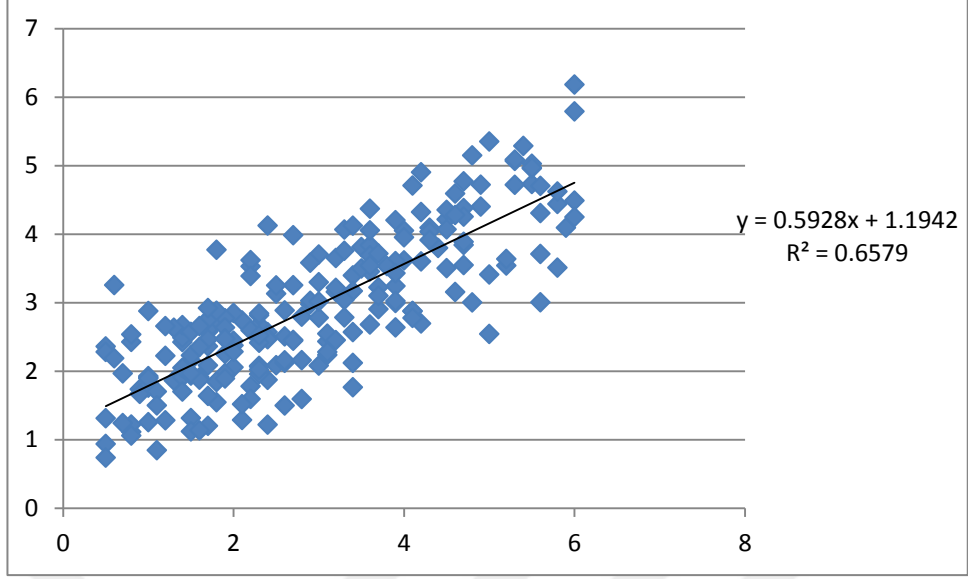
Şekil 4.4. Doğu AAT için Hata Grafiği



**Şekil 4.5.** Doğu AAT için %80 eğitim %10 doğrulama %10 test değerleri ile oluşturulan model

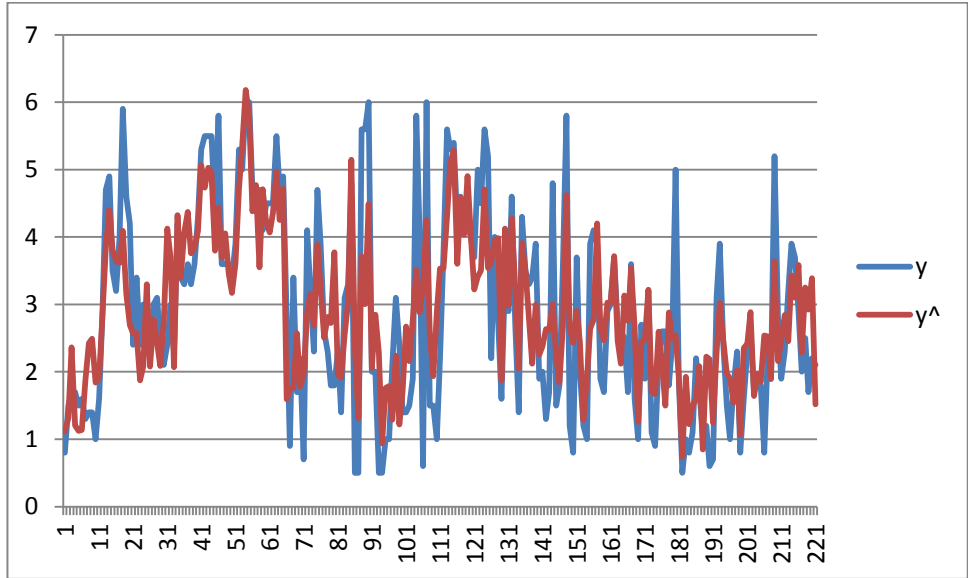
Fosfor parametresi için gerçek değerler ile YSA ile hesaplanmış olan değerler arasında ki ilişkiyi Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Regresyon değeri %0,6579 olarak hesap edilmiştir.





**Şekil 4.6.** Doğu AAT için Fosfor tahminindeki Performansın Belirlenmesi Dağılım grafiği (Gözlenen Fosfor Değeri) ( $y$ =ölçülen , $y^{\wedge}$ =tahmin )

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi gerçek değerlerle sistemin eğitilip öğrenip tahmin ettiği değerler arasında çok yüksek bir fark bulunmamaktadır. Bu durum Doğu AAT için YSA'nın başarılı olduğunu gösterir.



**Şekil 4.7.** Çıkış fosfor için ölçülen değerlerin YSA tahmin değerleri ile kıyaslanması ( $y$ =ölçülen , $y^{\wedge}$ =tahmin )

Neurol ağ modelinde en iyi sonucu elde etmek için; en iyi doğrulama, test ve eğitim değerleri belirlendikten sonra bu değerler sabit tutulmuştur. Farklı iterasyon değerlerinde testler uygulanmış olup en iyi iterasyon değeri bulunması hedeflenip, en iyi ağ modeli elde edilmek istenmiştir (Çizelge 4.4).

**Çizelge 4.4.** Değişik İterasyon değerlerine göre; eğitim, doğrulama ve test değerleri

İterasyon Değerleri	Eğitim %80	Doğrulama %10	Test %10
2	0,3	0,12	-0,01
8	0,59	0,6	0,4
9	0,6	0,7	0,6
10	0,7	0,6	0,5
11	0,68	0,6	0,5
12	0,4	0,4	0,4
13	0,8	0,3	0,4
14	0,8	0,7	0,7
15	0,7	0,5	0,5
17	0,69	0,66	0,67
18	0,7	0,5	0,7
17	0,69	0,66	0,67
18	0,7	0,5	0,7

İterasyon değerleri değiştiği takdirde modelin değişip değişmeyeceği %80 eğitim, %10 doğrulama, %10 test değerleri sabit tutularak ağ test edilmiştir ve yukarıda görülen Çizelge 4.4'te sonuçlar elde edilmiştir. Epoch değeri 14 iterasyon değerindeyken en iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.

Doğu AAT için bir giriş bir çıkış olmak üzere değerler tek tek girilerek en çok fosfor çıktısını etkileyen fosfor değeri bulunmak istenmiştir. Yukarıda Çizelge 4.3'te verilen YSA'da uygulanan eğitim, doğrulama ve test değerleri tek tek MATLAB'a girilerek farklı epoch değerlerinde en iyi sonuç alınana kadar program çalıştırılmıştır. Doğu

Atıksu Arıtma Tesisin de fosfor çıktısını en çok etkileyen parametrelerin fosfor giriş ve hava sıcaklığı olduğu sonucuna varılmıştır. (Çizelge 4.5).

**Çizelge 4.5.** Doğu AAT YSA'da girdi ve çıktı değerleri için regresyon analizi

Girdi-Çıktı	Epoch (iterasyon)	Eğitim %	Doğrulama%	Test%	R <sup>2</sup>
Debi - Fosfor	17	70	20	10	0,1502
Hava Sıcaklığı -Fosfor	18	85	5	10	0,278
Su Sıcaklığı -Fosfor	15	80	10	10	0,229
PH - Fosfor	9	70	15	15	0,119
BOI <sub>5</sub> - Fosfor	22	80	10	10	0,105
KOI - Fosfor	10	65	20	10	0,142
AKM-Fosfor	14	70	10	20	0,117
ÇKM- Fosfor	21	80	10	10	0,1569
Azot - Fosfor	11	80	10	10	0,144
Fosfor - Fosfor	11	75	10	15	0,24

**Çizelge 4.6.** Doğu AAT %80 eğitim, %10 doğrulama %10 test değerleri için R<sup>2</sup> değerleri

Girdi-Çıktı	Epoch(iterasyon)	Eğitim %	Doğrulama %	Test %	R <sup>2</sup>
Debi - Fosfor	17	80	10	10	0,19
Hava Sıc.- Fosfor	10	80	10	10	0,211
Su Sıcaklığı -Fosfor	15	80	10	10	0,155
PH - Fosfor	9	80	10	10	0,1225
BOI <sub>5</sub> - Fosfor	9	80	10	10	0,144
KOI - Fosfor	9	80	10	10	0,122
AKM-Fosfor	9	80	10	10	0,102
ÇKM- Fosfor	10	80	10	10	0,123
Azot - Fosfor	18	80	10	10	0,184
Fosfor - Fosfor	17	80	10	10	0,292

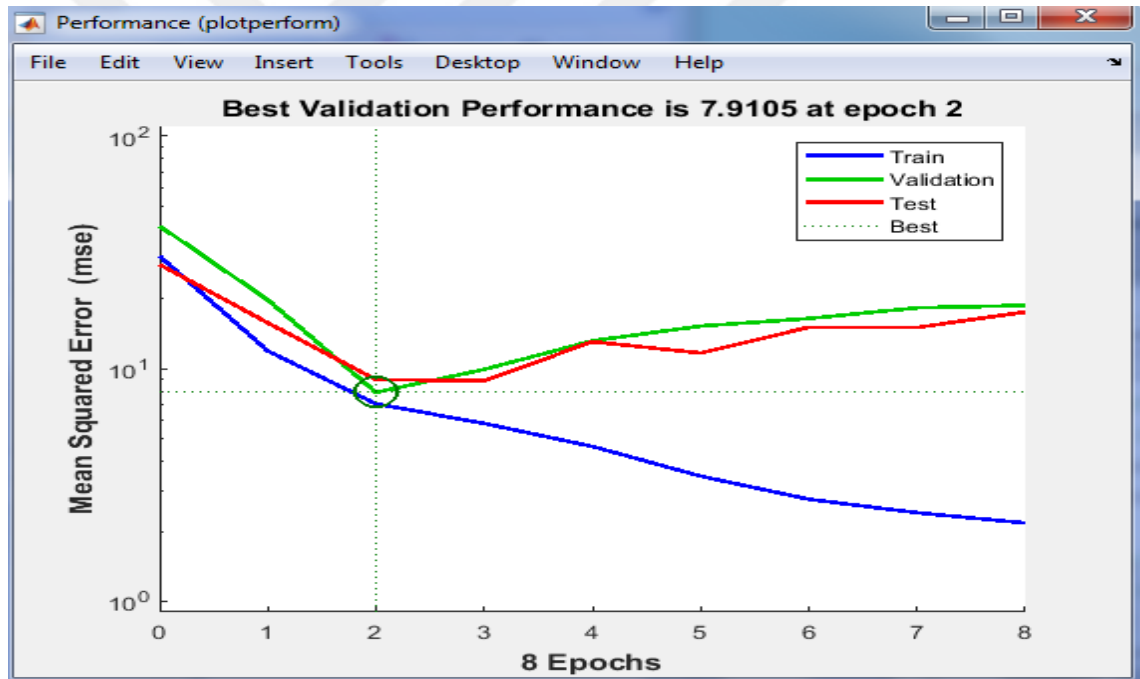
Batı AAT için 10 girdiden oluşan 10 gizli katman içeren ağ yapısında, girdi parametreleri debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, pH, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, çözünmüş katı madde, toplam azot ve toplam fosfordan oluşmaktadır. Çıktı ise fosfor çıkış parametresidir. Bu girdi ve çıktı değerleri için sisteme farklı eğitim, doğrulama ve test değerleri girilmiş olup en başarılı modelin çalışma şekli araştırılmıştır. Çizelge 4.7'ye bakıldığında en iyi sonuçların %85 eğitim, %10 doğrulama ve %5 test değerlerinde elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.8'de hata grafiği verilmiştir. Batı AAT'nin test ve doğrulama oranlarıyla Doğu AAT test ve doğrulama oranları kıyaslandığında Doğu AAT'de daha başarılı bir model oluşturulduğu görülmektedir. Bu değerler ile model oluşturulmuştur (Şekil 4.9.).

**Çizelge 4.7.** Batı AAT için, 10 girdiden ve 1 çıktıdan oluşan mimarinin eğitim, doğrulama ve test oranlarına göre eğitim, doğrulama, test ve all grafiklerinden elde edilen R değerleri.

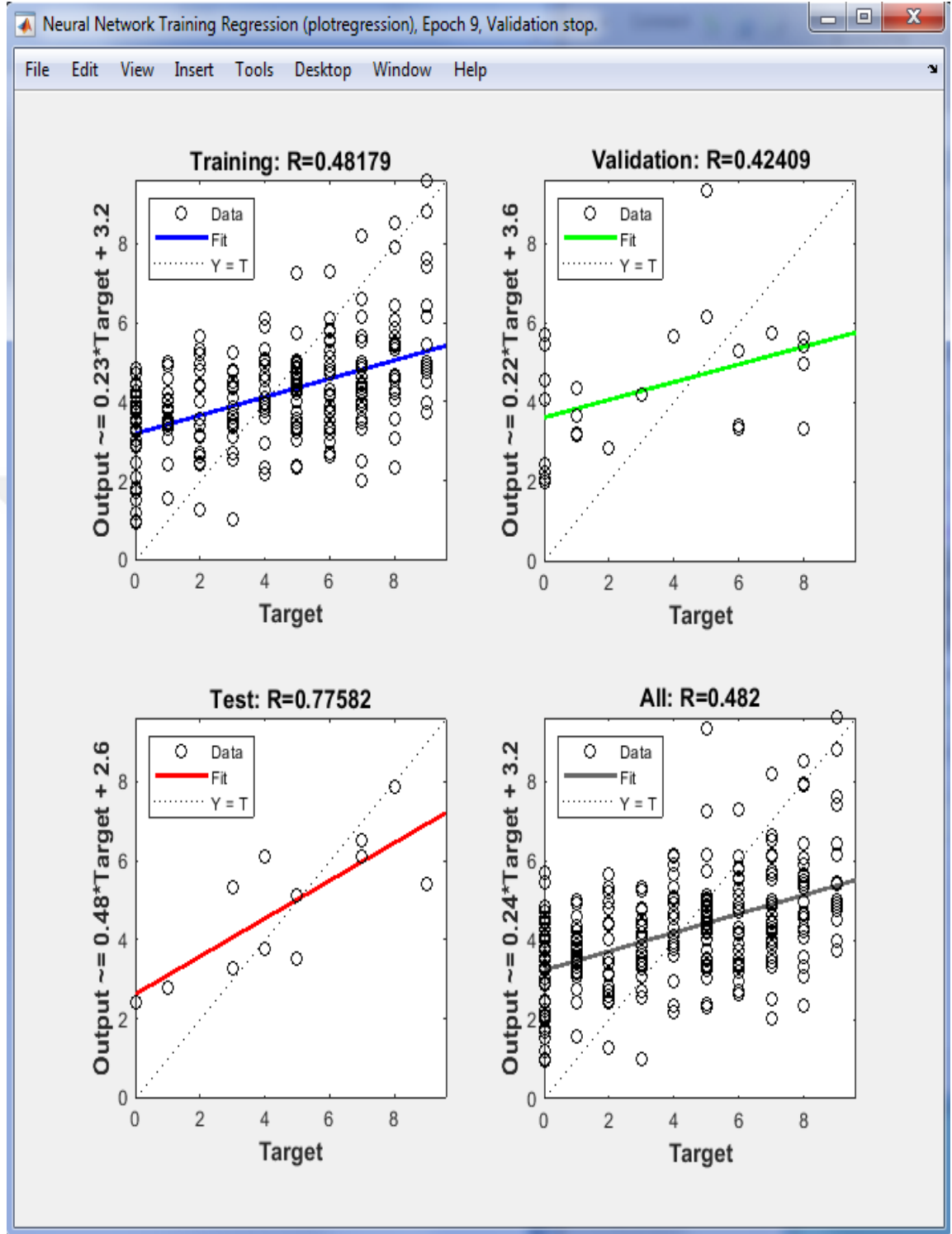
Girilen Değerler	Eğitim	Doğrulama	Test	All
Eğitim%, Doğrulama%, Test%				
Eğitim%90, Doğrulama%5, Test%5	R=0,18	R=0,58	R=0,182	R=0,2
Eğitim%85, Doğrulama%10, Test%5	R=0,6	R=0,5	R=0,2	R=0,6
Eğitim%85, Doğrulama%15, Test%10	R=0,4	R=0,3	R= -0,5	R=0,3
Eğitim%80, Doğrulama%5, Test%15	R=0,3	R=0,3	R=0,1	R=0,5
Eğitim%80, Doğrulama%10, Test%10	R=0,5	R=0,7	R=0,7	R=0,79
Eğitim%80, Doğrulama%15, Test%5	R=0,5	R=0,4	R= -0,2	R=0,5
Eğitim%75, Doğrulama%5, Test%20	R=0,5	R=0,2	R=0,2	R=0,4
Eğitim%75, Doğrulama%10, Test%15	R=0,6	R=0,3	R= -0,05	R=0,5
Eğitim%75, Doğrulama%15, Test%10	R=0,6	R=0,3	R= -0,05	R=0,5
Eğitim%75, Doğrulama%20, Test%5	R=0,6	R=0,3	R=0,4	R=0,6
Eğitim%70, Doğrulama%5, Test%25	R=0,6	R=0,53	R=0,2	R=0,5
Eğitim%70, Doğrulama%10, Test%20	R=0,4	R=0,2	R=0,2	R=0,4
Eğitim%70, Doğrulama%15, Test%15	R= 0,2	R= 0,4	R= -0,14	R=0,1
Eğitim%71, Doğrulama%20, Test%20	R=0,3	R=0,03	R=0,2	R=0,2
Eğitim%70, Doğrulama%25, Test%5	R=0,6	R=0,1	R=0,3	R=0,4
Eğitim%65, Doğrulama%5, Test%30	R=0,3	R=0,2	R=0,3	R=0,3
Eğitim%65, Doğrulama%10, Test%25	R=0,3	R=0,3	R=0,3	R=0,3
Eğitim%65, Doğrulama%15, Test%20	R=0,3	R=0,1	R= -0,08	R=0,2

**Çizelge 4.7.** Batı AAT için, 10 girdiden ve 1 çıktıdan oluşan mimarının eğitim, doğrulama ve test oranlarına göre eğitim, doğrulama, test ve all grafiklerinden elde edilen R değerleri (Devam)

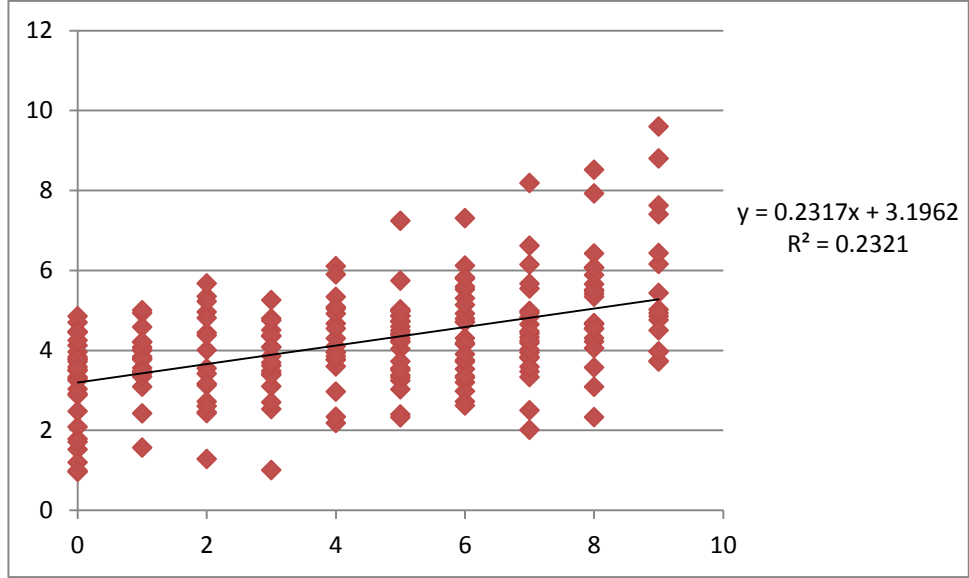
Eğitim%65,Doğrulama%20, Test%15	R=0,8	R=0,1	R=0,3	R=0,5
Eğitim%65,Doğrulama%25, Test%10	R=0,7	R=0,08	R= -0,06	R=0,5
Eğitim%65, Doğrulama%30, Test%5	R=0,6	R=0,3	R=0,1	R=0,5
Eğitim%60,Doğrulama%30, Test%10	R=0,3	R=0,3	R= -0,1	R= 0,3
Eğitim%60,Doğrulama%20, Test%20	R=0,07	R=0,1	R= -0,05	R=0,06
Eğitim%60,Doğrulama%10, Test%30	R=0,8	R=0,2	R=0,1	R=0,5
Eğitim%50,Doğrulama%25, Test%25	R=0,5	R=0,2	R=0,1	R= -0,3



**Şekil 4.8.** Batı AAT için Hata Grafiği

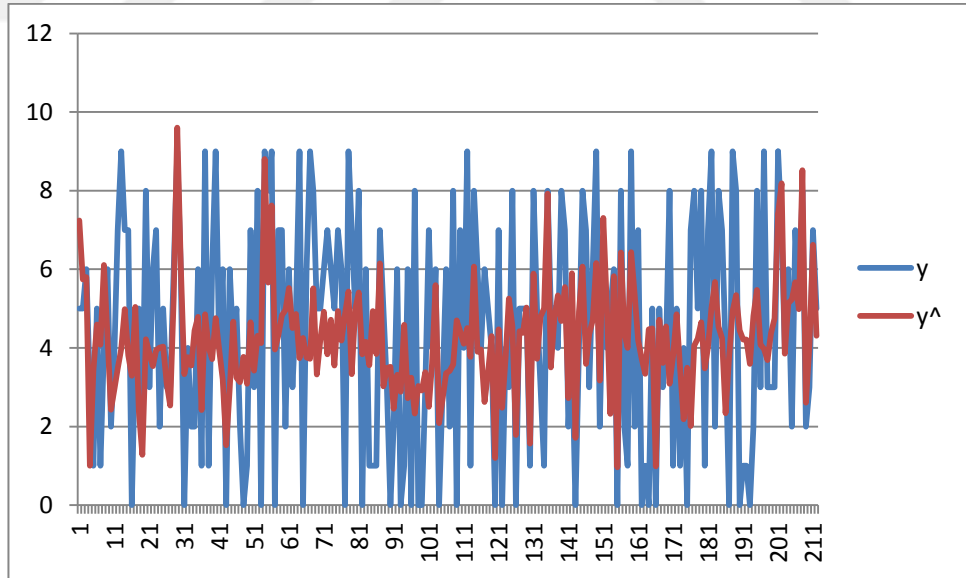


**Şekil 4.9.** Neürol networkte girilen %85 eğitim, %10 doğrulama ve %5 test değerleri için elde edilen grafikler



**Şekil 4.10.** Eğitim kümesi için dağılım grafiği

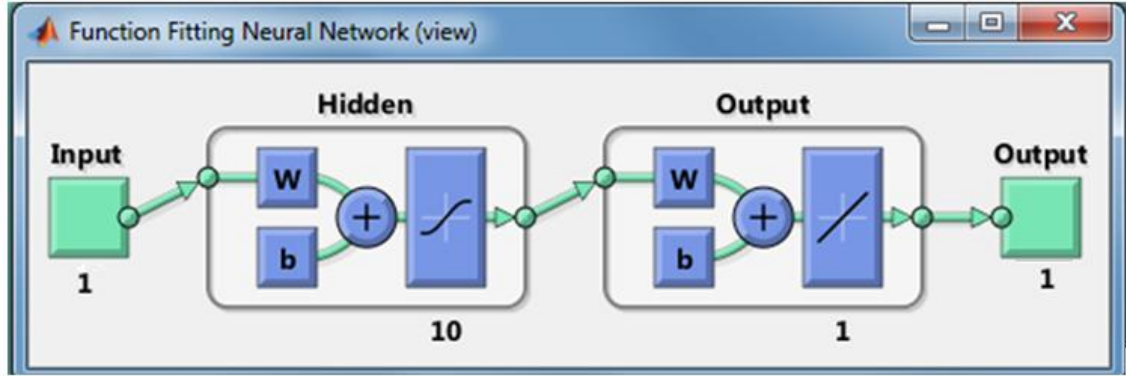
Fosfor parametresi için debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, pH, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, ÇKM, azot ve fosfor gerçek değerleri YSA ile hesaplanmış olan değerler arasında ki ilişkiyi göstermektedir. Regrasyon değeri %0,2321 olarak hesap edilmiştir (Şekil 4.10.).



**Şekil 4.11.** Çıkış fosfor için ölçülen değerlerin YSA tahmin değerleri ile kıyaslanması (y=ölçülen ,y^=tahmin )

Modelin tahmin ettiği değerlerle ölçülen değerler kıyaslandığı Şekil 4.11'de ölçülen değerlerde çok fazla uç verilerin olduğu görülmektedir.

Şekil 4.12'de Neural Network için oluşturulan mimaride 1 giriş ve 1 çıkış bulunmakta olup 10 gizli katman içermektedir.



Şekil 4.12. 10 gizli katmandan oluşan 1 girdi 1 çıktı için neural network yapısı

Çizelge 4.8. Batı AAT verileri ile farklı durumlar için YSA'da 1 girdi ve 1 çıktı kullanılarak elde edilen regresyon analizi

Girdi-Çıktı	Epoch (iterasyon)	Eğitim %	Doğrulama %	Test%	R <sup>2</sup>
Debi - Fosfor	60	85	10	5	0,2875
Hava sıcaklığı - Fosfor	10	75	10	15	0,1806
Su Sıcaklığı - Fosfor	9	80	10	10	0,12
PH - Fosfor	13	80	10	10	0,19
BOI <sub>5</sub> - Fosfor	20	65	20	15	0,159
KOI - Fosfor	48	75	10	15	0,28
AKM-Fosfor	10	75	10	15	0,179
ÇKM- Fosfor	25	75	10	15	0,165
Azot - Fosfor	16	75	10	15	0,20
Fosfor - Fosfor	10	75	10	10	0,196



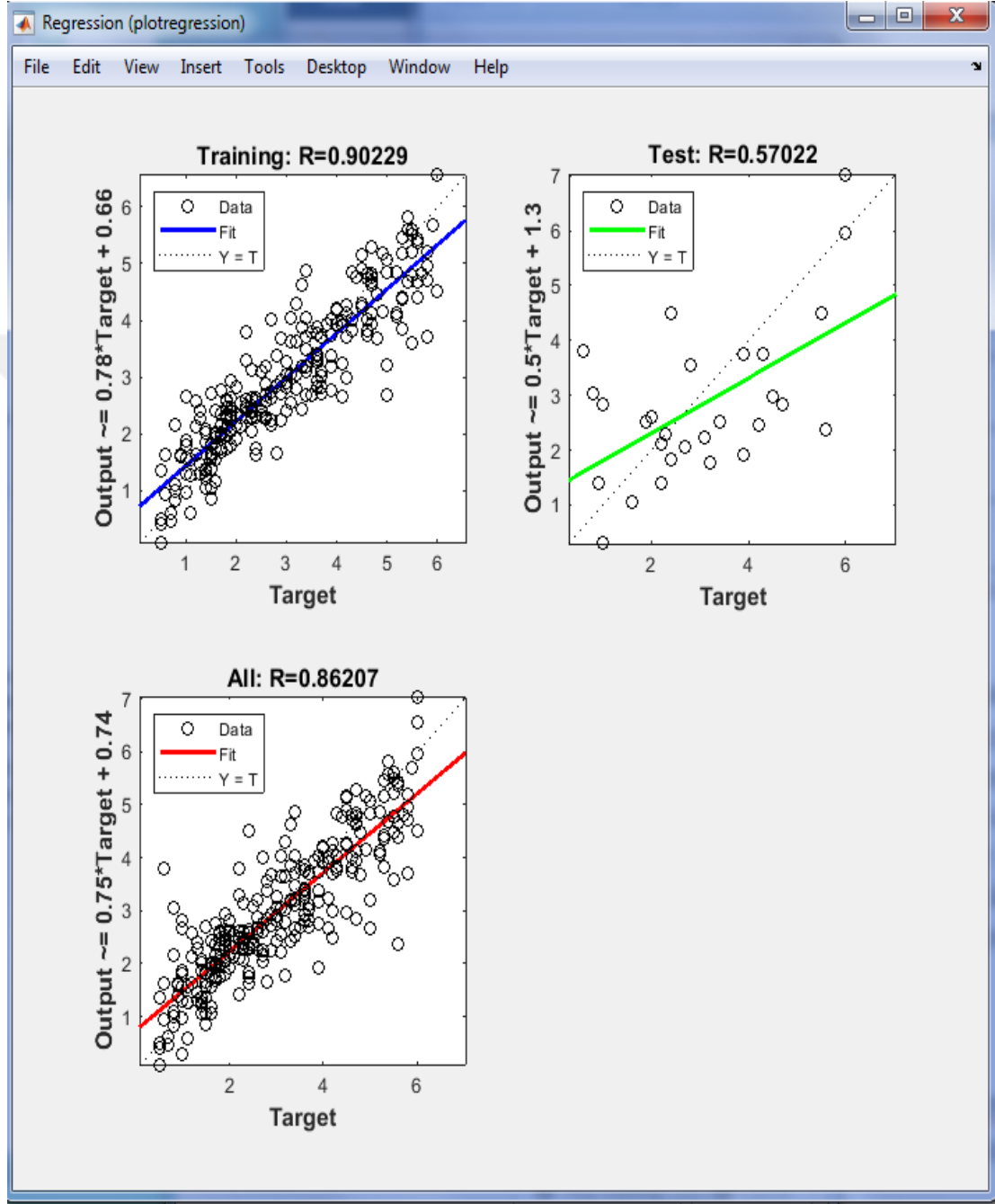
**Çizelge 4.9.** Doğu AAT %80 eğitim, %10 doğrulama %10 test değerleri için R<sup>2</sup> değerleri

Girdi-Çıktı	Epoch (iterasyon)	Eğitim %	Doğrulama %	Test %	R <sup>2</sup>
Debi - Fosfor	10	10	10	5	0,144
Hava sıcaklığı - Fosfor	14	85	10	5	0,25
Su Sıcaklığı -Fosfor	12	85	10	5	0,16
PH - Fosfor	11	85	10	5	0,15
BOI <sub>5</sub> - Fosfor	10	85	10	5	0,14
KOI - Fosfor	10	85	10	5	0,18
AKM-Fosfor	17	85	10	5	0,17
ÇKM- Fosfor	15	85	10	5	0,13
Azot - Fosfor	9	85	10	5	0,14
Fosfor - Fosfor	10	85	10	5	0,22

Doğu AAT'de eğitim, doğrulama ve test sırasıyla %80, %10 ve %10 da sabit tutulurken aynı şekilde sırasıyla %85, %10 ve %5 de Batı AAT için sabit tutulmuştur. Bir girdi seti ve bir çıktı setinden oluşan yapı 10 gizli katmandan oluşmuştur. Doğu AAT için 221 örnek eğitim için, 28 örnek doğrulama için ve 28 örnekte test için ayrılarak eğitilmiştir. Batı atıksu arıtma tesisi için 212 tane eğitimi 25 tane doğrulama ve 12 tane test datası ile eğitilmiştir. Doğu ve Batı AAT için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Doğu atıksu arıtma tesisi ile Batı atıksu arıtma tesisinde de fosfor çıktısını en çok etkileyen faktörün fosfor giriş ve hava sıcaklığı giriş parametresi olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda da fosfor çıktısını, sıcaklık ve fosfor girdisinin etkilediği ile ilgili çalışmalar mevcuttur ve bizim çalışmamız da bunu destekler niteliktedir.

Doğu AAT için Bayesian Regularization öğrenme modeli kullanılarak, verilerin 221'i eğitim için, 28'i doğrulama için ve 28'i de test için ayrılarak 10 gizli katmanda 512 iterasyon ile elde edilen sonuçlar Şekil 4.13'te görülmektedir. Sonuçlardan aynı veriler ile aynı doğrulama, eğitim ve test oranlarında çalıştırılan programda Levenberg öğrenme modeli kullanıldığında şekil 4.4'te ki sonuçlar elde edilmiştir. Bayesian Regularization öğrenme modeli ile elde edilen sonuçlar daha iyi görünmesine rağmen

bu öğrenme modelinde doğrulama yok sayılarak program verileri ezberleyerek bir model sunmuştur. Bu yüzden çalışmamızda daha sağlıklı sonuçlar elde ettiğimiz Levenberg algoritması tercih edilmiştir.



**Şekil 4.13.** Doğu AAT fosfor çıktısı için Bayesian Regularization öğrenme modeli ile %80 eğitim, %10 doğrulama, %10 test ile oluşturulan model

## 5. SONUÇ

Fosfor bütün canlı yaşamı için hayati öneme sahip DNA'nın RNA'nın ve ATP'nin yapısında bulunan bir nütrienttir. Canlıların ihtiyaç duyduğu laboratuarda üretilemeyen, küresel açıdan tükenmekte olan fosforun geri kazanımı yeniden kullanımı büyük önem arz eder. Kentsel atıksular yüksek oranda nütrient ve fosfor ihtiva ederler. Fosforun en önemli kaynakları; insan atıkları, kentsel atıksular ile tarımsal alan deşarjlarıdır. Arıtıma uğramadan suya deşarj edilen fosfor, su kütlelerinin dengesini bozarak büyük zararlara ve ötrofikasyona neden olur. Ötrofikasyon bozulmuş yüzeysel su kalitesinin ana kaynağı olarak gösterilmektedir. Ötrofikasyon klorlama ihtiyacını arttıracak, artan klor miktarıyla beraber reaksiyonlar sonucu kanserojen etkiler ortaya çıkacaktır. Gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler ötrofikasyonun sebep olduğu etkilerin önüne geçmek için arıtımla ilgili büyük yatırımlar yapmaktadır. Bu çalışma da yenilikçi yaklaşımlardan olan Beş Kademe Bardenpho Prosesi ile Kentsel Atıksulardan fosfor giderim verimi araştırılmıştır. Diğer proseslerle kıyaslandığında 5 Kademeli Bardenpho Prosesi daha yüksek nütrient giderim verimine sahip oluşu, oluşan çamurun fosfor içeriğinin yüksek olması, yüksek fosfor içerikli çamurun değerli olması ve gübre olarak kullanılması, bu proste kimyasal kullanımının çok az olması, işletme maliyetinin düşük olması gibi birçok olumlu yönünden dolayı tercih edilmektedir.

BUSKİ bünyesinde işletilmekte olan ve 5 Kademeli Bardenpho Prosesi ile çalışan Batı ve Doğu Arıtma Tesis verileri ve MATLAB R2018b programı kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarıyla modelleme çalışması yapılmıştır. 2016-2018 dönemlerine ait 3 yıllık günlük ve düzenli ölçülen giriş ve çıkış verilerinden faydalanılmıştır.

Batı AAT giriş ortalama debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, pH, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, çözünmüş katı madde, toplam azot giriş ve toplam fosfor değerleri sırasıyla; 56845m<sup>3</sup>/gün, 25,5 °C, 15°C, 8, 226 mg/L, 565 mg/L, 239 mg/L, 4 ml/L, 57 mg/L, 11,6 mg/L ve fosforun arıtmadan sonra ölçülen ortalama çıkış değeri ise 3 mg/L'dir.

Doğu AAT giriş ortalama debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, pH, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, çözünmüş katı madde, toplam azot giriş ve toplam fosfor değerleri sırasıyla; 175245 m<sup>3</sup>/gün, 25°C, 16,23 °C, 7,86, 228

mg/L, 552 mg/L, 226 mg/L, 4 ml/L, 57 mg/L, 11,6 mg/L ve fosforun arıtmadan sonra ölçülen ortalama çıkış değeri ise 3 mg/L'dir.

Fosfor çıkış tahminlemek için oluşturulan modeller girdi parametresinin debi, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, pH, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, ÇKM, TN ve TP ve çıktı parametresinin fosfor olduğu modeldir. Tüm girdilerin bir arada kullanılıp fosforu çıktı olarak kullanıldığı model ile tek girdi ve tek çıktı fosfor olduğu model olmak üzere toplamda 11 model Doğu ve 11 model Batı AAT için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Program her model için farklı eğitim, farklı doğrulama ve testler uygulanarak çalıştırılmıştır. En iyi sonuçlara ulaşıldıktan sonra farklı iterasyonlar ile de program çalıştırılmıştır.

10 girdi 1 çıktıdan oluşan veri setin de Doğu AAT fosfor değeri için en iyi öğrenme oranı %80 eğitim, %10 doğrulama ve %10 test ile olurken, Batı AAT için bu %85 eğitim, %10 doğrulama ve %5 test oranlarında elde edilmiştir. Doğu AAT için 14 iterasyonda en başarılı sonucu verirken Batı AAT 9 iterasyonda bu sonucu vermiştir. 10 gizli katman kullanılan modelde Doğu AAT için R<sup>2</sup> değeri 0,65789, Batı AAT R<sup>2</sup> değeri 0,2321 olduğu Levenberg- Marquardt öğrenme modelinde bulunmuştur.

Doğu ve Batı AAT için aynı doğrulama, test ve eğitim oranları kullanılarak bir girdi bir çıktıdan oluşan modelde fosforu en çok etkileyen girdi parametresi aranmıştır. Doğu AAT'i 221'i eğitim 28' i doğrulama ve 28 veriyi de teste ayırırken; Batı AAT'de bu oran 212 eğitim, 25' i doğrulama ve 12 veri seti ise teste ayrılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Doğu Atıksu arıtma tesisi ile Batı Atıksu arıtma tesisinde de fosfor çıktısını en çok etkileyen faktörün fosfor giriş parametresi ile hava sıcaklığı olduğu görülmektedir.

Doğu AAT için ve Batı AAT için öğrenme algoritması değiştirilerek çalışılmıştır. Bu çalışmada, Bayesian Regularization öğrenme modeli kullanılmış olup, verilerin 221'i eğitim için, 28'i doğrulama için ve 28'i de test için ayrılarak 10 gizli katmanda 512 iterasyon ile elde edilen sonuçlar Levenberg algoritmasından daha iyi sonuçlara vermesine karşın tam anlamıyla incelendiğinde, sistemin ezberlediği için bu sonuçları verdiği görülmektedir. Bu yüzden Bayesian Regularization algoritması tercih edilmeyerek, Levenberg-Marquardt öğrenme modeli tercih edilmiştir. Data setlerinin sağlıklı olarak toplanmadığı sonucunu YSA bize göstermektedir.

YSA kendi kendine öğrenme yeteneği ile açıkça görülmeyen problemlere çözümler sunması, eksik bilgilere rağmen başarılı şekilde çalışması, örneklerden faydalanıp kendi kendine öğrenmesi gibi birçok artısı vardır. Bu avantajlarının yanı sıra deney oranını düşürerek finansal olarak ve zamansal olarak büyük katkıları sağlamaktadır. Bu yönüyle çevre mühendisliği uygulamaları için oldukça faydalı bir tekniktir. Bu çalışma ile tesislerin işletilmesinde ve sistemli kontrolünün sağlanmasında büyük kolaylıklar ve gelişmeler sağlanacaktır. Aynı zamanda yeni düzenlemelerin yapılması, sıkı önlemlerin yerine getirilmesi ve gelecekte olası değişikliklerin yönlendirilmesi için de yararlı bir araç olabilecek sonuçlar ve gözlemler sunmaktadır. Atıksu arıtımında YSA'nın kullanılması girişte ve arıtımdan sonra yapılan analiz miktarını azaltarak bölgesel ve ulusal ekonomiye de büyük girdi sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

**Açıklan, S. 2007.** Atıksu Arıtma Tesisi Veriminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

**Ahadi, S. 2017.** Evaluation Of Phosphorus Recovery From Dried Sludge And Sludge. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Akyürek, E. 2009.** Atıksu Arıtım Tesislerinin Model Öngörmeli Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

**Aktaş, Ö., Şahinkaya, E., Yüceyurt, M., Uludağ, M. 2019.** Kimya Endüstrisi Atık Suyunun Pilot Ölçekte Anaerobik/Anoksik/ Aerobik Membran Biyoreaktörde Arıtımı. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 2: 140-148.

**Alan, E. 2013.** Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Curuflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Alkay, T. 2016.** Kocaeli Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi Ve Entegre Tesis Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ve Süreç Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.

**Anonim, 2005.** Çevre yönetimi genel müdürlüğü (<https://webdosya.csb.gov.tr>. 2019)-(Erişim Tarihi : 26.05.2019).

**Anonim, 2015.** TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Su Kaynaklarımız Geleceğimizin Teminatıdır. [www.cmo.org.tr](http://www.cmo.org.tr)-(Erişim Tarihi : 12.04.2019).

**Anonim, 2016.** TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası ([www.emo.org.tr](http://www.emo.org.tr)) <http://www.emo.org.tr>-(Erişim Tarihi : 08.05.2019).

**Anonim, 2018.** Türkiye İstatistik Kurumu Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi <http://www.tuik.gov.tr>-(Erişim Tarihi : 15.07.2019).

**Ashrafi, E., Zeinabad, A.M., Borghei, S.M., Torresi, E., Sierra, J.M. 2019.** Optimising Nutrient Removal Of a Hybrid Five-Stage Bardenpho And Moving Bed Biofilm Reactor Process Using Response Surface Methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7:1-10.

**Ayhan, M. 2011.** Türkiye'deki Atık Su Arıtma Tesislerinde Anoksik Fosfor Giderimi Yapabilen Organizmaların Varlığının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Balçık, Ç. 2013.** Evsel Atıksularından Nütrient Gideriminde Pilot Ölçekli Bardenpho İle Kaskat Proseslerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Baran, B. 2019.** Sınırlı Değerler Arasında Kalan Evsel Atıksu Numune Analizi Sonucunun Aşırı Öğrenme Makineleri ile Sınıflandırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1) : 18-25.

**Birnhack, I., Nir, O., Telzhenski M., Lahav, O., 2015.** A New Algorithm For Design, Operation And Cost Assessment Of Struvite. *Precipitation Processes Environ. Technology*, 36: 1892-1901.

**Boduroğlu, H.B. 2008.** Evsel Atıksuların Arıtılması ve Havalandırma Parametrelerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.

**Boztoprak, H., Özbay, Y. 2012.** Görüntü İşlemede Aktif Kontur ve YSA Kullanarak Atık Sularda Protozoa Belirlenmesi. Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Aralık-1 Kasım 2012, Bursa.

**Cordell, D., White S. 2011.** Peak Phosphorus Clarifying the key issues of a vigorous debate about long term phosphorus security, *University of Technology Sydney, Sustainability*, 3(10): 2027-2049

**Coşkun, Ç., Pulatsü, S., Coşkun, T. 2018.** Evsel Atıksulardan Azot ve Fosforun Biyolojik Giderilme Yöntemleri. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2): 53-63.

**Çakır, M., Minareci, O. 2015.** Işıklı Gölü Ve Işıklı Çayı'nda (Çivril-Denizli) Deterjan, Fosfat Ve Bor Kirliliğinin Araştırılması. *İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 30-(1): 23-24.

**Çavuşoğlu, M., Becerikli, Y., Karakuzucu, C. 2016.** Levenberg-Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendislik Dergisi*, 5-(1): 42-48.

**Dede, A. 2009.** İznik Göl Suyu Parametrelerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Demir-Manav, N., Yıldırım, A., Balçık, Ç., Coşkun, T., Debik, E. 2013.** Treatment Of Domestic Wastewaters By Two Different Pilot Scale Treatment Processes. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 31: 420-428.

**Demir-Manav, N. 2016.** Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Karbon Ve Azot Giderim Verimlerinin Tahmini Amacıyla Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2(6): 375-386.

**Demirci, Y., Pekel, L.C., Altınten, A., Alpbaz, M. 2016.** Elektrokoagülasyon Reaktöründe Bulanık Mantık Kontrol Metodu ile pH, iletkenlik ve Sıcaklığın Eş Zamanlı Kontrolü. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4): 987-996.

**Dirim, S., 2006.** Aşağı Kelkit Havzası Doğal Sulak Alanında Bitkilerle Fosfor Gideriminin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

**Doğan, F. 2010.** Mevcut Atıksu Arıtma Tesislerinin Fosfor Giderimi İçin Rehabilitasyonunda Seçeneklerin Değerlendirilmesi. Çevre Ve Orman Bakanlığı *Uzmanlık Tezi*. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Su Ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı.

**Dursun, Ş., Oktaç, N.H. 2005.** Evsel Atık Sudan Çökeltilmeyle Fosfat Giderim Metotlarının Karşılaştırılması. *S.Ü. Fen Ede. Fak. Fen Dergisi*, 26: 51- 58.

**Emara, M.M., Ahmeda, F.A., Abd El-Azizc. F.M., Abd El -Razekd. A.M.A. 2014.** Biological Nutrient Removal in Bardenpho process. *Journal of American Science*, 10-5.

**Erdem, F. 2019.** S. cerevisiae ile Remazol Sarı Giderimine Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(2): 289-298.

**Eren, Z. 2018.** Su Kaynaklarında İleri Oksidasyon Prosesleri ile Oksidasyon Kontrolü, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2): 243-253.

**Fesliyen, K. 2017.** Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

**Gök, A.O. Yıldız, C. Şekkeli, M. 2019.** Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kısa Dönem Güneş Enerjisi Santrali Üretim Tahmini: Kahramanmaraş Üretim Çalışması.

**Granata, F., Papirio, S., Esposito, G., Gargano, R., Marinis, G.D. 2017,** Machine Learning Algorithms for the Forecasting of Wastewater Quality Indicators. *Water*, 9(2): 105.

**Gümüş, N.E. 2018.** Eber Gölü (Afyon/Türkiye) Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti Ve Bulanık Mantık Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Konya.

**Gürtekin, E., Şekerdağ, N. 2007.** Elazığ Evsel Atıksu Arıtma Tesisindeki Fosfor Formlarının Belirlenmesi ve Giderilmesi. *Fırat Üniv. Fen Ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (1): 41-44.

**Hamada, H.A., Zaqoot, A.A., Jreiban., A. 2018.** Gazze Atıksu Arıtımının Tahmini İçin Yapay Sinir Ağlarının Uygulanması Bitki Performansı-Gazze Şeridi, *Su ve Atık Suda Uygulamalı Araştırma Dergisi*, 5 (1): 399-406.



**Hamed, M.M., Khalafallah, M.G., Hassanien, E.A. 2004.** Prediction of Wastewater Treatment Plant Performance Using Artificial Neural Networks, *Environmental Modeling and Software*, 19: 919-928.

**Helvacı, E. 2017.** Evsel Atıksuların Arıtılmasında Membran Biyoreaktörlerin Türkiye'ye Uygulanabilirliğinin Araştırılması. *Uzmanlık Tezi*, İller Bankası Anonim Şirketi, Türkiye.

**İleri, R. Çakır, G. 2006.** Bakır İyonlarının Sıvı Ortamdan Biyosorpsiyonla Giderimin İzoterm Sabitlerinin Matlab Programı ile Belirlenmesi. *Çev-Kor Ekoloji Dergisi*, 15(59): 8-17.

**İşeri, İ., Arıman, S. 2019.** Sedimandaki Ağır Metal Konsantrasyonunun Çoklu Değişken Regresyon Modelleri ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ Modeli ile Tahmin. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 389-397.

**Jonathan, J., Cole, Nina, F., Caraco, And Gene E.Likens. 1990,** Shortrange Atmospheric transport: A significant Source of Phosphorus to an oligotrophic lake. *Limnol Oceanogr*, 35(6): 30-37.

**Karakaya, K. 2012.**Yapay Zekâ Modelleriyle Tam Ölçekli Çamur Çürütme Reaktörlerinden Elde Edilen Biyogaz Üretiminin Tahmini: Yapay Sinir Ağları Ve Fuzzy Logic Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Kaynar, O., Taştan, S. 2009.** Zaman Serileri Tahmininde Arıma-Mlp Melez Modeli. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 3(23): 14-148.

**Köknar, B. 2019.** Kentsel Atıksulardan Uzun Süreli Ozonlama İle Koi, Diklofenak Giderimi Ve Kısmi Nitrifikasyon. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Kuru, B. 2012.** Agro Endüstri Atıksularından Kimyasal Çöktürme İle Azot Ve Fosfor Gideriminin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

**Manav. N. 2006.** Ardışık Kesikli Reaktör İle Evsel Atıksulardan Azot Ve Fosfor Giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Manav-Demir, N. 2006.** İleri Biyolojik Arıtma Proseslerinde Nutrient Giderimi Ve Mikroorganizma Türlerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Manav-Demir, N. 2012.** İleri Biyolojik Arıtma Proseslerinde Nutrient Giderimi Ve Mikroorganizma Türlerinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Manav-Demir, N. 2013.** iki Farklı Pilot Ölçekli Atıksu Arıtma Prosesinde Evsel Atıksuların Arıtılması. *Journal of Engineering and Natural Sci.*, 31: 420-428.

**Manav-Demir, N. 2013.** Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Karbon ve Azot Giderim Veriminin Tahmini Amacıyla Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2): 375-386.

**Manav-Demir, N., Yıldırım, A., Balçık, Ç., Coşkun, T., Debik, E. 2013.** Treatment Of Domestic Wastewaters By Two Different Pilot Scale Treatment Processes. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31, 420-428.

**Manav-Demir, N. 2017.** Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Karbon Ve Azot Giderim Verimlerinin Tahmini Amacıyla Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2): 375-386.

**Minareci, O., Bilgin, N., Çakır, M. 2013.** istanbul Büyükçekmece Gölü'nde Anyonik Deterjan, Fosfat ve Bor Kirliliğinin Araştırılması. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2): 52-60.

**Miron, M., Frangu, L., Caraman, S. 2018.** Laurențiu Luca Artificial Neural Network Approach for Fault Recognition in a Wastewater Treatment Process . Romania 2018 22nd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC). Galați, Romania.

**Moral H. Aksoy, A. Gokcay C.F. 2008.** Modeling of the Activated Sludge Process by Using Artificial Neural Networks with Automated Architecture”, *Computers and Chemical Engineering*, 32: 71-78.

**Nas, B., Hatipoğlu, Y.C. 2019.** Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör ile Kentsel Atıksulardan Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 4(1): 41-49.

**Ortatepe, O. 2013.** Evsel nitelikli atıksuların aerobik ve anaerobik şartlar altında, azot ve fosfor giderim Verimlerinin Karşılaştırılması .*Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

**Özel, O. Ersü, Ç.B. 2012.** Hurma (Antalya) Atıksu Arıtma Tesisinin Performansının Modellenmesi. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 27(5): 83-92.

**Öztemel, E. Düğenci, M. 2016.** Atıksu Arıtma Tesis Kontrolde Yapay Sinir Ağı ile Kirlilik Parametre Tahmini. *International Symposium on Environment and Morality*, 4-6 November, Alanya.

**Öztürk, C. 2007.** Yapay Sinir Ağları Ve Asm2 Kullanılarak Aktif Çamur Prosesinin Kontrolü Ve Modellenmesi. *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

**Sağlamtimur-Doğan, N., Sağlamtimur, B. 2018.** Sucul Ortamlarda Ötrofikasyon Durumu ve Senaryoları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1): 75-82.

**Samsunlu, A., 2011.** Çevre Mühendisliği Kimyası. Birsen Yayınevi, İstanbul, 402.

**Sezer, M., 2007.** Yapay Sınır Ağları Kullanılarak KOİ Parametresinden BOİ Parametresinin Tahmin Edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

**Shelknanloymlan, L., Atıcı, T., Obal, O. 2012.** Removal Of Nitrogen And Phosphate By Using Cholera Vulgaris On Synthetic And Organic Materials Waste Water, *Biological Diversity and Conservation*, 5(2): 89-94.

**Solak, M., Pakdil, Baldan, N., Kılıç, M., Kobya, M., 2018.** Elektrokoagülasyon Prosesi ile Patates Cipsi Üretim Atıksularından Fosfor Giderimi: Elektrot Materyali Karşılaştırması, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2): 302-313.

**Subaşı, H., Ersü, Ç.B. 2012.** Yapay Aınır Ağı ile Atıksu Arıtma Performansının Modellenmesi. *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 28(3): 110-117.

**Şener, G. 2016.** Atıksu Arıtma Tesislerinin Kırsal Alan Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Ankara.

**Tunçal. T., Pala. A.,Uslu. O. 2008.** Biyolojik Aşırı Fosfor Giderimi Temel Özelliklerinin İzmir Atıksu Arıtma Tesisi'nde Araştırılması. *İTÜ Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü*, 18(1): 17-31.

**Topal, M., Karagözoğlu, B., Öbek, E., Topal-Arslan, E.I. 2011.** Bazı Su Mercimeklerinin Nutrient Gideriminde Kullanımı, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4: 12-28.

**Uysal, Y., Üstünyıldız, B. 2016.** Beş Kademeli Modifiye Bardenpho Prosesi ile Atıksulardan Azot ve Fosfor Giderimi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1): 46-53.

**Üstünyıldız, B., Uysal, Y. 2016.** Beş Kademeli Modifiye Bardenpho Prosesi ile Atıksulardan Azot ve Fosfor Giderimi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1): 46-53.

**Yağcı, N., Artan, N. 2005.** Fosfor Ve Glikojen Depolayan Organizmaların Metabolik ve Matematik Modelleri, *İtü dergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü*, 15(2): 83-92.

**Yaşar, A. 2016.** Membran Teknolojiler Kullanılarak Arıtılmış Kentsel Atıksulardan Sulama Suyu Geri Kazanımı. *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.

**Yazıcı, H. 2014.** Karbon Kaynağının Ve Katyon Dengesinin Biyolojik Aşırı Fosfor Giderimi Prosesi ve Aktif Çamurun Çökme Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

**Yıldırım, A. 2012.** Evsel Atıksulardan Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesiyle Nutrient Giderimi Ve Bulanık Mantık Yönteminin Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı. İstanbul.

**Yıldız, S.P. 2009.** Denizli (Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi Performansının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.

**Yıldız, S., Namal,O.,Ö., Çekim, M. 2013.** Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişimler. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 1(1): 56-67.

**Yılmaz, E.C. 2009.** Bir Atıksu Arıtma Tesisinin Girişindeki Biyolojik Oksijen İhtiyacının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

**Yüksel, A.G., Bircan, H., Zontul, M., Kaynar, O. 2007.** Sivas İlinde Yapay Sinir Ağları İle Hava Kalitesi Modelinin Oluşturulması Üzerine Bir Uygulama. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*,1(8): 97-111.

**Zeinolabadini, M., ve Najafzadeh, M. 2019.** Comparative Study Of Different Wavelet-Based Neural Network Models To Predict Sewage Sludge Quantity In Wasterwater Treatment Plant. *Environmental monit. asses.*, 3: 163-191.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ÖZKAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Beypazarı 10.08.1991

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Nurettin Karaoğuz Vakfı Beypazarı Anadolu Lisesi

Lisans : Cumhuriyet Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Mühendisliği

Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : merveozkan0634@gmail.com

Yayınları :