

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**KÜÇÜK YERLEŞİM BİRİMLERİNE UYGUN ATIKSU ARITMA
ALTERNATİFLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Proje No: FBA-09-557

Proje Türü: EÜBAP

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Oktay ÖZKAN
Çevre Mühendisliği

Araştırmacının Adı Soyadı
Birimi/Bölümü
Yrd. Doç. Dr. Merve OĞUZ
Dr. Özgür ÖZDEMİR
Ar. Gör. Şükrü Taner AZGIN
Çevre Müh. Ali BAHRAN

Çevre Mühendisliği

Nisan 2011

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Bu projenin yürütülmesindeki katkılarından ve yardımlarından dolayı KASKİ Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ŞEKİLLER LİSTESİ	i
TABLolar LİSTESİ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Membran Biyoreaktörler	2
1.2. YüzeYden Akışlı Doğal Arıtma (YADA)	3
1.2.1. Yapay Sulak Alan Çeşitleri	5
1.3. Levenberg-Marquardt Metodu (LMM)	7
1.3.1. Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (Extended DBD)	7
2. GEREÇ VE YÖNTEM	10
2.1. Laboratuvar ölçekli SBR ile Evsel Atıksu Arıtılması	10
2.2. SBR Atıksu Karakterizasyonu	11
2.3. YADA ile Atıksu Arıtma Çalışmaları	12
2.4. YADA ile Ham ve Arıtılmış Atıksuyun Karakterizasyonu	13
2.5. İki Sistemde Atıksuyun Arıtılması Sonucu Elde Edilen Verilere YSA Uygulanması	14
3. BULGULAR	15
3.1. SBR Sisteminde Kullanılan Kombinezonlar ve Hata Değerleri	15
3.1.1. 3 Girişli Kombinezon	15
3.1.2. 4 Girişli Kombinezon	16
3.1.3. 5 Girişli Kombinezon	18
3.2. YADA Sisteminde Kullanılan Kombinezonlar ve Hata Değerleri	19
3.2.1. 3 Girişli Kombinezon	19
3.2.2. 4 Girişli Kombinezon	21
3.2.3. 5 Girişli Kombinezon	22
3.3. İki Sistem İçin Çoklu Doğrusal Regresyon Metodu Kullanılarak Modelleme	24

3.4. İki Sistem İçin Bulunan En İyi Model ve Hataları	24
4. SONUÇ	25
KAYNAKLAR	26

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. (a) Konsantre çamuru biyoreaktöre geri devir yapılan ayrık filtrasyonlu yan taraf-akımlı (side-Stream) MBR; (b) Daldırılmış (submerged) MBR; filtrasyon ünitesi biyoreaktör içinde entegre	3
Şekil 1.2. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları	5
Şekil 1.3. Yüzeyden Akışlı doğal arıtma	6
Şekil 2.1. KASKİ Membran Biyoreaktör sisteminden görüntüler	10
Şekil 2.2. SMBR'nin şematik akış diyagramı	11
Şekil 2.3. YADA Sisteminin görünüşü	13
Şekil 3.1. SMBR sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı	15
Şekil 3.2. SMBR sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı	16
Şekil 3.3. SMBR sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı	17
Şekil 3.4. SMBR sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı	17
Şekil 3.5. SMBR sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı	18
Şekil 3.6. SMBR sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı	19
Şekil 3.7. YADA sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı	20
Şekil 3.8. YADA sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı	20
Şekil 3.9. YADA sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı	21
Şekil 3.10. YADA sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı	22
Şekil 3.11. YADA sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı	23
Şekil 3.12. YADA sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı	23

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. SMBR’de arıtılmış atıksuyun ortalama karakteristik değerleri	12
Tablo 2.2. YADA ile ham ve arıtılmış atıksu karakterizasyonu	13
Tablo 2.3. SMBR Sistemi Oluşturulan Kombinezonlar ve Modellerde Kullanılan Değişkenler	14
Tablo 2.4. YADA Sistemi Oluşturulan Kombinezonlar ve Modellerde Kullanılan Değişkenler	14
Tablo 3.1. SMBR sistemi 3 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları	15
Tablo 3.2. SMBR sistemi 4 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları	16
Tablo 3.3. SMBR sistemi 5 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları	18
Tablo 3.4. YADA sistemi 3 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları	19
Tablo 3.5. YADA sistemi 4 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları	21
Tablo 3.6. YADA sistemi 5 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları	22
Tablo 3.7. SMBR sistemi ÇDR metodu değerlendirme aşaması hatalar	24
Tablo 3.8. YADA sistemi ÇDR metodu değerlendirme aşaması hatalar	24

KÜÇÜK YERLEŞİM BİRİMLERİNE UYGUN ATIKSU ARITMA ALTERNATİFLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yapılan çalışma ile Kayseri ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinde kurulu olan pilot ölçekli Daldırılmış Membran Biyoreaktörün (SMBR) havalandırma havuzunda ölçülen pH, askıda katı madde(AKM), uçucu askıda katı madde(UAKM), çamur hacim indeksi(ÇHİ) ve çöken katı madde(ÇKM) parametreleri giriş olarak kullanılıp KOİ kirlilik parametresinin yapay zekâ tekniği ile tahmini yapılmıştır. Levenberg-Marquardt (LM) metodu ile oluşturulan model çalışmaları sonucunda 5 giriş ve 1 çıkıştan oluşan kombinezon, $R^2 = 0.77$ ile en iyi sonucu vermiştir. Benzer bir uygulama doğal arıtma yöntemlerinden biri olan Yüzey Akışlı Doğal Arıtma (YADA) sisteminden elde edilen kirlilik parametrelerinden TN, TP, $\text{NH}_4\text{-N}$, KOİ ve BOI_5 ile giriş atıksuyundaki $\text{PO}_4\text{-P}$ parametresi tahmini için yapılmıştır. Oluşturulan kombinezonlarda KOİ parametresinin giriş atıksuyun'da tahmin edilen $\text{PO}_4\text{-P}$ parametresi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı gözlenmiş ve en iyi sonuç $R^2 = 0.93$ ile 4 girişli YSA modelinde elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: YSA, SMBR, YADA, KOİ, Levenberg-Marquardt (LM)

**EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT ALTERNATIVES
SUITABLE FOR SMALL COMMUNITIES BY
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

ABSTRACT

In this study, COD pollution parameter was predicted by Artificial Neural Networks (ANN) using influent parameters of pH, suspended solids (SS), volatile suspended solids (VSS), sludge volume index (SVI) and settled solids measured in the aeration tank of a submerged membrane bioreactor conducted at Kayseri advanced biological wastewater treatment plant. The combination consisting of 5 inputs and 1 output resulted in using Levenberg-Marquardt (LM) method gave the best results with $R^2 = 0,77$. A similar application was performed to predict the influent $\text{PO}_4\text{-P}$ parameter using pollution parameters of TN, TP, $\text{NH}_4\text{-N}$, COD and BOD_5 obtained from the surface flow natural treatment system (SFNT). The generated combinations showed that COD parameter had no effect on the predicted influent $\text{PO}_4\text{-P}$ parameter and the best result was obtained 4 input ANN model with $R^2 = 0,93$.

Keywords: ANN, SBR, SFNT, COD, Levenberg-Marquardt (LM)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda yüzeysel sulara nutrient deşarjının sınırlandırılması nedeniyle organik karbon (KOl) ve fosfat giderimine ek olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri ile azot giderimi de sağlanmaya çalışılmaktadır [1]. Günümüzde az yer kaplayan, iyi çıkış suyu kalitesi sağlayan ve ekonomik açıdan diğer konvansiyonel sitemlere nazaran avantajlı olabilecek arıtma prosesleri üzerinde araştırmalar son zamanlarda yoğunlaşmıştır [2]. Bilindiği üzere evsel atıksular, düşük miktarlarda organik madde içermelerine rağmen azot ve fosfor gibi kirletici parametreler bakımından oldukça zengin bir içeriğe sahiptirler [3]. Kentsel yerleşim alanlarına su temin edilen içme suyu kaynaklarının su kalitesi, suyun akış yönünde yer alan küçük ölçekli kırsal yerleşim alanlarından kaynaklanan kirleticiler nedeniyle olumsuz şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle bu tür alanlarda su kalite standartlarını karşılamak amacıyla genellikle küçük ölçekli atıksu arıtım sistemleri tercih edilmektedir [4]. Biyolojik nutrientlerin alıcı ortamlara deşarjı konusunda son düzenlemeler karbon, azot ve fosfor giderimi amacıyla membran biyoreaktör (MBR) kullanımının çeşitli arıtım alternatiflerini ön plana çıkarmıştır [5]. Klasik aktif çamur sistemleri ile karşılaştırıldığında düşük işletim maliyetleri, yüksek azot ve fosfor giderimleri, oluşan çamur miktarının az oluşu (bulking) gibi avantajları, biyolojik nutrient giderimi açısından evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında MBR gibi sistemleri cazip kılmaktadır [6].

MBR sistemlerin yanı sıra doğal çevrede su, hava, toprak, bitki ve mikroorganizmaların karşılıklı etkileşimiyle fiziksel ve kimyasal proseslerin bir arada kullanıldığı doğal arıtma sistemleri atıksu arıtımında kullanılmaktadır. Doğal arıtma sistemleri, mekanik arıtma sistemlerinden farkı arıtmanın, doğal şartlardaki bir hızda ve tamamen bir ekosistem olarak kabul edilebilecek reaktördeki gibi çalışmasıdır. Mekanik arıtma sistemlerinde ise arıtma hızı ayarlanabilmekte, birbirinden ayrı ünitelerde arıtma gerçekleştirilmekte ve hız ayarı enerji girişine göre yapılabilmektedir. Atık suların arıtımında kullanılan gelişmiş sistemlerin maliyeti ve işletme giderlerinin pahalı olması, nitelikli insan işgücüne duyulan ihtiyaç nedeniyle, özellikle küçük yerleşim merkezlerinde atık su arıtma tesisleri işletilememektedir. Bu nedenle alternatif bir çözüm olarak; doğal arıtma sistemleri düşünülmüştür [7].

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Membran Biyoreaktörler

Atıksuların deşarj kriterleri üzerinde ölkemizde Çevre Mevzuatı kapsamında yürürlükte olan yönetmelikler (SKKY ve KAAY) ve Avrupa Birlięi (EC) ölkelerinde yürürlükte olan yasalar BOİ, askıda katı madde, azot, fosfor ve bakteri için yüksek giderme verimleri sağlayacak geliştirilmiş yeni arıtma proseslerinin kullanılmasını tavsiye etmektedir. En çok tavsiye edilen yeni teknolojilerden birisi de membran biyoreaktörlerdir (MBR).

Bu proses, biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonunu teşekköl etmektedir. Eysel atıksuların arıtılmasında kullanılan MBR'lar oldukça yüksek kalitede çıkış suyu verebilmekle birlikte konvansiyonel arıtma prosesleri üzerinde de birçok avantajlara sahiptirler.

Avantajlar

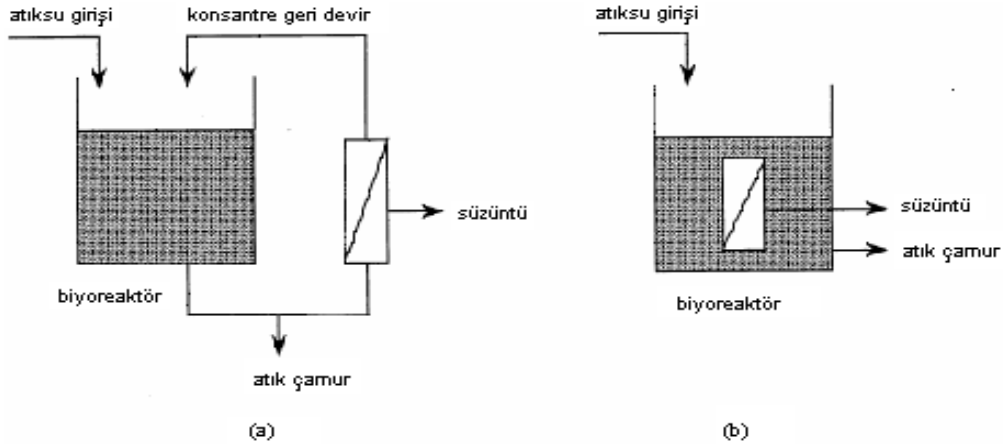
- Yüksek hijyen standartları ile birlikte ideal çıkış suyu kalitesi
- Yüksek olası biokütle konsantrasyonu (10-25 g MLSS/L)
- Reaktör hacminin ve kapladığı alanın düşük olması
- Net çamur üretiminin azaltılmış olması

Dezavantajlar

- Membran modüllerinin yüksek yatırım maliyetleri
- Membran bütünlüğü (hata tespit, yaşam süresi)
- Yüksek işletme maliyetleri (enerji sarfıyatı)[8,9]

Yukarda sayılan maddeler içerisinde en önemli olarak ise MBR'ın konvansiyonel arıtma proseslerine nazaran daha az yer kaplaması, istenilen ya da gerekli olan değişikliklerin daha önce üretilmiş bir ürüne teknolojik uyarlanması olarak sayılabilir. Yenilenen teknolojik gelişmeler, evsel ve endüstriyel atıksuların yeniden kullanımına imkan vermeleri Membran bioreaktörleri, konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri içerisinde etkin bir duruma getirmiştir [10].

MBR sisteminde, katı/sıvı membran filtrasyonu ya biyoreaktörün içinde (daldırılmış konfigürasyon, Şekil 1.1a) veya dış taraftan pompa ile geri devir yaptırılarak (yan taraf-akımlı konfigürasyon, Şekil 1.1b) sağlanır. Ultrafiltrasyon (UF) veya mikrofiltrasyon (MF) membran tutulan maddeleri ayırır; esas olarak su ve diğer çözücü türler membrandan geçerken katı maddeler ve mikroorganizmalar tutulur. Membran biyoreaktörler (MBR), klasik aktif çamur prosesine göre daha düşük çamur üretimine sahiptir.



Şekil 1.1. (a) Konsantre çamuru biyoreaktöre geri devir yapılan ayırık filtrasyonlu yan taraf-akımlı (side-Stream) MBR; (b) Daldırılmış (submerged) MBR; filtrasyon ünitesi biyoreaktör içinde entegre.

Daldırılmış MBR sistemi aktif çamur sisteminin yarısı kadar yer kaplar ve çamur üretimi de benzer olarak yarıya düşer. Çamur uzaklaştırma işletme maliyeti içinde önemli bir yer tuttuğundan, onun üretimindeki azalma potansiyel bir kazanç sağlayacaktır. Bu proses, biyolojik arıtmayla birleşik olan membran filtrasyonundan oluşmaktadır. Bir MBR sisteminde, katı/sıvı membran filtrasyonu ya biyoreaktörün içinde (daldırılmış konfigürasyon) veya dış taraftan pompa ile geri devir yaptırılarak (yan taraf-akımlı konfigürasyon) sağlanır [11].

1.2. Yüzeyden Akışlı Doğal Arıtma (YADA)

Doğal Arıtma Sistemleri, doğayı esas alınarak geliştirilmiş sistemlerdir. Bu sistemler, bitkisel arıtma sistemi ya da ekili sulak alanlar olarak da tanımlanmaktadır. Bu tip sistemler tasarlanırken doğa temel alınmıştır ve biyolojik arıtma sistemlerindeki benzer bir şekilde atık su içindeki organik maddeleri parçalamak için doğadaki mikroorganizmalar kullanılmaktadır. ABD de doğal arıtma esaslı sistemlerin kullanımı 1880 yıllarında başlamıştır. Almanya da 1600 lü yıllardan kalma bir arazide arıtma sisteminin hala çalışmakta olduğu belirtilmiştir [7].

Arazide arıtım, atık suların araziye kontrollü bir şekilde uygulanarak bitki, toprak ve su arasındaki etkileşimler sonucu suda bulunan kirleticilerin belirli oranda giderilmesi işlemi olarak tanımlanmıştır. Arazide arıtım yöntemlerinin hepsinde amaç, tüm toprağın doğal arıtma

gücünden yararlanması söz konusu olmasına rağmen, uygulama tekniklerinde bazı farklar görülmektedir.

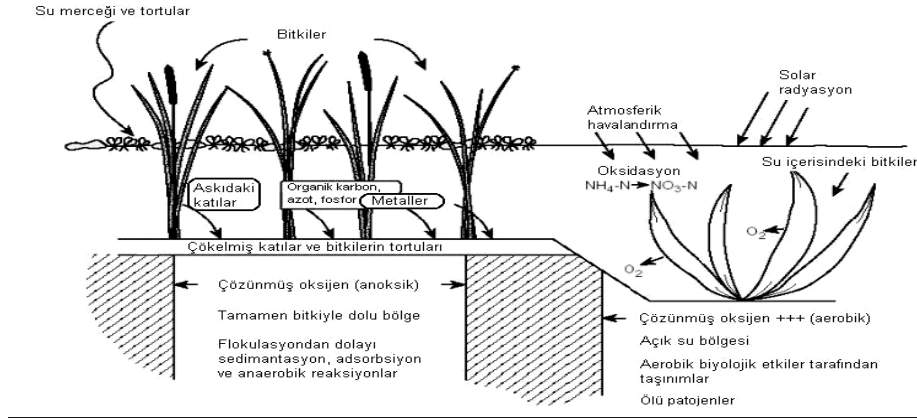
Doğal arıtma sistemlerinde atık uygulamanın amaçlarında aşağıdaki hedefler gözlenir;

- 1) Uygulanan atıksuyun arıtılması
- 2) Ticari ürünler yetiştirerek kullanılan atıksuyun ve besi maddelerinin geri dönüşümünün sağlanması
- 3) İçilebilen suların yerine arıtılmış suların tarımda kullanılması
- 4) Yerleşim yerleri etrafındaki yeşil alanları korumak.

Bu sistemde belirli derinliklerde arklar açılır ve bitkilendirilmiş yüzeyle belirli bir eğimde atık su verilir. Kullanılan toprak geçirimsizdir, bu nedenle yüzeyden akış sırasında, çok az miktarda atık su toprağa geçer. Çoğu yüzeyden akarak sistemin sonundaki biriktirme haznelerinde toplanır. Bu sistemde atık sular %2 ila % 8 arası eğime sahip ve üzerinde bitki örtüsü bulunan araziye üst kısımdan uygulandıktan sonra su toplama kanallarına verilen sistemlerdir. Bu sistemde atık sular toprak yüzeyinden aşağıya doğru akarken fiziksel, kimyasal, biyolojik olarak değişikliğe uğrar ve arıtılmış olur. Atıksuda bulunan amonyak azotu bu sistemde büyük oranda nitrifikasyon-denitrifikasyon mekanizmasıyla giderilirken, bir kısmı da bitkiler tarafından kullanılmak suretiyle yaklaşık %80-90 civarında bir azot giderimi gerçekleşmektedir [12].

Yüzey akışlı doğal arıtma sistemleri; suyun, substratın (besi maddesi), bitkilerin (vascular ve algler) genellikle bitkilerden düşen süprüntü maddelerinin, omurgasızların (çoğunlukla küçük sinek ve solucanlar) ve çeşitli mikroorganizmaların oluşturduğu kompleks bir topluluktur. Oluşturulan bu yapay sulak alanlarda; askıda partiküler maddelerin çökmesi, suyun substrat ve süprüntü maddeleriyle teması ile sağlanan filtrasyon ve kimyasal çöktürme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Kimyasal dönüşüm, bitkilerin yüzeylerinde, substrat, tortu ve süprüntü maddelerinde meydana gelen tutunma ve iyon değiştirme bu sistem içerisinde uygulanmaktadır. Kirleticilerin ve besi maddelerinin mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından bozulması, değişime uğraması ve kendi bünyeleri içine alınması aşamalarında bu doğal arıtma sistemlerinde başarıyla uygulanabilmektedir. Patojenlerin öldürülmeleri veya doğal olarak ölmeleri yapay sulak alanların maliyet açısından ve teknik açıdan atıksu ve sızıntı suyu arıtımında kullanılmaları tercih edilen arıtma sistemlerinden biri haline getirmiştir. Yapay Sulak Alan Sisteminin İşletilmesi; sistemin özel olarak tasarlanan yataklarda yetiştirilen bitkiler vasıtasıyla atıksuyun arıtılması esasına dayanmaktadır. Bu sistem pahalı ekipmanlara

ihtiyaç duymaz ve enerji ihtiyacı yoktur. Bakımı, onarımı ve işletilmesi kolay olmakla birlikte uygulanan arazinin çevresindeki halk tarafından rahatça anlaşılabilir ve bakımı yapılabilir [13, 14]. Şekil 1.2' de serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.2. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları.

1.2.1. Yapay Sulak Alan Çeşitleri

Suyun akış yönüne göre,

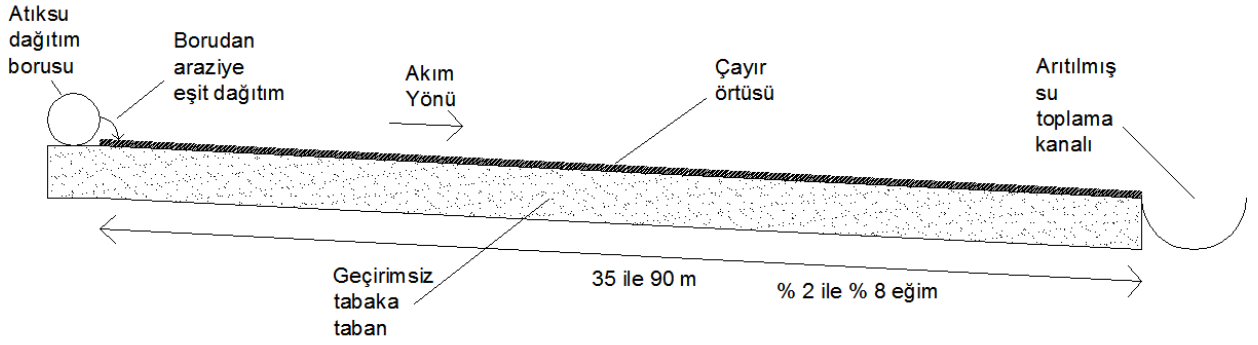
- Serbest yüzey akışlı sulak alan
- Yüzey altı akışlı yapay sulak alan

Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alan;

- 1.Havuz yada kanal biçiminde geçirimsiz bir tabana sahip sığ (genelde 60cm) havuzlar
- 2.Bitkilerin sap gövde ve kökleriyle akım yavaş ve düzenli
- 3.Özellikle dar ve uzun kanallarda kısa devreler minimum düzeyde
- 4.Tüm bitki türleri (yüzücü, köklü) barınabilmekte
- 5.Hidrolojik rejimleri doğal sulak alanlarınkine benzer
- 6.Farklı yapısal ve fonksiyonel özelliklerine rağmen, fakültatif lagünlerle de benzerlik gösterirler.

Yüzeyden akışlı doğal arıtma, atıksuların belli bir eğim verilen arazi üzerinden akıtılarak bu arazi üzerine ekilen bitkilerin de giderimi ile oluşan sistem tarafından kirliliklerinden arındırılması prosesidir. Burada bitkiler tarafından yapılan arıtma verimi, ortalama % 40 olarak gerçekleşmektedir. Mevcut sistemde ilave giderim mekanizmaları; nitrifikasyon,

denitrifikasyon, oksidasyon, filtrasyon ve adsorbsiyon olarak sıralanabilir. Arıtma tesisi olmayan küçük yerleşim yerlerinde sıklıkla uygulanan proste arazi ihtiyacı diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha fazladır ve arazinin değerli olduğu yerlerde uygulanması fizibil olmamaktadır. Bu proses çıkışında oluşan suyun alıcı ortama verilebilir bir niteliğe ulaşabilmesi için genellikle bir ön arıtma(ihtiyaca göre; ön çöktürme veya biyolojik arıtma) gerekmektedir. Bir Yüzeyden Akışlı Doğal Arıtma (YADA) sisteminin boy kesitinin şematik görünüşü aşağıdaki Şekil 1.3'te görülmektedir.



Şekil 1.3. Yüzeyden Akışlı Doğal Arıtma

Klasik yüzey akışlı sistemlerde, giriş öncesi, ön çöktürme maksadıyla, genellikle imhoff tankı kullanılmaktadır. Atıksu önce imhoff tankına alınarak bekletilmekte ve askıda katı maddelerinin çökmesi sağlanmaktadır. Daha sonra üst fazdan alınan atıksu belli bir eğim verilmiş araziye yağmurlama veya delikli atıksu borusuyla belirli bir debide verilmektedir. Atıksuyun verileceği arazide yeraltı suyuna sızmayı önlemek için kil tabakasıyla kaplanmakta ve üzerine bitki toprağı dökülerek kullanılacak bitkilerin gelişmesi sağlanmaktadır. Atıksu araziden akarken yukarıda belirtmiş olduğumuz giderim mekanizmalarının katkısı ile atıksu arıtılmış olarak atıksu biriktirme hendeklerine alınır. Yeterli oranda arıtması sağlanan atıksu buradan ya alıcı ortama verilir veya sulama suyu olarak kullanılabilir. Biriktirme hendeğine alınan atıksuyun, istenilen oranda arıtılmadığı deneysel olarak belirlenmesi halinde, sisteme tekrar geri devir yaptırılarak yeterli oranda arıtım sağlanmaya çalışılır [15].

Doğal arıtma sistemlerinin (Yapay Bataklık Sistemleri, Yüzen Bitkili Sistemler, Hızlı İnfiltrasyon, Sulama Sistemleri, Stabilizasyon Havuzları, gibi...) diğer klasik sistemlere karşı tercih edilmelerinin iki önemli sebebi var;

1. İnşa ve işletme kolaylığı.
2. Ekonomik ve güvenilir olmasıdır.

Bu nedenle son 10 yılda ülkemiz ve dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu arada aşağıda belirtilen avantajları ile özellikle nüfusun yoğun olmadığı mahallerde klasik sistemlerin yerine rahatlıkla kullanılabileceği görülmektedir. Askıda partiküler maddelerin tutulması

- Suyun substrat ve süprüntü maddeleriyle teması ile sağlanan filtrasyon ve kimyasal çöktürme
- Kimyasal dönüşüm
- Bitkilerin yüzeylerinde, substrat, tortu ve süprüntü maddelerinde meydana gelen tutunma ve iyon değiştirme
- Kirleticilerin ve besin maddelerinin mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından bozulması, değişime uğraması ve kendi bünyeleri içine alınması
- Patojenlerin öldürülmeleri veya doğal olarak ölmeleri
- Debideki değişimlerin tolere edilebilmesi
- Aktif çamur için çok seyreltik olan atıksuları(organik madde yönünden) yapay sulak alanların arıtabilmesi
- Suyun tekrar kullanımını ve dönüşümünü kolaylaştırması
- Birçok organizma için yaşam alanı oluşturması
- Doğal manzara ile uyum içinde inşa edilebilmesi [15].

1.3. Levenberg-Marquardt Metodu (LMM)

Temel olarak, bu algoritma maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir en az kareler hesaplama metodudur. Ayrıca bu algoritma, Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. Genel olarak bu metod yavaş yakınsama problemlerinden etkilenmez [16, 17].

1.3.1. Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (Extended DBD)

Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (EDBD) öğretim algoritması, eğitimde belirli bir anda epoch genel hatayı hesaplayarak hata düzeltme özelliğine sahiptir. Belirli bir andaki (ya da herhangi bir anda) ölçülen hata, bir önceki anda bulunan hatadan büyük ise ağırlıklar bir önceki ağırlık değerlerini alır. Daha iyi sonuçlar elde etmek için hata düzeltme özelliğine dayanıklılık (patience) faktörü eklenmiştir. Her periyotdaki (epoch) hatayı test etmek yerine daha önce iyileştirilme işlemi yapıldığından hata, n periyotta test edilir.

EDBD’de, her bir bağlantıdaki momentum hızı $\mu(k)$ ve öğrenme hızı $\alpha(k)$ zamanla değişmektedir. DBD ile karşılaştırmak için standart delta kuralı ile verilen momentum için bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi

$$\Delta w(k+1) = \alpha \delta(k) + \mu \Delta w(k)$$

değerinin ağırlıklara katkısıyla

$$w(k+1) = w(k) + \Delta w(k+1)$$

elde edilebilir. Burada α ve μ sabittir. Bunun yanında EDBD için değişken öğrenme ve değişken momentum hızları aşağıdaki gibi elde edilebilir. Ağırlıklar,

$$\Delta w(k+1) = \alpha(k) \delta(k) + \mu(k) \Delta w(k)$$

değerinin bir önceki ağırlığa eklenmesiyle

$$w(k+1) = w(k) + \Delta w(k+1)$$

bulunur. Burada, $\mu(k)$ k zamanındaki bağlantı momentum hızıdır. Momentum hızı $\mu(k)$ ve öğrenme hızı $\alpha(k)$ aşağıdaki kurallara göre benzer şekilde ayarlanır. İlk önce, $\bar{g}$ nin hesaplanması DBD algoritmasına göre belirlenir.

$$\bar{g}(k) = (1 - \theta)(\delta(k) + \theta \delta(k-1))$$

Burada θ konveks ağırlık faktörüdür. EDBD için öğrenme hızı değişimi:

$$\Delta \alpha(k) = \begin{cases} \kappa_{\alpha} \exp(-\gamma_{\alpha} |\bar{\delta}(k)|) & \bar{\delta}(k-1) \delta(k) > 0 \text{ ise} \\ -\varphi_{\alpha} \alpha(k) & \bar{\delta}(k-1) \delta(k) < 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

formülünden elde edilir. Burada $\exp$, üstel fonksiyonunu, Benzer şekilde, k zamanındaki momentum hızı değişimi,

$$\Delta \mu(k) = \begin{cases} \kappa_{\mu} \exp(-\gamma_{\mu} |\bar{\delta}(k)|) & \text{eğer } \bar{\delta}(k-1) \delta(k) > 0 \\ -\varphi_{\mu} \mu(k) & \text{eğer } \bar{\delta}(k-1) \delta(k) < 0 \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

ifadesinden bulunabilir. Burada, κ_μ , sabit momentum hızı skala faktörünü ϕ_μ , sabit momentum hızı azaltma faktörü ve γ_μ , sabit momentum hızı üstel faktörünü göstermektedir.

Şuna da dikkat edilmelidir ki öğrenme ve momentum hızları, onların azalması ve artmasını kontrol eden farklı sabitlere sahiptir. $\bar{\delta}(k)\delta(k)$ 'nın işareti sezgisel olarak artma mı yoksa azalma mı olduğunu tespit etmek için kullanılır. Azalmanın ayarlanması DBD'nin kurallarına göre belirlenir. Ancak öğrenme ve momentum oranlarının artırılması $|\bar{\delta}(k)|$ 'nın üstel azalan fonksiyonu olarak değiştirilir. Böylece, küçük eğimli bölgelerde, büyük eğimli bölgelere nazaran daha büyük artırımlar yapılabilecektir. Bu, atlama problemi için kısmi bir çözümdür.

Ağırlık uzayında, osilasyonları ve aşırı atlamaları engellemek için, üst sınırlar her bir bağlantı öğrenme hızları ve momentum hızları üzerinde belirlenir. Matematiksel ifadesi, tüm bağlantılar için aşağıdaki gibidir.

$$\alpha(k) \leq \alpha_{\max}$$

$$\mu(k) \leq \mu_{\max}$$

Burada, $\alpha_{\max}$ öğrenme katsayısının üst sınırı ve $\mu_{\max}$ ise momentum katsayısının üst sınırıdır.

Sonuç olarak, EDBD algoritmasına düzeltme özellikli bir hafıza yerleştirilmiştir. Kullanıldığı zaman, eğitme datalarının sunumu her iterasyondan sonra, hata değerlendirilir. Hata, $E(k)$, bir önceki minimum hatadan küçük ise ağırlıkları o anki en iyiler olarak hafızada saklanır. Düzeltme tolerans parametresi λ , düzeltme sürecini kontrol eder. O andaki hata önceki minimum hatayı aşarsa, yani

$$E(k) > E_{\min} \lambda$$

olursa, tüm bağlantı ağırlıkları, hafızada saklı olan en iyi değerlerle değiştirilir. Ayrıca, öğrenme ve momentum hızları, düzeltmeyi başlatmak için azaltılır[18,19].

2. GEREÇ VE YÖNTEM

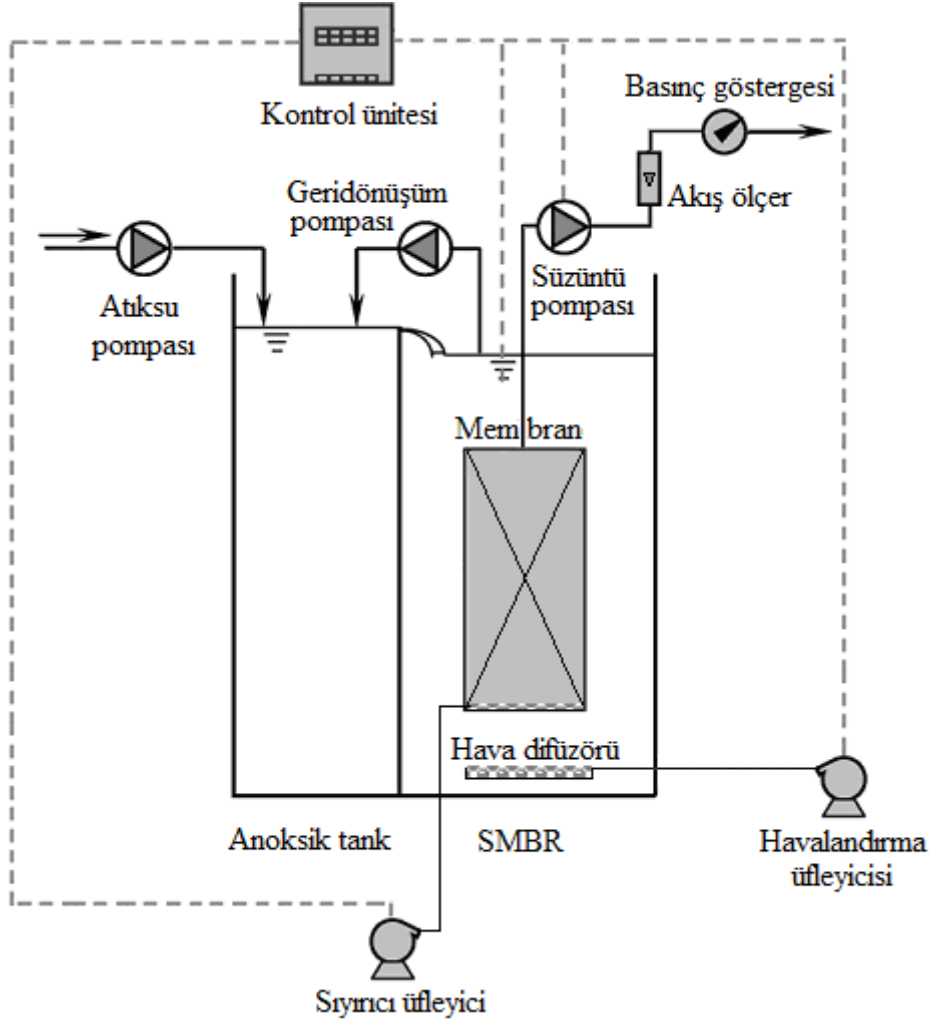
2.1. Laboratuvar ölçekli SMBR ile Evsel Atıksu Arıtılması

Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü ve KASKİ'nin kontrolünde halen devam eden TÜBİTAK KAMAG projesi kapsamında KASKİ laboratuvarına kurulan lab/yarı pilot ölçekli SMBR sisteminde, Yamula barajı havzası içerisinde yer alan küçük yerleşim yerlerinden alınan atıksuların arıtma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada laboratuvar ölçekli sistemden alınan veriler kullanılmıştır. Ön çökeltme tankı ve membran filtrasyonun bulunduğu havalandırma tankı için, 2 adet 3000 L'lik (Çap=147 cm, yükseklik=213 cm, ağırlık = 70 kg) polietilen tank kullanılmıştır. Kullanılan havalandırma tankları Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. KASKİ Membran biyoreaktör sisteminden görüntüler

Havalandırma tankının efektif hacmi yaklaşık 2000 L'dir (minimum su yüksekliği = 120 cm için). Kayseri atıksu arıtma tesisinde (KASKİ) yerleştirilen, pilot-ölçekli SMBR sistemi Şekil 2.2'de verilmiştir. SMBR sistemi, bir anaerobik/anoksik tank (efektif hacmi 2000 L) ve bunu takiben bir havalandırma tankından (efektif hacmi 1800 L) oluşmaktadır. Membran kaseti MCB 1 (Hans Huber Incorporated, Germany) model olup, içinde 9 adet plak-çerçeve ultrafiltrasyon membran modülü (polyether-sulfone (PES), por büyüklüğü 0,038 μm ve toplam alanı 3,6 m^2) vardır. Tank içine dik olarak yerleştirilen membran kasetinin altında bir difüzör (sıyırma için) ve yanında bir difüzör (havalandırma için) bulunmaktadır. Ham atıksu, anaerobik/anoksik tanktan cazibeli (yerçekimi) akışla SMBR tankına geçmektedir. 6 aylık arıtma süresince ham atıksuyun karakterizasyonu değişiklik göstermiştir.



Şekil 2.2. SMBR'nin şematik akış diyagramı

Atıksu sisteme bir pompa vasıtasıyla beslenmiştir. Membrandan süzüntü bir emme pompası ile alınmıştır. Süzüntü debisi ve transmembran basıncı (TMP) sırasıyla bir rotametre ve manometre ile ölçülmüştür. Pilot-ölçekli SMBR sisteminde süzüntü debisi 50-90 L/saat arasında değişiklik göstermektedir. Membran tıkanmasını önlemek için sistem kesikli filtrasyonla çalıştırılmıştır (8 dak. filtrasyon ve 2 dak. durma). Deneylerde, havalandırma tankında hidrolik bekletme süresi (HRT) 20-36 saat arasında olmuştur. Havalandırma tankından anoksik tanka aralıklı olarak çamur geri devri yapılmıştır.

2.2. SMBR Atıksu Karakterizasyonu

Havalandırma tankındaki toplam biyokütle MLSS konsantrasyonu 4000 ± 250 , MLVSS 3500 ± 100 mg/l, çöken katı madde (ÇKM) 130 ± 25 mg/l arasında değişmiş ve çamur bekletme süresi (SRT) sonsuz alınmıştır. Transmembran basıncı (TMP), 0,1-0,5 bar arasında

değişmiştir. SMBR sisteminde arıtma işleminden sonra ölçülen parametreler çıkış KOI konsantrasyonu başta olmak üzere Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1. SMBR’de arıtılmış atıksuyun ortalama karakteristik değerleri

Parametre	Giriş Değerleri*	Çıkış Değerleri**
KOİ (mg/L)	729.5 ± 119.5	6.9 ± 6.8
BOİ ₅ (mg/L)	343.3 ± 42.8	2.3 ± 1.8
TN (mg/L)	60.0 ± 6.3	33.9 ± 6.4
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	31.4 ± 0.6	0.6 ± 0.6
TP (mg/L)	9.0 ± 1.5	2.8 ± 1.5
AKM (mg/L)	438.3 ± 98.2	2.5 ± 2.2
pH	7.9 ± 0.2	7.6 ± 0.2

* 3 aylık analizler sonucunda elde edilen ortalama giriş değerleri

** 3 aylık analizler sonucunda elde edilen ortalama çıkış değerleri

Arıtılmış atıksuyun ortalama karakteristik değerleri incelendiğinde %99 oranında KOI giderimi elde edildiği görülmektedir. Çıkış KOI konsantrasyonunun modelleme çalışmalarında bulunan ortalama hata değerleri gerçek değerlere yakınlığının göstergesidir.

2.3. YADA ile Atıksu Arıtma Çalışmaları

Evsel atıksuyun doğal arıtım çalışmaları için laboratuvar ölçekli bir adet Yüzey Akışlı Doğal Arıtım Sistemi kullanılmıştır. Yüzey Akışlı Doğal Arıtma sisteminin, boyu 100 cm, eni 40 cm, yüksekliği 7cm dir ve pleksiglasstan yapılmıştır. Sistem, demir yataklı, eğimi % 5 olacak şekilde ayarlanmıştır(Şekil 2.3). Reaktörün tabanına 2 cm kalınlığında çakıl (1-2 cm) ve üzerine bitki toprağı yerleştirilmiştir. Çakılın çapı 1-2cm aralığındadır. Giriş ve çıkış bölümlerine düzgün akımın sağlanması için, (giriş; 1-2 cm, çıkış; 0.5-1 cm) ayrıca çakıl yerleştirilmiştir. Toprak geçirimsizliğini sağlamak için, herhangi bir bitkilendirme yapılmadan önce, toprak tabakası sıkıştırılmıştır.



Şekil 2.3. YADA Sisteminin görünüşü

Yamula havzasını temsil eden Boyacı köyünden alınan atıksu gün aşırı periyotlarda, peristaltik pompa ile 1.1cm/gün'lük bir yükleme ile 10 saatte yaklaşık 4 L. verilmiş ve akabinde sistem 18 saatlik bir dinlenme periyoduna alınmıştır.

2.4. YADA ile Ham ve Arıtılmış Atıksuyun Karakterizasyonu

YADA sisteminde giriş ve çıkış atıksu değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. YADA ile ham ve arıtılmış atıksu karakterizasyonu

Parametre	Giriş Değerleri*	Çıkış Değerleri**
KOİ (mg/L)	800	25
BOİ ₅ (mg/L)	300	2.5
TN (mg/L)	72	25
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	29.8	1.8
TP (mg/L)	7±1	2
AKM (mg/L)	398	3±1
pH	7.7 ± 0.2	7.3 ± 0.2

* 2.5 aylık analizler sonucunda elde edilen ortalama giriş değerleri

** 2.5 aylık analizler sonucunda elde edilen ortalama çıkış değerleri

Sistemde çıkışta % 97 oranında KOI verimi elde edilirken modelde kullanacağımız çıkıştaki PO₄-P verimi % 70 oranında bulunmaktadır.

2.5. İki Sistemde Atıksuyun Arıtılması Sonucu Elde Edilen Verilere YSA Uygulanması

SMBR sisteminde atıksudan alınan numuneler 96 gün boyunca analiz edilmiş ve sistemin havalandırma pH, AKM, UAKM, ÇKM, ÇHI ve çıkış KOI parametreleri ölçülmüştür. YADA sisteminde ise çıkış atıksuyunda TN, TP, NH₄-N, KOI ve BOI₅ ve giriş atıksuyundaki PO₄-P parametreleri 68 gün boyunca analiz edilmiştir. Elde edilen veriler ilk önce çoklu doğrusal regresyon metoduna tabi tutulmuş ve aralarındaki korelasyon sabitleri değerlendirilmiştir. Daha sonra ise Levenberg-Marquardt (LM) modeli YSA yapısı kullanılarak 5 farklı giriş için 3 ayrı kombinezon oluşturulmuş ve en küçük hata değerine sahip modeller bulunmuştur. Her iki sistem içinde oluşturulan kombinezonlar aşağıda Tablo 2.3 ve 2.4’ de verilmiştir.

Tablo 2.3. SMBR Sistemi Oluşturulan Kombinezonlar ve Modellerde Kullanılan Değişkenler

Kombinezonlar	Giriş değişkenleri	Çıkış değişkeni
Kombinezon 1 (3 GİRİŞ)	AKM, UAKM, ÇKM	KOI
Kombinezon 2 (4 GİRİŞ)	pH, AKM, UAKM ve ÇKM	KOI
Kombinezon 3 (5 GİRİŞ)	pH, AKM, UAKM, ÇHI ve ÇKM	KOI

Tablo 2.4. YADA Sistemi Oluşturulan Kombinezonlar ve Modellerde Kullanılan Değişkenler

Kombinezonlar	Giriş değişkenleri	Çıkış değişkeni
Kombinezon 1 (3 GİRİŞ)	TN, TP ve NH ₄ -N	PO ₄ -P
Kombinezon 2 (4 GİRİŞ)	TN, TP, NH ₄ -N ve BOI ₅	PO ₄ -P
Kombinezon 3 (5 GİRİŞ)	TN, TP, NH ₄ -N, KOI ve BOI ₅	PO ₄ -P

3. BULGULAR

3.1. SMBR Sisteminde Kullanılan Kombinezonlar ve Hata Değerleri

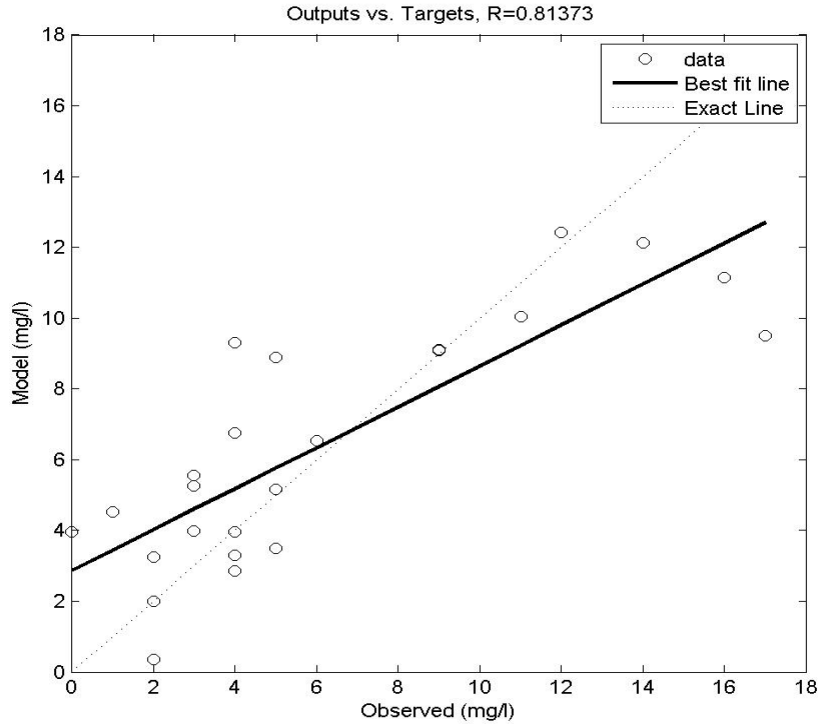
3.1.1. 3 Girişli Kombinezon

3 Girişli kombinezonda sistemde giriş olarak havalandırma havuzu AKM, UAKM ve ÇKM değerleri çıkış olarak ise KOI miktarı kullanılmıştır. 3 Girişli sistemin hata değerleri ve R^2 değerleri Tablo 3.1’ de verilmiştir.

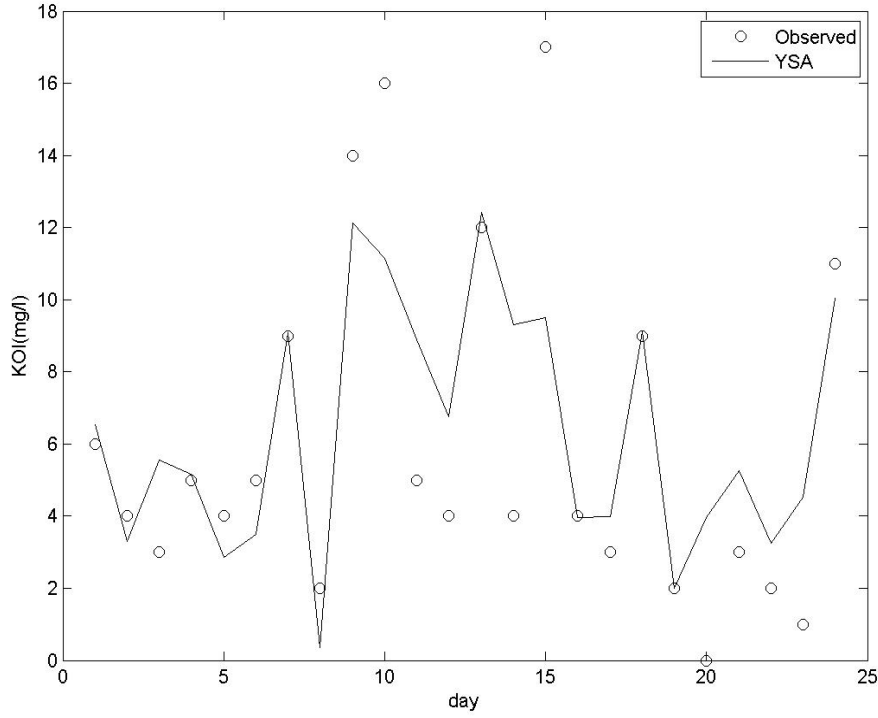
Tablo 3.1. SMBR sistemi 3 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitime, test ve değerlendirme aşaması hataları

Çeşit	Ara tabaka	Epoch Sayısı	Eğitime aşaması			Test aşaması			Değerlendirme aşaması		
			KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2
Tansig	11	100	2.36	1.71	0.68	0.56	1.99	0.66	0.55	1.89	0.65

Tablo 3.1’ de gösterildiği gibi test aşaması karekök ortalama karesel hatası (KOKH) 0.56 ve ortalama mutlak göreceli hatası (OMGH) 1.99 olarak bulunmuştur. Ayrıca 3 Girişli kombinezondan elde edilen test aşamasına ait saçılma ve yayılım grafikleri Şekil 3.1 ve 3.2’ de verilmiştir.



Şekil 3.1. SMBR sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı



Şekil 3.2. SMBR sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı

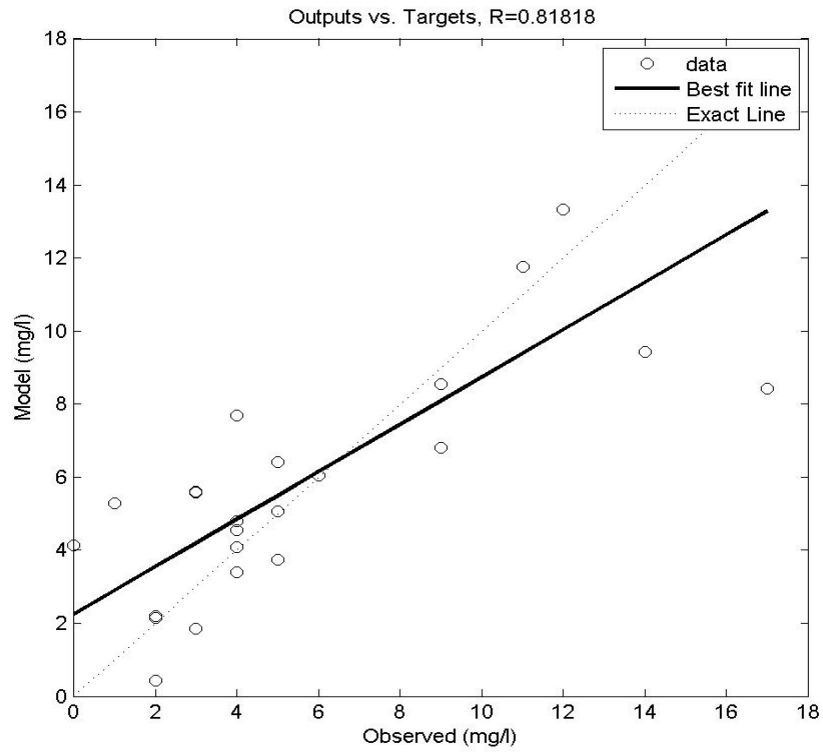
3.1.2. 4 Girişli Kombinezon

4 Girişli kombinezonda sistemde 3 girişe ek olarak havalandırma havuzu pH konsantrasyonu eklenmiş ve hata değerlerine etkisi gözlenmiştir. 4 Girişli sistemin hata değerleri ve R^2 değerleri Tablo 3.2’ de verilmiştir.

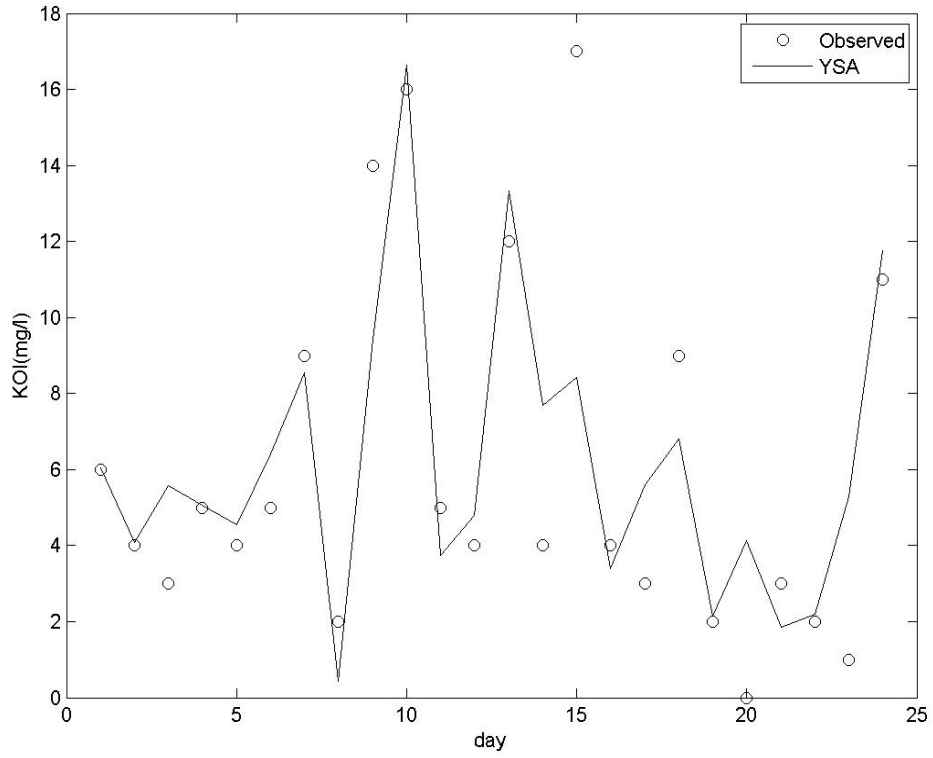
Tablo 3.2. SMBR sistemi 4 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları

Çeşit	Ara tabaka	Epoch Sayısı	Eğitme aşaması			Test aşaması			Değerlendirme aşaması		
			KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2
Tansig	13	100	2.30	1.59	0.69	0.55	1.82	0.67	0.58	2.05	0.61

Tablo 3.2’ de gösterildiği gibi test aşaması karekök ortalama karesel hatası (KOKH) 0.55 ve ortalama mutlak göreceli hatası (OMGH) 1.82 olarak bulunmuştur. Ayrıca 4 Girişli kombinezondan elde edilen test aşamasına ait saçılma ve yayılım grafikleri Şekil 3.3 ve 3.4’ de verilmiştir.



Şekil 3.3. SMBR sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı



Şekil 3.4. SMBR sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı

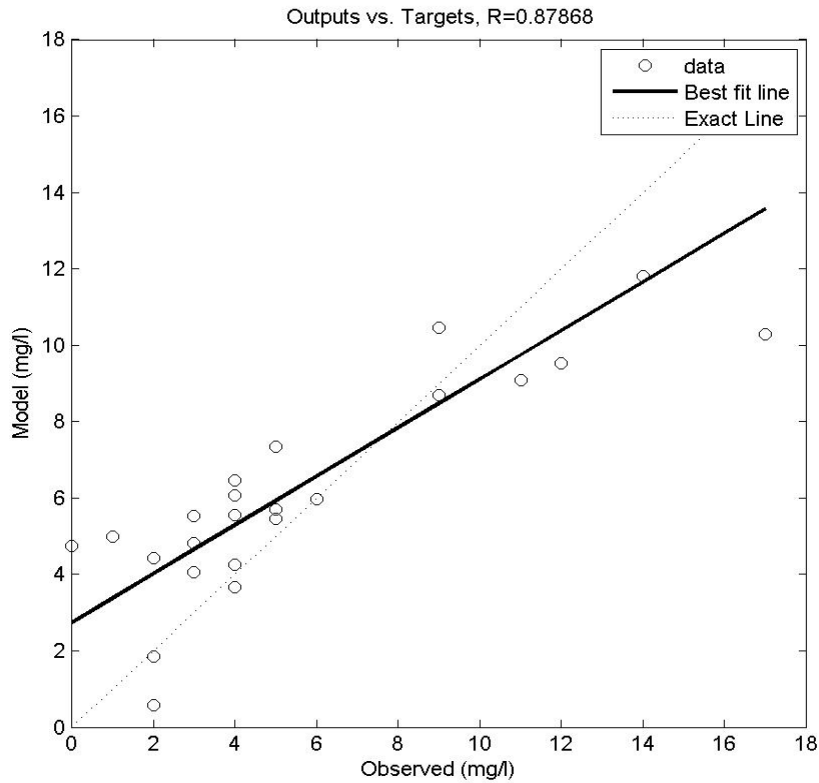
3.1.3. 5 Girişli Kombinezon

5 Girişli kombinezonda 4 girişe ek olarak ise havalandırma havuzu ÇHI parametresinin değişimi gözlenmiştir. 5 Girişli sistemin hata değerleri ve R^2 değerleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

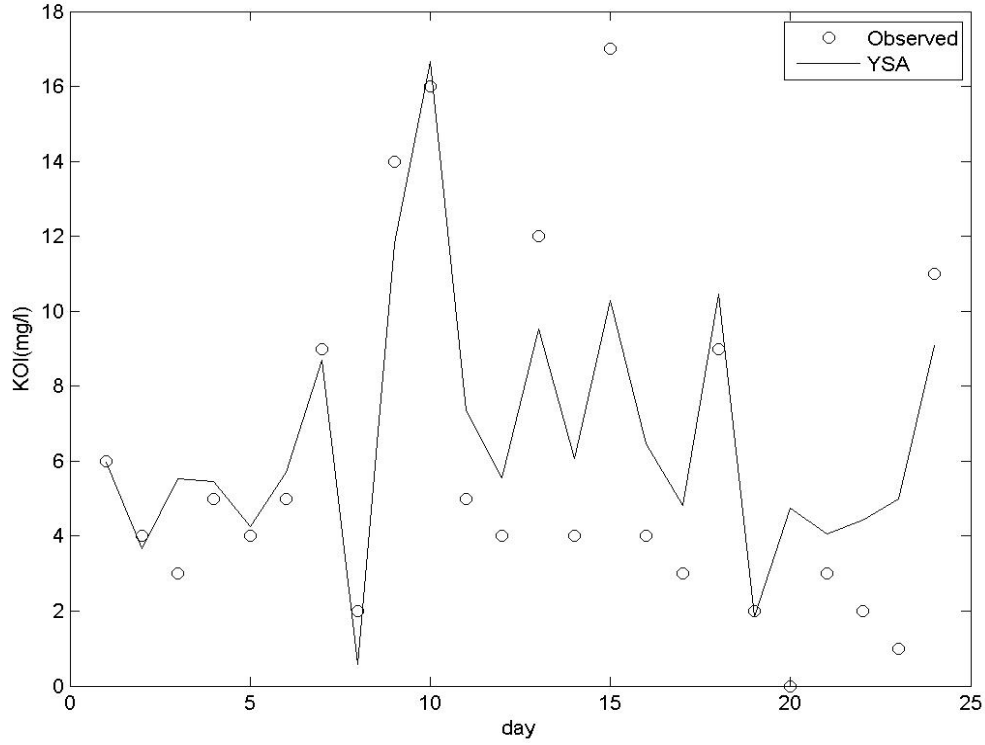
Tablo 3.3. SMBR sistemi 5 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları

Çeşit	Ara tabaka	Epoch Sayısı	Eğitme aşaması			Test aşaması			Değerlendirme aşaması		
			KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2
Tansig	13	100	1.98	1.49	0.77	0.49	1.83	0.77	0.49	1.88	0.73

Tablo 3.3' de gösterildiği gibi test aşaması karekök ortalama karesel hatası (KOKH) 0.49 ve ortalama mutlak göreceli hatası (OMGH) 1.83 olarak bulunmuştur. 5 Girişli kombinezondan elde edilen test aşamasına ait saçılma ve yayılım grafikleri Şekil 3.5 ve 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.5. SMBR sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı



Şekil 3.6. SMBR sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı

3.2. YADA Sisteminde Kullanılan Kombinezonlar ve Hata Değerleri

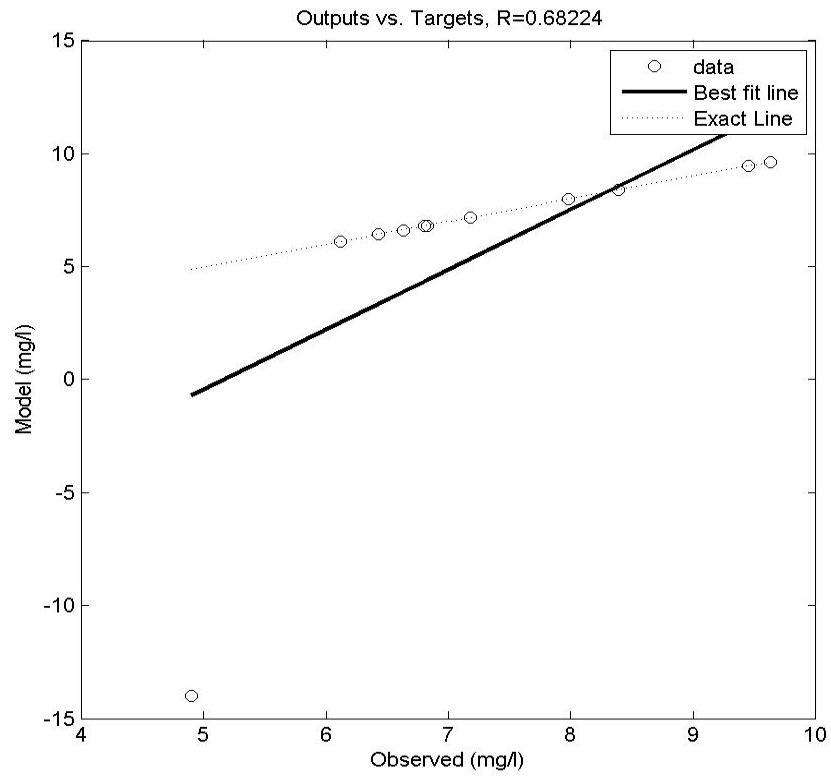
3.2.1. 3 Girişli Kombinezon

3 Girişli kombinezonda sistemde giriş olarak çıkış atıksuyu TN, TP ve $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri çıkış olarak ise giriş atıksuyu $\text{PO}_4\text{-P}$ parametresi kullanılmıştır. 3 Girişli sistemin hata değerleri ve R^2 değerleri Tablo 3.4’ de verilmiştir.

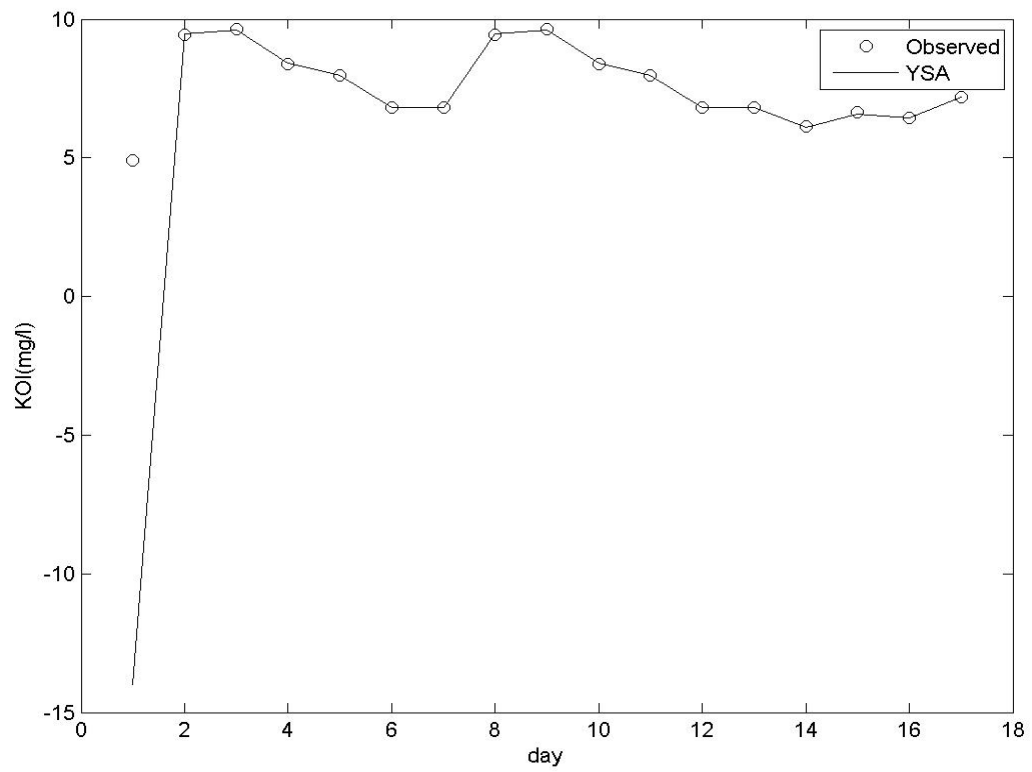
Tablo 3.4. YADA sistemi 3 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitime, test ve değerlendirme aşaması hataları

Çeşit	Ara tabaka	Epoch Sayısı	Eğitime aşaması			Test aşaması			Değerlendirme aşaması		
			KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2
Tansig	11	100	0.087	1.29	0.98	1.11	22.8	0.46	0.01	1.20	0.97

Tablo 3.4’ de gösterildiği gibi test aşaması karekök ortalama karesel hatası (KOKH) 0.008 ve ortalama mutlak göreceli hatası (OMGH) 0.45 olarak bulunmuştur. Ayrıca 3 Girişli kombinezondan elde edilen test aşamasına ait saçılma ve yayılım grafikleri Şekil 3.7 ve 3.8’ de verilmiştir.



Şekil 3.7. YADA sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı



Şekil 3.8. YADA sistemi 3 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı

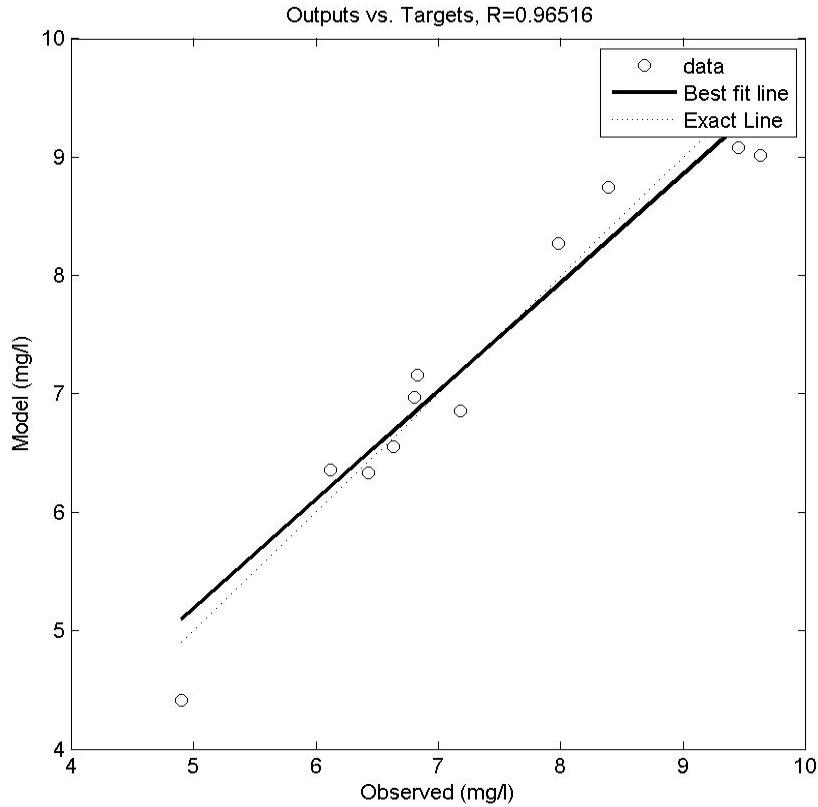
3.2.2. 4 Girişli Kombinezon

4 Girişli kombinezonda sistemde 3 girişe ek olarak giriş atıksu BOI_5 konsantrasyonu eklenmiş ve hata değerlerine etkisi gözlenmiştir. 4 Girişli sistemin hata değerleri ve R^2 değerleri Tablo 3.5’ de verilmiştir.

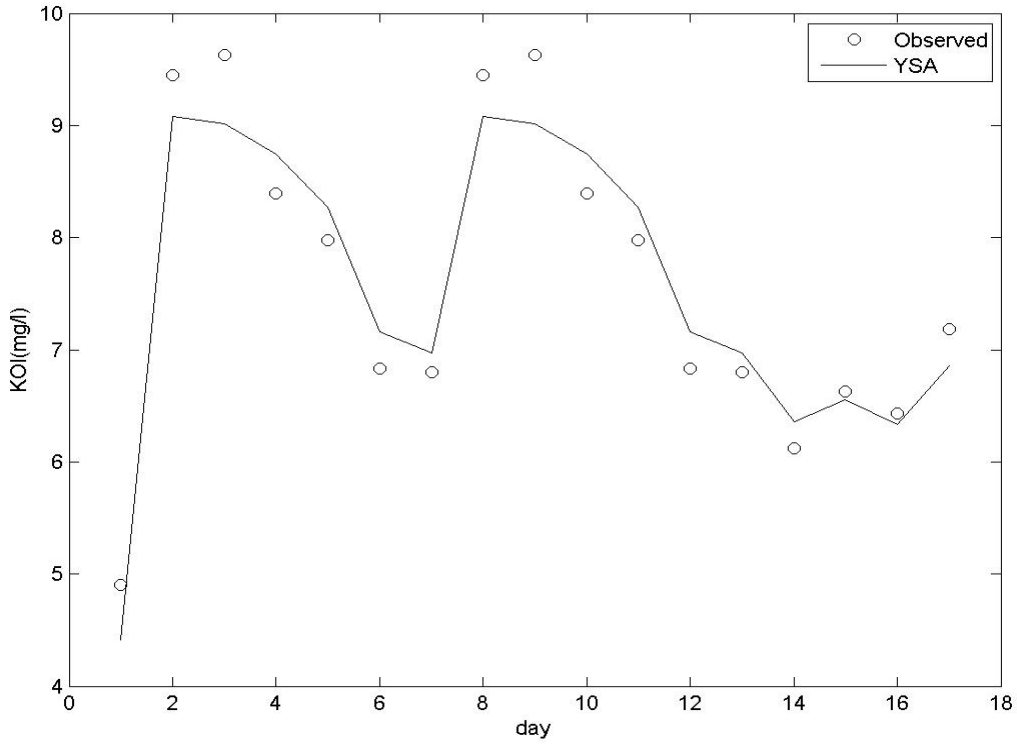
Tablo 3.5. YADA sistemi 4 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitime, test ve değerlendirme aşaması hataları

Çeşit	Ara tabaka	Epoch Sayısı	Eğitime aşaması			Test aşaması			Değerlendirme aşaması		
			KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2
Tansig	11	100	0.53	11.6	0.93	0.08	4.24	0.93	0.06	5.20	0.97

Tablo 3.5’ de gösterildiği gibi test aşaması karekök ortalama karesel hatası (KOKH) 0.08 ve ortalama mutlak göreceli hatası (OMGH) 4.24 olarak bulunmuştur. Ayrıca 4 Girişli kombinezondan elde edilen test aşamasına ait saçılma ve yayılım grafikleri Şekil 3.9 ve 3.10’ da verilmiştir.



Şekil 3.9. YADA sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı



Şekil 3.10. YADA sistemi 4 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı

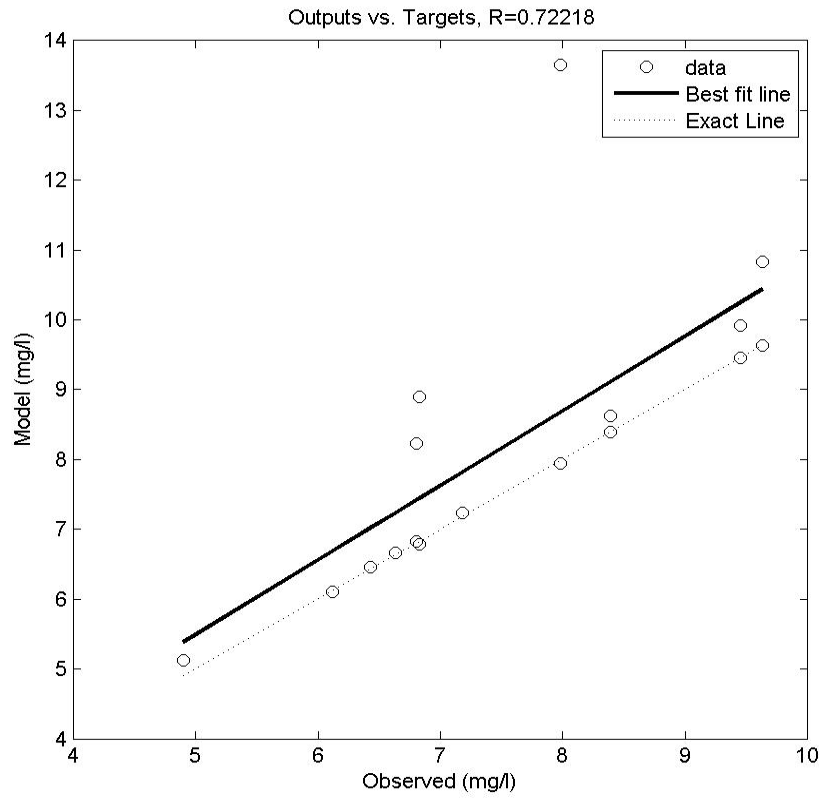
3.2.3. 5 Girişli Kombinezon

5 Girişli kombinezonda 4 giriş ek olarak ise sisteme beslenen atıksu KOI parametresinin değişimi gözlenmiştir. 5 Girişli sistemin hata değerleri ve R^2 değerleri Tablo 3.6' da verilmiştir.

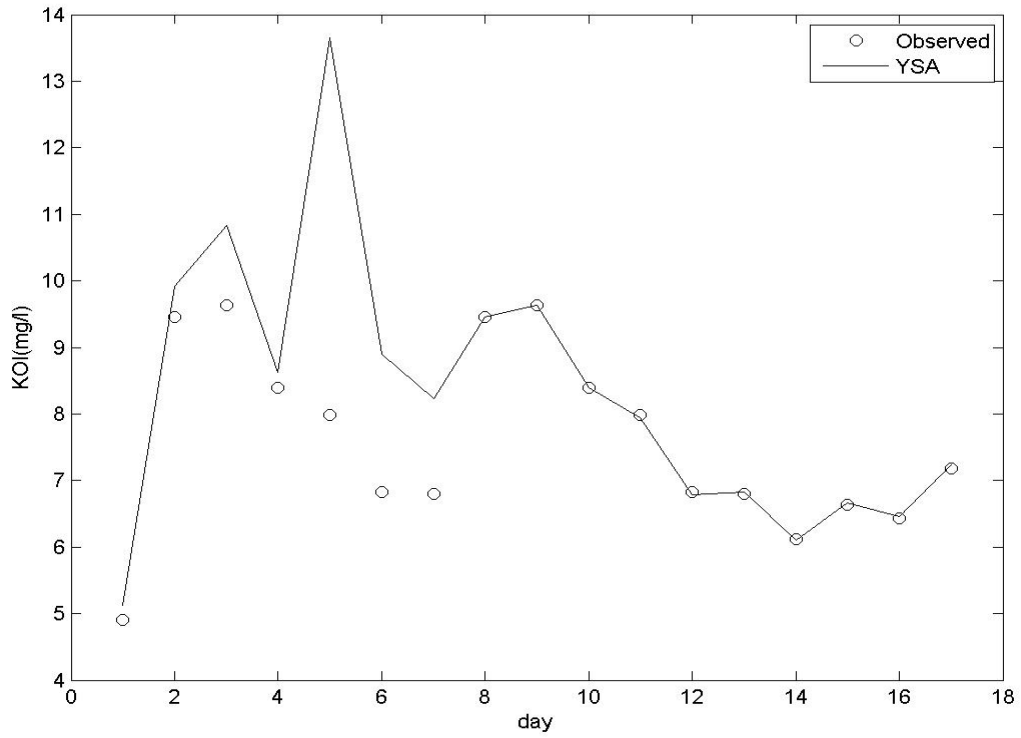
Tablo 3.6. YADA sistemi 5 Girişli Levenberg-Marquardt (LM) modelinin eğitme, test ve değerlendirme aşaması hataları

Çeşit	Ara tabaka	Epoch Sayısı	Eğitme aşaması			Test aşaması			Değerlendirme aşaması		
			KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R^2
Tansig	13	100	0.34	6.47	0.97	0.37	8.87	0.52	0.05	3.77	0.98

Tablo 3.6' da gösterildiği gibi test aşaması karekök ortalama karesel hatası (KOKH) 0.37 ve ortalama mutlak göreceli hatası (OMGH) 8.87 olarak bulunmuştur. 5 Girişli kombinezondan elde edilen test aşamasına ait saçılma ve yayılım grafikleri Şekil 3.11 ve 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3.11. YADA sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması saçılma diagramı



Şekil 3.12. YADA sistemi 5 Girişli Kombinezon test aşaması yayılma diagramı

3.3. İki Sistem İçin Çoklu Doğrusal Regresyon Metodu Kullanılarak Modelleme

Her iki arıtma sistemi içinde elde edilen veriler 3 kombinezon halinde YSA ile karşılaştırmak için kullanılmak üzere Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) metodu uygulanmıştır. SMBR sistemi için uygulanan ÇDR metodundan elde edilen hatalar Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. SMBR sistemi ÇDR metodu değerlendirme aşaması hatalar

Kombinezon	Model	KOKH (mg/l)	R ²
1	ÇDR (3 GİRİŞ)	4.54	0.20
2	ÇDR (4 GİRİŞ)	4.51	0.24
3	ÇDR (5 GİRİŞ)	4.46	0.27

Görüldüğü üzere ÇDR metodu ile SMBR verileri 5 giriş için KOKH değeri 4.46 mg/l ve R² değeri ise 0.27 bulunmuştur. Sistemin OMGH hata değerleri çok yüksek olduğu için tabloda gösterilmemiştir. ÇDR metodunun hataları yüksek olduğundan dolayı YSA metodunun SMBR için uygun metod olduğu görülmektedir. Tablo 3.8’ de YADA sistemi için ÇDR metodu hataları verilmiştir.

Tablo 3.8. YADA sistemi ÇDR metodu değerlendirme aşaması hatalar

Kombinezon	Model	KOKH (mg/l)	OMGH (%)	R ²
1	ÇDR (3 GİRİŞ)	1.27	25.4	0.76
2	ÇDR (4 GİRİŞ)	0.76	16.4	0.87
3	ÇDR (5 GİRİŞ)	0.74	16.5	0.88

YADA sistemine bakıldığı zaman yine ÇDR metodu hataları 5 giriş için KOKH değeri 0.74 mg/l, OMGH değeri % 16.5 ve R² ise 0.88 bulunduğu görülmektedir. Bu değerler YSA ile karşılaştırıldığı zaman 4 girişli YSA modelinin hataları ve R² değeri bakımından YADA sistemi için en iyi kombinezon olduğu görülmüştür.

3.4. İki Sistem İçin Bulunan En İyi Model ve Hataları

İlk olarak SMBR sisteminde 3 kombinezon için test aşaması hata değerleri arasında KOKH değeri 0.49 mg/l, OMGH değeri %1.83 ve R² değeri 0.77 olan 5 girişli Levenberg-Marquardt (LM) YSA modelinin en uygun model olduğu bulunmuştur. YADA sisteminde ise 5 girişli ÇDR metodu ile 4 girişli Levenberg-Marquardt (LM) YSA metodu arasından hata değerleri KOKH 0.08 mg/L, OMGH %4.24 ve R² si 0.93 olan 4 girişli YSA metodunun en uygun model olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ

Yapılan çalışma neticesinde Kayseri Yamula Havzası içerisinde bulunan küçük yerleşim yerlerinden alınan atıksuların SMBR ve YADA’da elde edilen analiz sonuçları göz önünde bulundurularak çıkış KOİ ve PO₄-P tahminine dayalı yapay sinir ağları modelleri oluşturulmuştur. Model aşamasında SMBR reaktörün biyolojik arıtma ünitesinden alınan pH, AKM, ÇKM, ÇHİ, UAKM parametreler giriş olarak kullanılmış ve çıkış KOİ değeri tahmini yoluna gidilmiştir. YADA için ise çıkış atıksuyu TN, TP, NH₄-N, KOI ve BOI₅ parametreleri giriş olarak kullanılıp giriş atıksuyunda hangi konsantrasyonda PO₄-P besleneceğini bulmak için giriş atıksuyunda PO₄-P tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak her iki sistem için en uygun kombinezonlar incelendiği zaman SMBR’ da giriş için kullanılan tüm parametrelerin çıkış KOI tahmininde etkili olduğu görülmüştür. SMBR sisteminde 5 girişli Levenberg-Marquardt (LM) modeli; KOKH =0.49 mg/l, OMGH = %1.83 ve R² = 0.77 sonuçları ile en iyi kombinezon olarak belirlenmiştir. YADA sistemi için oluşturulan modelde çıkış KOİ parametresinin giriş atıksuyunda tahmin edilen PO₄-P parametresi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. YADA sisteminde KOKH = 0.08 mg/L, OMGH = %4.24 ve R² si 0.93 olan 4 girişli YSA modelinin uygulandığı kombinezon en iyi sonucu vermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Uygur A., Kargı F., Başkaya S. H. 2003 “Ardışık Kesikli Reaktör ile Nutrient Gideriminde Farklı Karbon Kaynaklarının Etkileri” DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 5, Sayı, 1, sf. 9-16, İzmir.
- [2] M. T. Şahin, İ. Vergili, Y. Kaya, Z. B. Gönder, H. Barlas, Türkiye’deki Membran Biyoreaktör (Mbr) Uygulamalarının İncelenmesi, MEMTEK, 2009, 167-169.
- [3] Çetin E., Yılmaz G., Temizsoy A., 2005 “Evsel Atıksulardan Ardışık Kesikli Reaktörlerde Nutrient Giderimi” II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK, İstanbul.
- [4] Lee J. K., Choi C. K., Lee K.H., Yim S. B. ,2008 Mass balance of nitrogen, and estimates of COD, nitrogen and phosphorus used in microbial synthesis as a function of sludge retention time in a sequencing batch reactor system, Bioresource Technology, doi:10.1016/j.biortech.2008.01.057.
- [5] Uygur A., Kargı F., Başkaya S. H. 2004, Ardışık Zamanlı Kesikli Biyoreaktörde Nutrient Giderme Performansına Çamur Yaşının Etkileri, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, Bursa.
- [6] Akın B. S., Uğurlu A., The Effect of an Anoxic Zone on Biological Phosphorus Removal by a Sequencing Batch Reactor, Bioresource Technology 94 (2004) 1–7.
- [7] Metcalf ve Eddy, Inc. (1991), Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, N.Y.
- [8] Council Directive of 8 December 1975 Concerning the Quality of Bathing Water, Official J. Eur. Commun., L31 (1976).
- [9] Council Directive of 21 May 1991 Concerning Urban Waste Water Treatment, Official J. Eur. Commun., L135 (1991).
- [10] Membrane bioreactor From Wikipedia, the free encyclopedia (Redirected from Membrane bio reactor)
- [11] M. Mayhew, T. Stephenson, Environ. Technol. 18 (1997) 883.
- [12] Muslu, Y. (1996), “Atıksuların Arıtılması”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [13] Seidel, K., Macrophytes as Functional Elements in the Environment of Man, Hidrobiologia (Bucharest) 12, 121-130, 1971.
- [14] Hagendorf, U., Hahn, J., Untersuchungen zur umwelt und seuchenhygienischen Bewertung naturnaher Abwasserbehandlungsanlagen systeme UBA-Texte 60/94, Berlin, 1994.

- [15] Smith, R.G., and Schroeder, E.D. (1985) “Field studies of the overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater, J. Water Pollution Control Fedn., 57(7), 785-794.
- [16] Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, 2004, Kayseri.
- [17] Özkan, O., 2010, Neural Network Forecast for Daily Average PM10 Concentrations, Asian Journal of Chemistry, Vol. 22, No. 1, pp. 582-588.
- [18] Özkan, O., Kızılırmak Nehrinde Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006, Ocak, İstanbul.
- [19] Özkan, O., Özdemir, Ö. and Azgın, Ş.T., 2009, Prediction of Biochemical Oxygen Demand in a Wastewater Treatment Plant by Artificial Neural Networks, Asian Journal of Chemistry, Vol. 21, No.6, pp. 4821-4830.