

161626



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YUKARI AKIŞLI HAVASIZ ÇAMUR YATAĞI
REAKTÖRLERİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI
İLE MODEL YAKLAŞIMI

Cafer İsmail ATA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof.Dr. Mehmet KARPUZCU

161626

GEBZE

2005



Cafer İsmail ATA'nın tez çalışması G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24/01/2005 tarih ve 2004/4 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(Tez Danışmanı)

: Prof.Dr. Mehmet KARPUZCU

ÜYE

: Prof.Dr.Lütfi AKÇA

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr. Ebubekir YÜKSEL

ÜYE

: Doç. Dr. Natali DİMOGLU

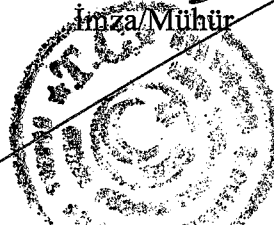
ÜYE

: Yrd.Doç.Dr. Güleda ENGİN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..02..06..2005..... tarih ve ..2005/19..... sayılı kararı.

İmza/Mühür





ÖZET

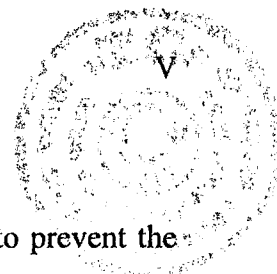
Çevre mühendisliğinde bir problemi çözmekten ziyade problemin oluşumunu engellemek önem kazanmıştır. Arıtma tesislerinde işletmede karşılaşılabilecek problemler için muhtemel senaryolar çıkarmak ve her senaryo için çözümler üretmek kuşkusuz tesisin daha verimli ve daha ekonomik çalışmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada anaerobik arıtmanın askıda gelişen sistemlerinden havasız çamur yatağı reaktörleri için yapay sinir ağları ile bir model yaklaşımı yapılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında anaerobik arıtma ve yapay sinir ağları hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Anaerobik arıtma mekanizması, ayrışma kinetiği ve arıtma sistemlerinden bahsedilmiştir. Çalışmanın esas konusu olan, anaerobik arıtma sistemlerinden yukarı akışlı havasız çamur yatağı prosesi izah edilmiş ve bu prosesin avantaj-dezavantajları verilmiştir. Literatür araştırmasının ikinci kısmında pilot ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yatağı sistemi için model yaklaşımında kullanılan yapay sinir ağları tarihçesi, çeşitleri ve bu güne kadar yapılmış bazı uygulamaları verilmiştir. Model yaklaşımında kullanılan Qnet 2000 programı hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise T.M.O. Afyon Alkoloidleri Fabrikası atıksu arıtma tesisi için mevcut aerobik arıtma tesisi yerine önerilen ve pilot ölçekte kurulan yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörü KOİ, alkalinite, pH ve sıcaklık verileri kullanılarak yapay sinir ağları ile bir model yaklaşımı yapılmıştır. Birden fazla ağ dizaynı yapılmasına rağmen çalışmada bunlardan sadece dört, beş ve altı tabakalı üç sinir ağı dizaynı gösterilmiştir. Bu ağ dizaynları sırası ile deneme 1, deneme 2 ve deneme 3 olarak isimlendirilmiştir. Hata en az ve korelasyon en yüksek olduğundan dolayı deneme 2'nin en iyi ağ dizaynı olduğu görülmüştür. Deneme 2'de dizayn edilen ağ, farklı pH ve sıcaklık verileri ile test edilmiş ve çıkış KOİ ve alkalinite değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda; temsil edici verilerin kullanılması halinde ve sinir ağı eğitim aşamasında kullanılan veri sayısının fazla olması durumunda yapay sinir ağlarının yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörlerinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

SUMMARY



In the field of Environmental Engineering, it is more important to prevent the occurrence of a problem than to solve it. In this manner, it is obvious that building up scenarios for possible problems, which could be faced within the operation of treatment plants and finding solutions for each of them will make the plants work more efficiently and economically. In this study, a model approach was developed for upflow anaerobic sludge blanket reactors by using artificial neural networks.

In the first part of the study, literature review was given for both anaerobic treatment systems and artificial neural networks. For this purpose, the mechanism of anaerobic treatment, the kinetics of decomposition of organic matter and types of several anaerobic treatment systems were explained primarily. Following this section, details of upflow anaerobic sludge blanket process and its advantages and disadvantages were stated. In the second part of the literature review, history and types of artificial neural networks used for the development of the model approach for pilot scale upflow anaerobic sludge blanket reactors and some of their recent applications were given. What is more, general information for the program package, Qnet 2000, which was used for modeling purposes in the study, was also added to this section.

In the second part of the study, a model approach was developed by using COD, alkalinity, pH and temperature data taken from pilot scale upflow anaerobic sludge blanket reactor of "T.M.O. Afyon Alkoloidleri Fabrikası" by using artificial neural networks. Although many neural networks were designed, only three of them having four, five and six layers were shown in the study. These designs were named as trial 1, trial 2 and trial 3 respectively. Since trial 2 resulted in minimum error and maximum correlation, it was selected as the best design. From this point on trial 2 was tested for different pH and temperature values and effluent COD and alkalinity values were calculated for the neural network.

In summary, it was concluded that artificial neural networks could be used for modeling pilot scale upflow anaerobic sludge blanket reactors in case where representative data was obtained and the number of data at the training stage of the neural network was enough.



TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bilgilerini ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU'ya; çalışmam süresince görüşleriyle yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Güleda ENGİN'e; desteği ve yardımlarından ötürü Araş. Gör. İbrahim DEMİR, Araş. Gör. Ali Fuat AYDIN ve Araş. Gör. Mahmut ALTINBAŞ'a; çalışmam süresince destekleriyle hep yanımda olan değerli arkadaşlarım Tahir KAFADAR ve Nureddin KAPLANER'e ve her anımda yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

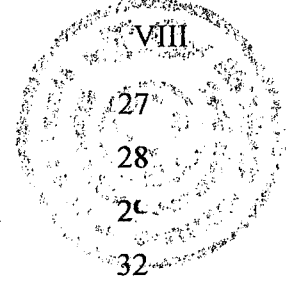
Cafer İsmail ATA





İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1. Anaerobik Arıtma	2
2.1.1. Anaerobik Arıtma Mekanizması	2
2.1.1.1. Hidroliz Fazı	3
2.1.1.2. Asit Üretim Fazı (Acidogenesis)	3
2.1.1.3. Asetat Üretim Fazı (Acetogenesis)	3
2.1.1.4. Metan Üretim Fazı	4
2.1.2. Anaerobik Ayrışmanın Kinetiği	6
2.1.3. Anaerobik Arıtma Sistemleri	8
2.1.3.1. Biyofilm Sistemler	8
2.1.3.2. Askıda Gelişen Sistemler	10
2.1.3.3. Hibrit Sistemler	14
2.1.3.4. Sistemlerin Karşılaştırılması	15
2.1.3.5. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı Prosesi	17
2.1.3.5. Havasız Çamur Yatağı Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları	19
2.2. Yapay Sinir Ağları	20
2.2.1. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)	22
2.2.2. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	23
2.2.2.1. Transfer Fonksiyonları	25
2.2.3. Yapay Sinir Ağı Uygulamaları	26



2.2.4. Qnet 2000 Yapay Sinir Ağı Programı	
2.2.4.1. Ağ Dizaynı	
2.2.4.2. Qnet 2000 Yapay Sinir Ağı Programı Algoritması	
3. PİLOT TESİS VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODEL YAKLAŞIMI	32
3.1. Pilot Tesis	32
3.2. Çalışmanın Yapay Sinir Ağı Dizaynı	33
3.2.1. Deneme 1	36
3.2.2. Deneme 2	37
3.2.3. Deneme 3	39
3.3. Seçilen Ağın Test Edilmesi ve Muhtemel Senaryolar	41
3.3.1 Seçilen Ağın Test Edilmesi	41
3.3.2 Muhtemel Senaryolar	44
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	48
4.1. Çalışma Sonuçları ve Değerlendirmesi	48
4.2. Genel Sonuçlar ve Değerlendirmesi	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

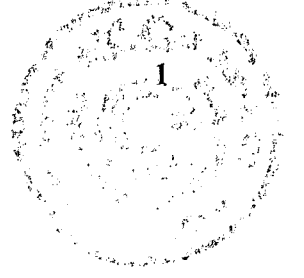
2.1. Kompleks yapıdaki partikül moleküllerin anaerobik ayrışma safhaları.	5
2.2. Biyofilm sistemler	9
2.3. Askıda gelişen anaerobik arıtma sistemleri	11
2.4. Hibrit sistemler.	14
2.5. Reaktörün alt kısmından pompalama yapılarak beslenen yukarı akışlı bir havasız çamur yatağının tipik görünümü	18
2.6. Geri Beslemeli 2 katmanlı yapay sinir ağı.	22
2.7. Geri yayımlı yapay sinir ağının genel yapısı	23
2.8. Düğüm noktasının işleyişi.	25
2.9. Geri yayımlı yapay sinir ağlarında kullanılan transfer fonksiyonları	26
2.10. Qnet 2000 programında genel ağ görünümü	28
2.11. Ağ Dizayn menüsü (Network Design)	28
2.12. Qnet 2000 programında kullanılan transfer fonksiyonları	29
3.1. Pilot tesisin şematik görünümü	32
3.2. Birinci deneme yapay sinir ağı dizaynı	36
3.3. Birinci deneme alkalinite (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği	36
3.4. Birinci deneme KOİ (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği	37
3.5. İkinci deneme yapay sinir ağı dizaynı	37
3.6. İkinci deneme alkalinite (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği	38
3.7. İkinci deneme KOİ (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği	38
3.8. Üçüncü deneme yapay sinir ağı dizaynı	39
3.9. Üçüncü deneme alkalinite (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği	39
3.10. Üçüncü deneme KOİ (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği	40
3.11. Test verileri yapay sinir ağı (a) alkalinite ve (b) KOİ çıkışları	42
3.12. Test verileri (a) alkalinite ve (b) KOİ hata grafikleri	43
3.13. Değiştirilmiş pH değerleri için yapay sinir ağı (a) alkalinite ve (b) KOİ çıkışları.	45
3.14. Değiştirilmiş sıcaklık değerleri için yapay sinir ağı (a) alkalinite ve (b) KOİ çıkışları	47

TABLÖLAR DİZİNİ



Tablo

2.1. Çeşitli anaerobik reaktör tipleri için organik yükleme hızları ve KOİ giderimi.	15
2.2. Yaygın olarak kullanılan havasız arıtma sistemlerinin karşılaştırılması	15
2.3. HÇYR, HF ve HAYR sistemlerinin başlıca işletme sorunları	16
2.4. Çevre Mühendisliği'ndeki Yapay sinir ağı uygulamalarından bazıları.	26
3.1. Ağ dizayn deneme bilgileri	33
3.2. Dizayn edilen ağlarda kullanılan KOİ, pH, sıcaklık ve alkalinite değerleri	33
3.3. Yapay sinir ağı dizayn denemelerinin maksimum hata ve korelasyonları	40
3.4. Test verileri.	41
3.5. Gerçek çıkış değerleri ile sinir ağından elde edilen çıkış değerleri arasında oluşan hata değerleri	43
3.6. Giriş pH parametresinin değiştirilmiş değerleri	44
3.7. Giriş sıcaklık parametresinin değiştirilmiş değerleri	46



1. GİRİŞ

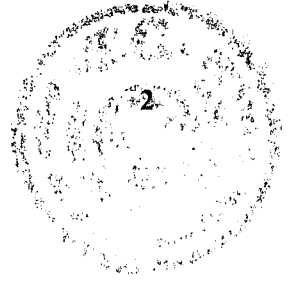
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Çevre mühendisliğinde bir problemi çözmekten daha ziyade problemin oluşumunu engellemek önem kazanmıştır. Bu açıdan yaklaşarak arıtma tesislerinde işletme sırasında karşılaşılabilecek problemler için muhtemel senaryolar çıkarmak ve her senaryo için çözümler üretmek kuşkusuz tesisin daha verimli ve daha ekonomik çalışmasını sağlayacaktır. Olası problemler için senaryolar üretmek için çeşitli yöntemlerle model çalışmaları yapılmaktadır.

Yüksek organik kirliliğe sahip endüstriyel atıksu arıtımında arıtma sonrası artık oluşumunun az olması ve oluşan biyogaz ile enerji üretimine imkan sağlamasından dolayı anaerobik arıtma sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Anaerobik sistemlerin önemli dezavantajı ise işletmenin hassasiyet gerektirmesidir.

Anaerobik arıtmanın, atıksuyun reaktördeki hareketi, arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların reaktörde bulunuş şekilleri gibi kriterlere göre çeşitli tiplerde uygulamaları vardır. En yaygın kullanılan anaerobik arıtma sistemi olan yukarı akışlı çamur yatağı sistemi bu çalışmada ele alınmış ve pilot ölçekte kurulan sistemden elde edilen fazla sayıda veri yardımıyla bir model kurulmuştur.

Model çalışmasında Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının çalışma mantığı, insan sinir sistemine benzer şekilde geçmiş verilerden bir bilgi birikimi edinerek benzer durumlar için bir genelleme yapmak ve bu genelleme sayesinde eksik verilerin olduğu daha karmaşık durumlar için sonuç üretmektir. Bu tez çalışmasında yapay sinir ağı oluşturmak için Qnet 2000 Build 721 yazılımı kullanılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Anaerobik Arıtma

Anaerobik prosesler, yiyecek ve içecek üretiminde uzun yıllardan beri kullanılan biyolojik proseslerdendir. Her ne kadar bu prosesler yıllardan beri kullanıla gelse de bu alandaki esas gelişme yaklaşık son 20 yıl içerisinde yüksek hızlı arıtma proseslerinin geliştirilmesi ile kaydedilmiştir. Bu gelişime bağlı olarak anaerobik arıtma prosesleri bilhassa endüstriyel atıksuların arıtımında sıkça kullanılmaya başlanmıştır.

Yüksek organik yükleme yapılabilmesi ve çamur üretiminin az olması; anaerobik arıtma proseslerini diğer biyolojik arıtma proseslerinden ayıran önemli avantajlardandır. Fakat anaerobik proseslerin esas tercih sebebi oluşan biogazla enerji üretimine imkan sağlamasıdır. Bu da fosil yakıtların kullanımında azalmaya neden olmakla; fosil yakıt kullanımı sonucunda oluşan ve küresel ısınmaya neden olan kirletici gazların atmosferdeki miktarlarında bir nebze azalmaya sebep olmuştur.

2.1.1. Anaerobik Arıtma Mekanizması

Bir anaerobik atıksu arıtma sisteminde bakteri popülasyonu, eğer uygun şartlar sağlanırsa hidrolik ve organik yüklemeye bağlı olarak gelişmektedir. Biyolojik olarak ayrışabilen maddelerin giderim verimini etkileyen faktörlerin önemli olanları şunlardır :

- Giderimi yapılacak organik maddenin yapısı
- Bakteri ile organik madde arasındaki temas derecesi
- Sistemde tutulan biyokütle miktarı
- Çevresel şartlar
- Anaerobik reaktör sisteminin tasarım biçimi
- Atıksuyun anaerobik arıtma sistemindeki bekletme süresi

Atıksudaki kompleks yapıdaki organik moleküllerin biyogaza dönüştürülmesinde çeşitli mikroorganizma grupları rol almaktadır. Şekil 2.1'de şematik olarak kompleks yapılu makromoleküllerin anaerobik parçalanması aşamaları görülmektedir. Proteinler, karbonhidratlar ve yağların anaerobik parçalanması işlemi farklı adımlarda gerçekleşmektedir. Tüm dönüşüm prosesi için dört farklı faz verilebilir. Bunlar hidroliz, asit üretim, asetat üretim ve metan üretim fazlarıdır.

2.1.1.1. Hidroliz Fazı

Bu fazda, kompleks yapıdaki partiküler maddeler, ayrışması daha kolay olan çözülmüş bileşiklere dönüştürülürler. Proses fermentatif bakteriler tarafından salgılanan hücre dışı enzimler yardımıyla gerçekleşir. Hidroliz sonucunda proteinler aminoasitlere, karbonhidratlar çözülmüş şekerlere (mono ve disakkaritlere) ve yağlar ise uzun zincirli yağ asitleri ile gliserine dönüştürülür. Hidroliz hızı anaerobik arıtmanın hızını kısıtlayan bir adımdır. Özellikle, 20 °C'nin altındaki sıcaklıklarda yağların hidroliz hızları oldukça düşüktür.

2.1.1.2. Asit Üretim Fazı (Acidogenesis)

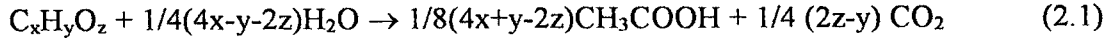
Hidroliz sonunda oluşan çözülmüş bileşikler, yine fermentatif bakteriler tarafından hücre içine alınarak kullanıldıktan sonra uçucu yağ asitleri, alkoller, laktik asit, CO₂, H₂, NH₃ ve H₂S gibi inorganik bileşikler haline çevrilirler. Asidojenik fermentasyon çoğu zorunlu anaerob olan çeşitli bakteri grupları tarafından gerçekleştirilir. Bu bakterilerin bazıları fakültatif olup hücre içine alınan bu maddeleri oksijen kullanarak metabolize edebilirler. Anaerobik atıksu arıtımında bu oldukça önemli bir husustur. Çünkü eğer bu mikroorganizmalar sistemde mevcut olmasa idi, atıksu içerisinde bulunabilecek çözülmüş oksijen, zorunlu anaerob mikroorganizmalar için toksik etkiye sebep olacak ve bu yüzden arıtma işleminin gerçekleşmesi engellenecekti.

2.1.1.3. Asetat Üretim Fazı (Acetogenesis)

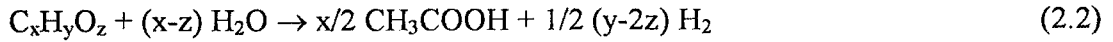
Bu fazda asit üretim fazı sonunda oluşan maddeler metan üretimi için kullanılacak olan asetat, hidrojen ve karbondioksit'e çevrilirler. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, giriş atıksu KOİ'sinin %70'lik bir kısmı asetik aside dönüştürülür.

Elektron verme kapasitesinin kalan kısmı hidrojen formunda yoğunlaşır. Organik maddenin oksidasyon düzeyine bağlı olarak asetik asit oluşumu CO₂ ve hidrojen oluşumu ile birlikte gerçekleşir. Bu durum aşağıdaki reaksiyon ifadelerinde görülebilir.

$y < 2z$ veya $N_{el} < 4$ ise,



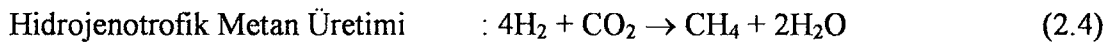
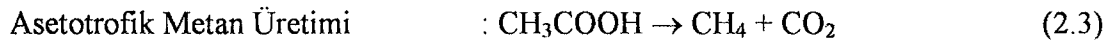
$y > 2z$ veya $N_{el} > 4$ ise,



Farklı yapıdaki organik kirleticilerin yapısında bulunduğu karışımlarda, bu prosesler eş zamanlı olarak gerçekleşirler. Fakat, genellikle CO₂'den daha fazla H₂ oluşumu gerçekleşir. Çünkü organik madde yapısındaki ortalama elektron sayısı genellikle her karbon atomu için dörtten fazladır. Bu sebeple, organik maddenin asetik asit formuna dönüşümü hidrojen oluşumu ile birlikte gerçekleşmektedir.

2.1.1.4. Metan Üretim Fazı

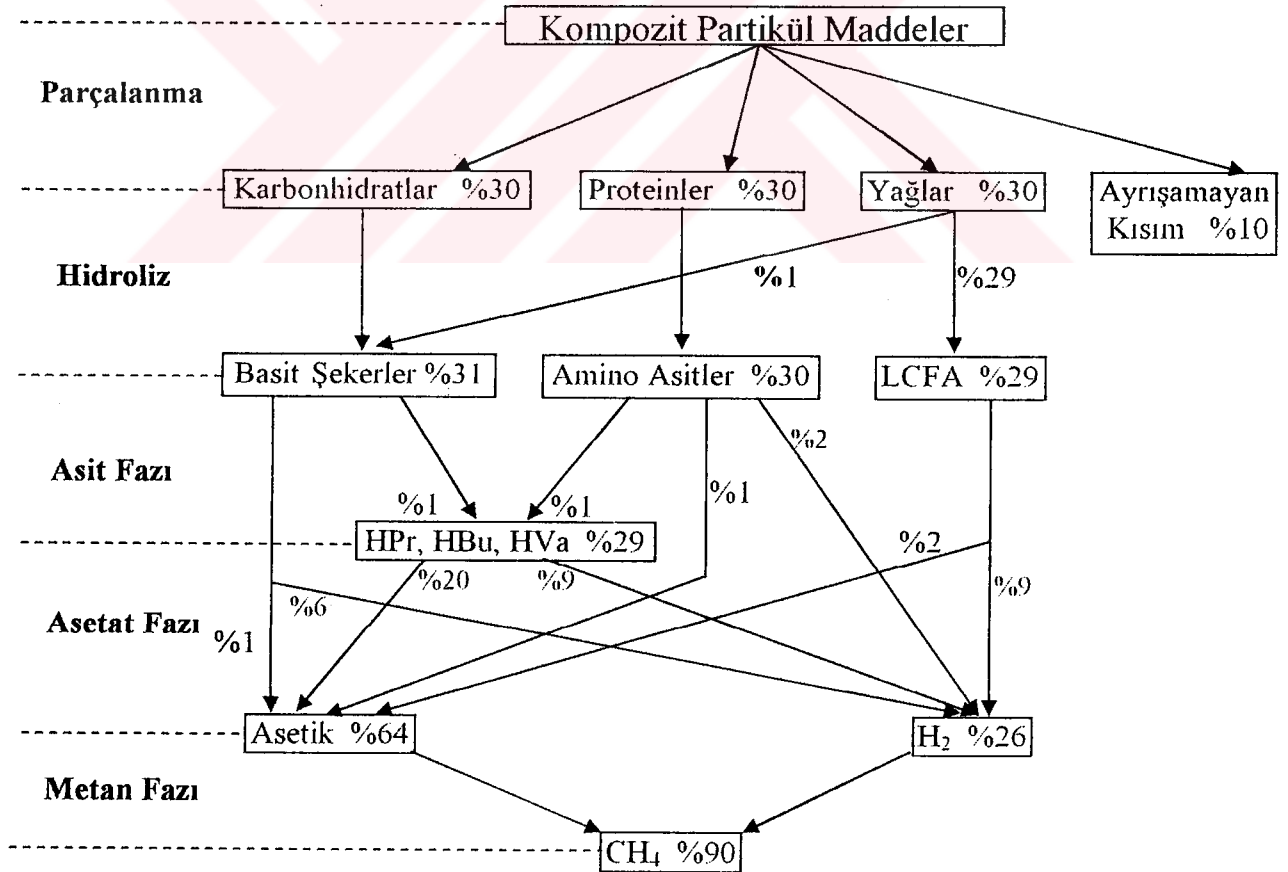
Düşük sıcaklıklarda hız kısıtlayıcı adım hidroliz olmasına karşın, esasen anaerobik arıtmanın hız kısıtlayıcı adımı metan oluşum fazıdır. Metan sırasıyla asetattan veya CO₂'in hidrojen kullanan asetotrofik ve hidrojenotrofik bakteriler tarafından indirgenmesi yoluyla üretilir.



Hidrojen ve karbondioksit kullanarak metan üreten bakterilerin çoğalma hızı, asetat kullananlara göre daha yüksektir (Henzen ve Harremoes, 1983). Bu nedenle, atıksu yapısındaki kompleks yapıli partiküllerin biyogaza dönüştürülmesinde genellikle asetotrofik metan bakterileri hız kısıtlayıcıdır.

Organik maddelerin metana dönüştürülmesinde rol alan farklı yapıdaki bakteri gruplarının tümü anabolik ve katabolik faaliyetlerde bulunurlar. Bu sebepten, daha önceden açıklanan 4 dönüşüm prosesi ile birlikte farklı yapıdaki fermentasyon

ürünlerinin oluşumuna paralel olarak yeni biyokütle teşekkülü gerçekleşmektedir. Kolaylık açısından ilk üç proses beraberce ele alınarak asit fermantasyonu olarak adlandırılırken, son proses metanojenik fermantasyon olarak adlandırılır. Asit fermantasyonu sırasındaki organik madde giderimi hidrojen çıkışı ile sınırlandırılmıştır. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi organik maddenin yalnızca %30'luk kısmı hidrojenotrofik yolla metana dönüştürülür. Bu yüzden, bir anaerobik arıtma sisteminde yeterli bir verimle organik madde gideriminin sağlanabilmesi için yeterli miktarda asetatotrofik metanojen mikroorganizmanın gelişmesi gerekmektedir. Asit fermantasyonu sonucu oluşan uçucu yağ asitleri ve diğer ara ürünler pH'da düşüşe neden olmaktadır. Metan üretimi nötral pH'larda gerçekleştiğinden, sistem pH'daki düşüş nedeniyle kararsız hale gelebilir. Bu durum herhangi bir sebepten metan üretimiyle gerçekleşen asit giderim hızının, asit üretim hızının altına düşmesi ve bu nedenle net asit üretiminin pH'ı düşürmesi ve metanojenik aktivitenin azalması sebebiyledir.



Şekil 2.1. Kompleks yapıdaki partikül moleküllerin anaerobik ayrışma safhaları.

2.1.2. Anaerobik Ayrışmanın Kinetiği

Mikroorganizma metabolizmasının kinetiğini ifade edebilmek için bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu ifadelerin çoğu, Monod (1950) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar üzerine kuruludur. Monod'un yaptığı çalışmaların sonuçları iki temel ifade ile özetlenebilir.

Mikroorganizmaların büyüme hızı (substrat giderim hızı ile orantılı)

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u = \mu X = \mu_m \frac{S}{K_s + S} X \quad (2.5)$$

Mikroorganizmaların içsel solunum hızı

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_d = -Xb \quad (2.6)$$

ifadelerde geçen,

X : Mikroorganizma konsantrasyonu (mgUAKM /L)

S : Substrat konsantrasyonu (mg KOİ /L)

μ : Spesifik çoğalma hızı (1 / gün)

μ_m : Maksimum spesifik çoğalma hızı (1 / gün)

b : İçsel solunum hızı sabiti (1 / gün)

K_s : Yarı doygunluk sabitini (mg KOİ /L) göstermektedir.

g, u, d indeksleri sırasıyla çoğalma, giderim ve içsel solunumu ifade etmektedir.

2.5 denkleminde yüksek substrat konsantrasyonlarında, çoğalma hızının substrat konsantrasyonundan bağımsız hale geldiği yani denklemin 0. derece kinetiğine uyacağı görülmektedir. Eğer substrat konsantrasyonu yarı doygunluk sabiti yanında oldukça düşükse ($S \ll K_s$), Monod oranı olan $S / (K_s + S)$ ifadesi S / K_s halini alır ve çoğalma hızının substrat konsantrasyonu ile orantılı olduğu sonucuna varılır (1. derece reaksiyon kinetiği). Ortalama substrat konsantrasyonlarında ise çoğalma hızının substrat konsantrasyonuna bağlı olarak 0. derece veya 1. derece ifadeleri aldığı görülür.

Arıtma sistemlerindeki net mikroorganizma üretimi bakteriyel çoğalma ile ölüm arasındaki farka eşittir. Uzun zaman periyotlarında, net üretimin pozitif kalması gerekmektedir. Bu yüzden sabit bir yükleme hızı ile sistemde istenilen düzeyde biyokütle konsantrasyonunu sağlayabilmek için, gerekli olan minimum bir substrat konsantrasyonu değeri vardır. Bu değer net çoğalma hızının 0'a eşit alınması ile hesaplanabilir.

$$\left(\frac{dX}{dt}\right) = (\mu - b)X = 0 = \left(\left(\mu_m \frac{S_{min}}{K_s + S_{min}}\right) - b\right)X \quad (2.7a)$$

veya

$$S_{min} = \frac{K_s b}{(\mu_m - b)} \quad (2.7b)$$

S_{min} arıtma sistemi çıkışında sağlanabilecek minimum substrat konsantrasyonudur. Atıksuların anaerobik olarak arıtımında, kompleks yapıları organik maddelerin biyogaza dönüşümünde bir seri reaksiyon gerçekleşmektedir. Bu şartlarda minimum substrat konsantrasyonu, farklı prosesler sonucunda oluşan minimum konsantrasyonların toplamına eşittir.

Sistemin işletmeye alınmasından bir süre sonra oluşan biyokütlenin reaktör içerisinde istenilen bir konsantrasyonda kalmasını sağlamak üzere sistemden bir miktar çamurun atılması gerekir. Eğer tam karışimli bir sistem için üretilen mikroorganizmanın sabit bir hızla sistemden atıldığı kabul edilirse, bu hız net çoğalma hızına eşit olacaktır. Bu durumda sisteme giren organik yükle uyumlu olarak, sabit bir biyokütle konsantrasyonu sağlanmış olur. Kararlı halde çalışan bir sistem için (mikroorganizma birikiminin olmadığı),

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_w = \left(\frac{dX}{dt}\right)_g + \left(\frac{dX}{dt}\right)_d \quad (2.8a)$$

$$\frac{X}{R_s} = X(\mu - b) \quad (2.8b)$$

olacaktır.

Verilen denklemde geçen R_s ifadesi çamur yaşını göstermektedir.

2.5 denklemindeki μ ifadesi kullanılarak çıkış substrat konsantrasyonu için aşağıdaki ifade elde edilir.

$$S = \frac{K_s \left(b + \frac{1}{R_s} \right)}{\left[\mu_m - \left(b + \frac{1}{R_s} \right) \right]} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9, çıkış konsantrasyonunun 3 kinetik sabit değerine (K_s , μ_m , b) ve bir proses değişkenine, (çamur yaşı, R_s) bağlı olduğunu göstermektedir.

Önemli bir kinetik parametresi minimum çamur yaşıdır. Bu değer, organik maddenin hiçbir dönüşüme uğramadığı, yani giriş ve çıkış substrat konsantrasyonlarının birbirine eşit olması kabulüyle hesaplanabilir. Buna göre,

$$\frac{1}{R_{sm}} = \frac{\mu_m}{\left(1 + \left(\frac{K_s}{S_i} \right) \right)} - b \quad (2.10)$$

S_i : Giriş substrat konsantrasyonu

Çoğunlukla giriş substrat konsantrasyonu yarı doygunluk sabitinden çok daha büyük değerler almaktadır. Bu nedenle 2.10 denklemini basitleştirilerek şu hali almaktadır:

$$R_{sm} = \frac{1}{(\mu_m - b)} \quad (2.10a)$$

R_{sm} : Minimum çamur yaşı

Diğer önemli bir kinetik parametre ise spesifik substrat giderim hızı sabitidir. Bu sabit, birim zamanda birim biyokütle tarafından metabolize edilebilen maksimum substrat miktarını ifade etmektedir. Bu değer, maksimum spesifik çoğalma hızı kullanılarak hesaplanabilir.

$$K_m = \frac{\mu_m}{Y} \quad (2.11)$$

K_m : Spesifik substrat giderim hızı, $\text{kg KOİ} / \text{kg UAKM} \cdot \text{gün}$

Y : Dönüşüm oranı, $\text{kg UAKM} / \text{kg KOİ}$

2.1.3. Anaerobik Arıtma Sistemleri

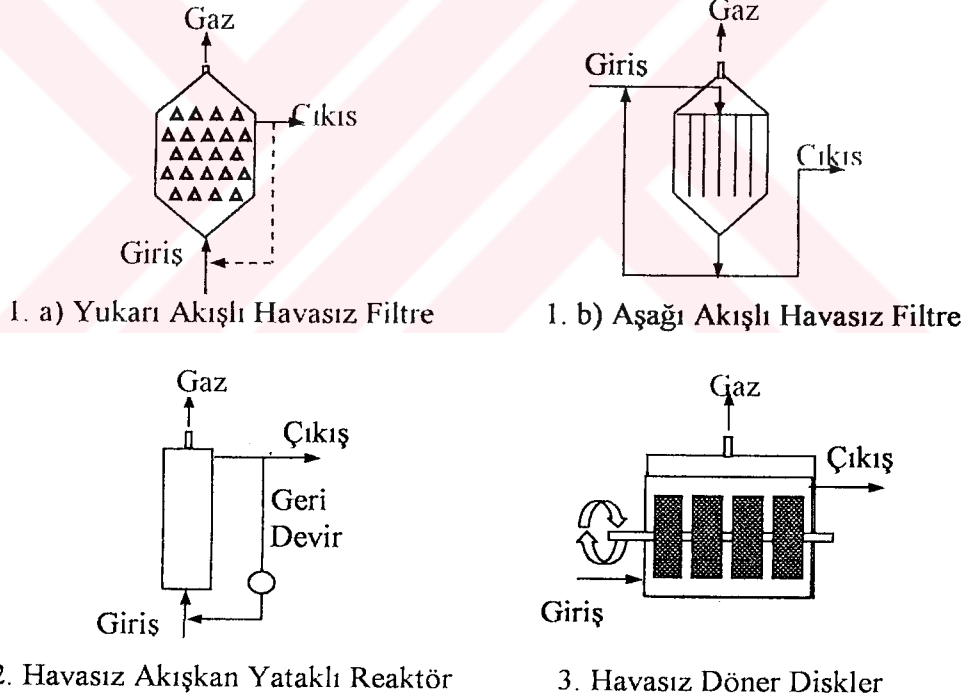
Arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların reaktördeki bulunuş şekillerine göre anaerobik arıtma prosesinde kullanılan reaktörleri üç genel sınıfa ayırabiliriz;

1. Biyofilm Sistemler.
2. Askıda Gelişen Sistemler.
3. Hibrit Sistemler.

2.1.3.1. Biyofilm Sistemler

Biyofilm sistemlerinin sık kullanılan başlıca çeşitleri ise;

1. Havasız Filtreler (HF)
 - a) Yukarı Akışlı
 - b) Aşağı Akışlı
2. Havasız Akışkan Yataklı Reaktörler (HAYR)
3. Havasız Döner Diskler



Şekil 2.2. Biyofilm sistemler.

Havasız Filtre (HF)

Anaerobik filtreler, içerisinde dolgu malzemesi olan ve dolgu malzemesine tutunan mikroorganizmalarca arıtmanın gerçekleştirildiği bir sistemdir. Dolgu malzemesi olarak genellikle kırma taş veya plastik malzemeler kullanılır. Reaktör, aşağı veya yukarı akışlı olarak çalıştırılabilir.

Anaerobik filtrelerin, sentetik dolgu malzemesinin pahalı olması, biyofilm oluşumunun uzun sürmesi ve bundan dolayı işletmeye alma devresinin uzun olması ve yüksek AKM içeren atıksularda tıkanma gibi problemlerden dolayı pek tercih edilmez.

Havasız Akışkan Yataklı Reaktörler (HAYR)

Akışkan yataklı reaktörler, akışkan bir yatak oluşturmak amacıyla kum gibi küçük ve ayrıışmayan maddelerin kullanıldığı bir kolon sistemdir. Yukarı doğru atıksu yatağın genişlemesine neden olur. Akış hızının artmasıyla birlikte yatak asılı hale gelir. Çok kuvvetli atıksularda, yukarı akışının istenen düzeyde olması için geri devir yapmaya ihtiyaç duyulabilir. Genellikle yapılması gereken geri devir oranı yüksek olduğundan işletme maliyeti de yüksektir. Bu nedenle bu sistemler seyreltik atıksular için tercih edilirler.

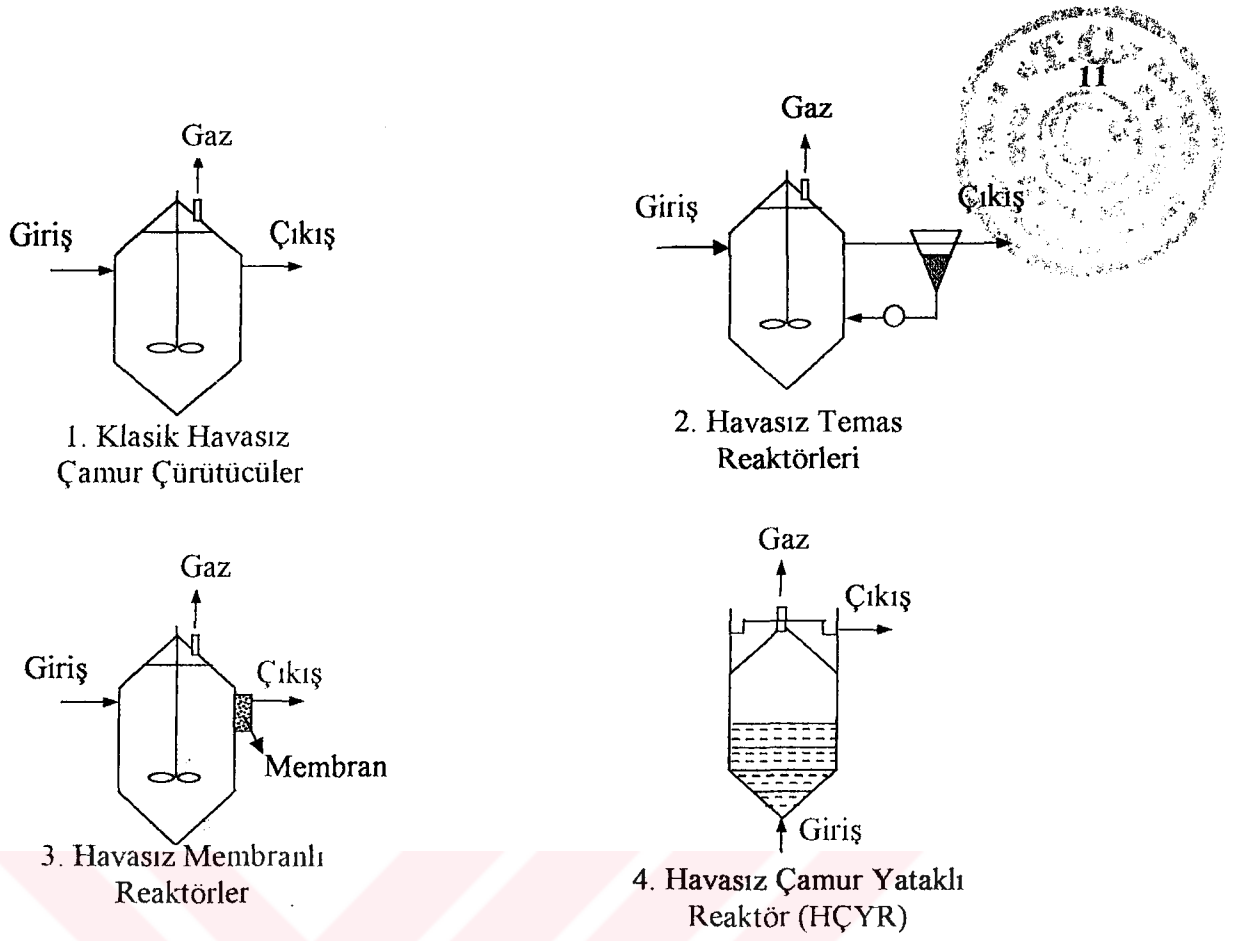
Havasız Döner Diskler

Anaerobik döner diskler Friedman ve Tait (1980) tarafından geliştirilmiştir. Bu sistem aerobik döner disklerin hava ile teması önlemek için izole edilmiş halleridir. Anaerobik sistemlerde kullanılan diskler aerobik sistemlerde kullanılanlardan daha büyüktür. Kullanılan disk, mikroorganizmaların tutunması ve biyofilm oluşturmaya elverişli inert plastik materyallerden yapılır. Bu malzemeler kısmen veya tamamen suya batırılmış durumdadır ve tank içindeki atıksuyun akış yönünde dik ekseninde yavaş bir hızda dönmektedir.

2.1.3.2. Askıda Gelişen Sistemler

Mikroorganizmaların askıda geliştiği anaerobik arıtma sistemlerinin sık kullanılan dört çeşidi mevcuttur. Bunlar;

1. Klasik Havasız Çamur Çürütücüler
2. Havasız Temas Reaktörleri
3. Havasız Membranlı Reaktörler
4. Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR)



Şekil 2.3. Askıda gelişen anaerobik arıtma sistemleri.

Klasik Havasız Çamur Çürütücü

Genelde evsel arıtma çamurlarının çürütülmesinde kullanılan en eski ve en basit reaktör tipidir. Bu reaktörlerde mikroorganizmanın reaktörde bekletme süresi, hidrolik bekletme süresine eşittir. Bu sistemlerde çamur yaşı 10-12 günden az olmamalıdır. Eğer çamur yaşı 10-12 günden az olur ise metan bakterileri sistemden yıkanarak çıkabilir. Maksimum organik yükleme hızı $4 \text{ kg KOİ/m}^3\text{.gün}$ 'den az olmalıdır (Forster, 1984). Fazla hacim gerektirmesi ve AKM giderim veriminin az olmasından dolayı endüstriyel atıksu arıtımında pek kullanılmamaktadır.

Havasız Temas Reaktörü

Bu sistemler anaerobik aktif çamur sistemi olarak da adlandırılırlar. Klasik havasız çamur çürütücüye çöktürme tankı ve geri devir ilave edilerek oluşturulmuştur. Bu eklemeler sayesinde hidrolik bekletme süresi azalmıştır. Bu şekilde daha yüksek çamur yaşı, daha yüksek verim ve daha küçük hacim elde edilmiştir. Tek dezavantajı ise; gaz çıkışının çöktürme tankında devam etmesinin

çökeltme verimini düşürdüğünden istenilen çöktürme verimini elde etmek için vakumlu gaz ayırıcı, termal şok gibi uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.



Havasız Membranlı Reaktör

Tam karışımli anaerobik bir reaktör ve çöktürme yerine bir ultrafiltrasyon biriminden oluşan bir sistemdir. Ultrafiltrasyon birimindeki gözenekli sentetik membranda tutulan katı maddeler (biyokütle) sisteme geri döndürülerek çamur yaşı istenildiği kadar artırılabilir. 10-15 gr/m³.gün gibi yüksek KOİ yüklerinde ve debisi az olan endüstriyel atıklar için uygun bir sistemdir.

Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR)

Bu sistem ilk olarak Lettinga tarafından Hollanda'da uygulanmıştır. Reaktörün alt kısmından atıksu girişi olur ve üst kısmından duru faz savaklanarak sistemi terk eder. Arıtma atık suyun düşeydeki hareketi sırasında oluşan granül çamur yatağında gerçekleşir. Yüksek çökeltme hızı (43 m/sa, SVI=10-20 ml/gr AKM) çamur yatağının 40-100 kg/m³ gibi çok yüksek bir biyokütle miktarı içermesine imkan verir. Çamur yatağının üst çamur örtüsünün biyokütle miktarı ise 15-30 kg/m³'tür. Çamur yatağındaki biyokütle miktarı sayesinde 60 kg KOİ/m³.gün gibi çok yüksek organik yükleme hızlarında bile iyi bir KOİ giderimi elde edilebilir. Ayrıca çok yüksek çökeltme hızı sayesinde 3-4 saat hidrolik bekletme sürelerinde bile önemli bir biyokütle kaybı gerçekleşmez. Beslenen atık suyun organik madde muhtevasına bağlı olarak kuvvetli atık sularda çamur yatağı, zayıf atık sularda ise çamur örtüsü ağırlıklı rol oynar (Öztürk, 1999).

Reaktör içerisinde karışım ise yukarıya doğru olan hidrolik akış ve çıkan gaz kabarcıklarının yukarı hareketi ile sağlanır. İdeal karıştırmanın sadece gaz kabarcıklarının yukarı hareketiyle sağlanması tercih edilen durumdur. Orta ve yüksek organik yükleme hızlarındaki gaz üretimi genellikle iyi bir karışım sağlar. Heertjes ve Van der Meer (1978) yaptıkları deneylerden 2 m³/m³.gün gaz üretiminin iyi bir gaz karışımı sağladığı sonucunu çıkarmıştır.

İyi bir granül çamur oluşumu için sistemin işletmeye alınmasından itibaren uygulanan yüklemelere dikkat etmek gerekir. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde işletmeye alma süresi atıksu ve kullanılan aşı özelliklerine bağlı olarak 2-6 ay kadar sürebilir. İşletmeye alma döneminin başında organik yükleme düşük tutulmalıdır ve uygun aşı çamuru kullanılmalıdır. Bu dönemde aşı çamurunun biyokütle içeriğinin 10-15 kg/m³ ve organik yüklemenin 0.05-0.2 kg KOİ/kg UAKM.gün civarında tutulması tavsiye edilir. Ayrıca çıkan biyogazdaki metan içeriği % 65'in yada KOİ giderimi %80'in üzerine çıkmadıkça organik yükleme arttırılmamalıdır. Yine bu dönemde uçucu asit konsantrasyonunun asetik asit olarak <1000 mg/L seviyesinde tutulması gereklidir (Lettinga ve diğ., 1979).

Düşük KOİ konsantrasyonuna sahip atıksularda çok iyi bir granülasyon meydana gelmemektedir (Öztürk, 1999). 200-300 mg/L'den az Ca⁺⁺ konsantrasyonunun varlığı granülasyona olumlu etki yapmakta ancak daha yüksek değerlerde CaCO₃ ve CaHPO₄ şeklinde çökmekte ve fosforu bağlayarak nütrient eksikliğine neden olmaktadır (Zeew ve Lettinga, 1980).

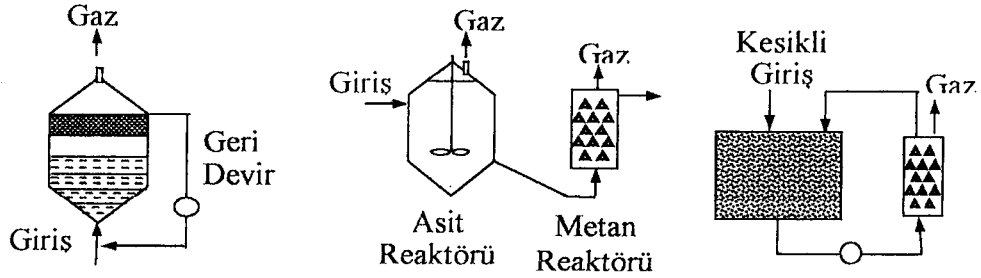
Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde hidrolik bekletme süresi, giriş suyu özelliklerine ve sıcaklığa bağlı olarak 4-24 saat arasında değişir. Orta kuvvetli atık sulara (1000-3000 mg/L KOİ) 30-35°C sıcaklıkta 3-8 saatlik kısa hidrolik bekletme süreleri uygulanabilir. 10.000-50.000 mg/L KOİ içeren kuvvetli atık sular için yine diğer özelliklere bağlı olarak hidrolik bekletme süresi 24 saate kadar çıkabilir.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde önemli bir husus ise maksimum yukarı akış hızıdır. Maksimum yukarı akış hızı reaktörde çamurun özelliklerine ve uygulanan yükleme hızına bağlı olarak değişir. Flokülant çamurlar için 5-6 kg KOİ/m³.gün organik yüklemeye maksimum yukarı akış hızı 0.5-1.5 m/saat arasındadır. Granüler çamur için maksimum yukarı akış hızı olarak, daha fazla reaktör yüksekliklerine imkan veren 10 m/saat seviyelerine çıkılabilir.

2.1.3.3. Hibrit Sistemler

Askıda gelişen ve biyofilm sistemlerin birlikte kullanılmasıyla elde edilen sistemlerdir. Bu sistemlerin uygulamadaki çeşitleri ise;

1. Havasız Çamur Yataklı Filtreler
2. İki Kademeli Havasız Arıtma Sistemleri
3. Havasız Ardışık Kesikli Reaktörler



1. Havasız Çamur Yataklı Filtre
2. İki Kademeli Reaktör
3. Havasız Kompost Reaktör

Şekil 2.4. Hibrit sistemler.

Havasız Çamur Yataklı Filtre

Çamur yataklı reaktörler ve yukarı akışlı anaerobik filtrelerin bazı özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşturulan bu konfigürasyon Guiot ve Van den Berg (1985) tarafından denenmiştir. Yukarı akışlı çamur yataklı filtre olarak adlandırılan bu reaktörün üst kısmı anaerobik filtreleri andıran yüzen malzemelerle doldurulmuştur. Reaktör hacminin geriye kalan yaklaşık üçte ikilik alt kısmı ise yukarı akışlı çamur yataklarında olduğu gibi bir çamur yatağının gelişimi için ayrılmıştır.

Havasız Ardışık Kesikli Reaktör

Havasız ardışık kesikli reaktörde (AKR) doldurma, arıtma, çökeltme ve boşaltma devrelerini ihtiva eden kesikli bir işletme uygulanır. Reaktör hacmi, sürekli beslenen reaktörlere göre bir miktar büyük tutularak mükemmel çökeltme özelliği olan granüler biyokütle ile yüksek verimde havasız arıtma sağlanabilir. AKR önemli uygulama potansiyeli olan ve işletilmesi kolay bir sistem olarak gözükmemektedir (Öztürk, 1999).

Havasız Kompost Reaktörleri

Havasız kompost reaktörleri katı madde oranı %20-35 olan organik katı atık ve/veya arıtma tesisi çamurlarının mezofilik veya termofilik işletme şartlarında havasız olarak kompostlaştırıldığı sistemlerdir. 3-4 haftalık hidrolik bekletme süresi sonunda zirai gübre değeri yüksek kompost elde edilen reaktörlerde proses esnasında $0.6-1 \text{ M}^3/\text{kgUKM}_{\text{gid}}$ mertebesinde biyogaz üretimi de mümkün olmaktadır.

2.1.3.4. Sistemlerin Karşılaştırılması

Günümüzde yaygın olarak kullanılan; havasız filtre (HF), havasız akışkan yataklı reaktör (HAYR) ve havasız çamur yataklı reaktörlerin (HÇYR) Tablo 2.1'de organik yükleme hızları ve KOİ giderimleri, Tablo 2.2'de ise proses davranışları bakımından kıyaslamaları verilmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli anaerobik reaktör tipleri için organik yükleme hızları ve KOİ giderimi (Van den Berg ve Kennedy, 1983)

Reaktör Tipi	Organik Yük ($\text{kg KOİ}/\text{m}^3.\text{gün}$)	KOİ Giderimi (%)
Yukarı Akışlı Filtre (HF)	1-10	80-95
Aşağı Akışlı Filtre (HF)	5-15	75-88
Akışkan Yataklı Reaktör (HAYR)	1-20	80-87
Havasız Çamur Yataklı Reakt. (HÇYR)	5-30	85-95

Tablo 2.2. Yaygın olarak kullanılan havasız arıtma sistemlerinin karşılaştırılması (Hickey ve diğ., 1991)

Karakteristik Davranış	HF	HAYR	HÇYR
İşletmeye Alma	-	-	-
Biyokütle (Çamur) Gelişimi	+	++	++
Sıvı Fazın Karışımı	+(+)	++	-
Hidrolik Şoklara Karşı Koyma	++	++	-
Organik Şoklara Karşı Koyma	+	+	+
Askıda Katılara Duyarsızlık	+	++	-
Tıkanmaya Duyarsızlık	-	++	++
Biyokütle Yüzme Riski	+	+	-
Reaktörün Kontrol İhtiyacı	+	-	+

- yetersiz, + iyi, ++ çok iyi

Endüstriyel atıksuların arıtım uygulamaları esnasında bu üç sistemde karşılaşılan en önemli işletme sorunları da Tablo 2.3'te ayrıca sıralanmıştır.

Tablo 2.3. HÇYR, HF ve HAYR sistemlerinin başlıca işletme sorunları

HÇYR	HF	HAYR
- Yatak genişmesinin kontrol gücü - Değişken giriş suyu özelliklerine bağlı proses stabilitesi sorunu - Şok yüklerde biyokütle kaybı - İnert katı madde birikimi - Biyokütle yüzmesi	- Giriş akımının üniform dağıtma zorluğu - Yatakta tıkanma ve kanallanma riski - Filtrenin periyodik olarak geri yıkanma gereği - İnert katı madde birikimi - Çıkışta AKM ayırma (çökelme) ihtiyacı	- Yatak genişmesini kontrol gücü - Giriş akımının üniform dağıtma gücü - Biyopartikül kaçıışı - Akışkanlaşma özelliklerinin değişkenliği - Biyofilm kopması - Vanalarda arıza - Sürekli geri devir gereği

Akışkan yataklı rektörlerin bir avantajı da, biyolojik ve fizikokimyasal giderim mekanizmalarının verimini arttıran granüler aktif karbon kullanılmasıdır. Granüler aktif karbon kullanılmasıyla biyolojik olarak giderilebilir organik maddelerin gideriminde kararlılık sağlanır (Fox ve diğ., 1988).

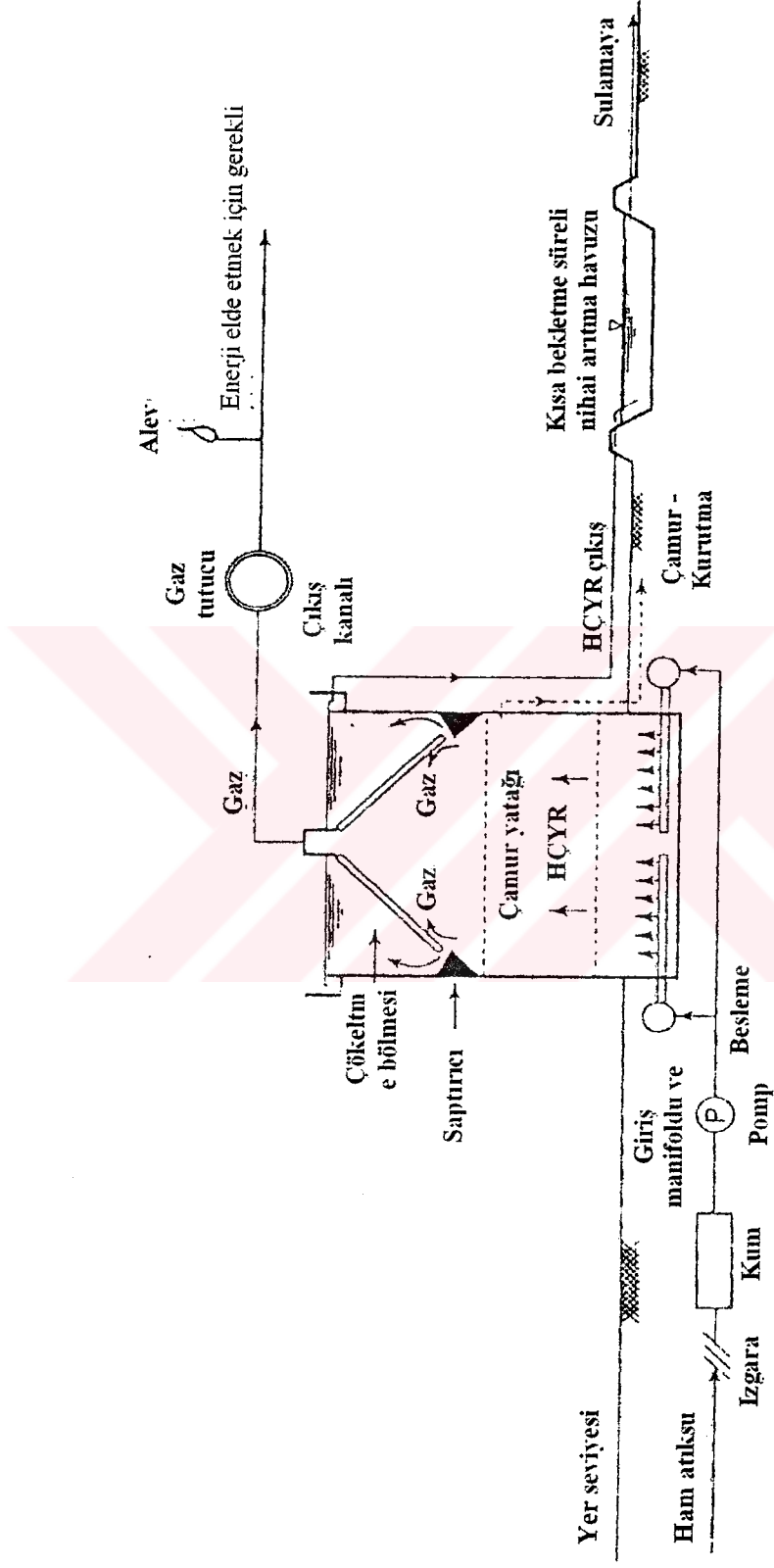
2.1.3.5. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı Prosesi

Yukarı akışlı havasız çamur yatağı sistemi tipik olarak şu birimlerden oluşur;

1. Pompalama
2. Izgara ve kum tutucu
3. Havasız çamur yatağı reaktörü
4. Gaz toplama, dönüştürme ve taşıma sistemi
5. Çamur kurutma yatağı
6. Nihai arıtma birimi (Deşarj standartlarına bağlı olarak değişim gösterir.)

Atıksu, ilk olarak ızgaradan geçirildikten sonra inorganik maddelerin giderilmesi için kum tutucuya verilir. Bu birimden çıkan atıksular dağıtımın gerçekleştirileceği dağıtım odasına yönlendirilir. Dağıtım odasından çıkan atıksu çok sayıda düşey yönlü boru ile 4,5 – 5 m derinliğinde bulunan havasız çamur yatağı reaktörünün alt kısmından sisteme üniform bir akış sağlanacak şekilde verilir.

Havasız çamur yatağı reaktörlerinde ortalama debi için 8 – 10 saatlik hidrolik bekletme süresi kullanılmaktadır. Reaktör öncesinde ön çöktürme yapılmaz. HÇY reaktörleri bir medya ile tutunma yüzeyi teşkil etmek için doldurulmaya ihtiyaç göstermezler. Yukarı doğru akan atıksu askıda kalan milyonlarca küçük çamur granülü veya partikülü teşkil ederek arıtma için organik maddelerin bağlanabileceği geniş bir yüzey alanı oluşturur ve bu sayede biyolojik ayrışmanın gerçekleşmesini sağlar. Çamur yaşı olarak 30 – 50 gün veya daha yüksek süreler kullanılır. Karıştırıcı ve havalandırıcı ihtiyacı olmaması nedeniyle HÇY reaktörleri enerji korunumuna ve bu yüzden düşük işletme maliyetlerine neden olurlar. Anaerobik sistemler reaktör içerisindeki sıcaklığın 18 – 20 °C veya daha üstü değerlerinde verimli bir şekilde çalışmaktadır. Bu yüzden sıcak iklime sahip olan ülkelerde reaktör içerisinde istenilen sıcaklık kolayca sağlanabilmektedir. Hava sıcaklığının daha düşük olduğu ülkelerde reaktörün ısıtılması zorunluluğu vardır. Bu amaçla yeterli düzeyde gaz geri kazanımının sağlanabilmesi için arıtma amacıyla yüksek BOİ içeren endüstriyel atıksular kullanılmalıdır. Anaerobik arıtma neticesinde azot ve fosfor konsantrasyonlarında fazlaca bir değişim görülmediğinden arıtılan atıksular tarımsal sulama suyu amacıyla kullanılabilir. Alt kısımdan pompalama yapılarak beslenen yukarı akışlı havasız çamur yatağının tipik görünümü şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Reaktörün alt kısmından pompalama yapılarak beslenen yukarı akışlı bir havasız çamur yatağının tipik görünümü.



2.1.3.5. Havasız Çamur Yatağı Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

İlk Yatırım Maliyeti

Düşük BOİ₅ içerikli evsel nitelikli atıksuların arıtılması durumunda HÇY reaktörleri ile %75 – 85'lik BOİ₅ giderimi gerçekleştirilebilmesine karşın, bu oran klasik aktif çamur için %93, uzun havalandırmalı aktif çamur için ise %97'lere kadar çıkabilmektedir. Bu yüzden belirtilen koşullar için HÇY sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu maliyet istenilen deşarj standardı değerlerine ulaşabilmek için ise ekstra bir arıtmanın yapılması halinde daha da artar. Tarımsal sulama suyu gibi orta düzeyde arıtmaya ihtiyaç duyan atıksuların arıtılmasında HÇY sistemi ekonomik bir hal almaktadır.

İşletme Maliyeti

HÇY sistemi enerji maliyetlerinin yüksek ve enerji temininin zor olduğu gelişmekte olan ülkelerde, düşük enerjiye ihtiyaç duyması sebebiyle tercih edilmektedir. İstenilen kullanım amaçları için ekstra bir arıtmanın gerekli olmaması ve düşük işletme maliyetleri sebebiyle, evsel nitelikli atıksuların arıtılmasında en ucuz sistem HÇY sistemidir. HÇY reaktörleri, düşük alan ihtiyacı ve BOİ₅ gideriminde neredeyse sıfır enerji ihtiyacı gibi avantajlara sahiptir. Prosesin gerçekleşebilmesi için kullanılan elektrikli ekipman ihtiyacının az olması sebebiyle, elektrik kesilmesi durumunda büyük bir problemle karşılaşılmaz. Böyle bir durum karşısında prosesin devam etmesinin bir diğer nedeni ise sistemin anaerobik olmasıdır. Sadece ham atıksuyun terfisinin yapılması ile tesisin sürekli çalışması sağlanabilir. Ayrıca az sayıda ekipman kullanılması nedeniyle onarım ve bakım işlemleri de oldukça basit ve kolaydır. Gaz geri kazanımı olmasa bile enerji korunumuyla sağlanan fayda, HÇY prosesini işletme ve ilk yatırım maliyetleri bakımından diğer proseslerden daha ucuz kılmaktadır.

2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin en önemli özelliği olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan kendiliğinden gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağlarının çalışma mantığı, insan sinir sistemine benzer şekilde geçmiş verilerden bir bilgi birikimi edinerek benzer durumlar için bir genelleme yapmak ve bu genelleme sayesinde eksik verilerin olduğu daha karmaşık durumlar için sonuç üretmektir.

Yapay Sinir Ağları hakkındaki çalışmalar aslında insan beyninin nasıl çalıştığını ve öğrenme olayını nasıl gerçekleştirdiğini merak etme sonucunda ortaya çıkmıştır. Matematiksel olarak ilk Yapay Sinir Ağları 1943'te McCulloch ve Pitts tarafından açıklanmıştır. İlk uygulama ise Frank Rosenblatt tarafından yapılan perceptron ağı ve öğrenme kuralıdır. Bu ilk yapılan uygulamalarda öğrenme algoritmaları kompleks ağları eğitmede yeterli olamamıştır. Son yıllarda çok sayıda yapay sinir ağı modeli geliştirilmiş ve sayısız uygulamalar yapılmıştır. İnsan beyninin nasıl çalıştığı günümüzde de henüz bilinmemektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde bilgisayarların öğrenebildikleri ve başarılı sonuçlar üretebildikleri görülmektedir. Bilhassa çok sayıda bilginin değerlendirilmesini gerektiren olaylarda yapay sinir ağları etkin olarak kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- 1. Doğrusal Olmama :** Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan düğüm noktaları (hücre) doğrusal olmadığından bu düğüm noktalarının birleşmelerinden oluşan yapay sinir ağı da doğrusal değildir. Bu özellikten dolayı karmaşık problemlerin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımı tercih edilmektedir.
- 2. Öğrenme :** Yapay sinir ağlarının amaca uygun davranışı gösterebilmesi için düğüm noktaları arasında uygun ağırlıklara sahip doğru bağlantıların yapılması gerekir. Yapay sinir ağlarının karmaşık yapısından dolayı düğüm noktaları arasındaki bağlantılar ve ağırlıkları önceden tasarlanamaz. Bu nedenle sinir ağı, ilgili problemin eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

3. Genelleme: Yapay sinir ağıları, öğrenme aşamasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Bir sistemin eğitilmiş yapay sinir ağı modeli, öğrenme sürecinde verilmeyen girişler için de sistemle aynı davranışı gösterebilir.

4. Uyarlanabilirlik : Belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen yapay sinir ağı, problemdeki değişikliklere göre yeniden eğitilebilir. Bu özelliği ile yapay sinir ağıları, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanımlama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.

5. Hata Toleransı : Yapay sinir ağıları, çok sayıda düğüm noktasının çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan dolayı paralel dağılmış bir yapıdadır. Ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir yapay sinir ağının bazı bağlantılarının ya da bazı düğüm noktalarının hata payının yüksek olması, ağın doğru bilgi üretmemesi, sistem olarak hatalı sonuçlar vermesi anlamına gelmez. Bu nedenle, hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

Yapay Sinir Ağları yapısında bilgi, düğüm adı verilen birbirlerine bağlı elemanlar aracılığıyla işlenir. Bu düğümler tabakalaşmış yapıdadır. Temel bir ağ genelde bir giriş, bir veya daha fazla gizli ve çıkış tabakadan oluşur (Rumelhart et al 1986). Bilgi bir tabakadan diğerine düğümler üzerinden iletilir. Giriş tabakası, verilerin ağa girdiği tabakadır. Gizli tabakaları ve çıkış tabakasını oluşturan düğümler gelen veriyi belli bir ağırlıklarla çarparak toplar. İşlenmiş veri belli bir transfer fonksiyonu ile çarpılarak bir sonraki tabakaya aktarılır. Transfer fonksiyonu düğümdeki çıkış sinyalini 0 ve 1 veya -1 ve 1 değerleri arasına normalize eder.

Çıkış tabakasında bir değer elde edilinceye kadar sinir ağının eğitimi devam eder. Eğitim boyunca çıkış tabakasındaki değerler olması beklenen değerlerle karşılaştırılır ve hatalar hesaplanır. Kabul edilebilir bir hata seviyesine ulaşabilmek için geri besleme ile ağırlıklar değiştirilerek işlemler tekrarlanır.

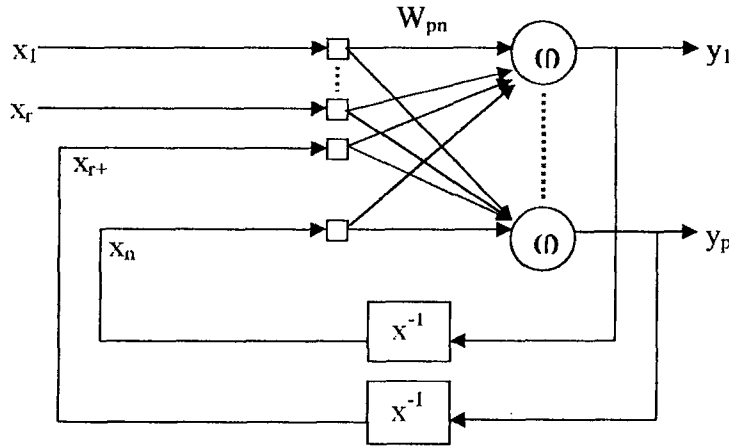
Yapay sinir ağıları, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücrelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir.

Aşağıdaki özelliklere göre çeşitli YSA model yapıları geliştirilmiştir.

1. Ağın yapısı
 - a) İleri beslemeli (feed forward)
 - b) Geri beslemeli (feed back)
2. Ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik oluşu
3. Ağırlık matrisi değerlerinin sabit veya değişken oluşu
4. Ağda yer alan düğümlerin özellikleri
5. Eğitim veya öğrenme kuralları

2.2.1. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli sinir ağı, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli sinir ağı yapıları elde edilebilir. Şekil 2.6'da iki katmanlı ve çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir yapay sinir ağı yapısı görülmektedir.



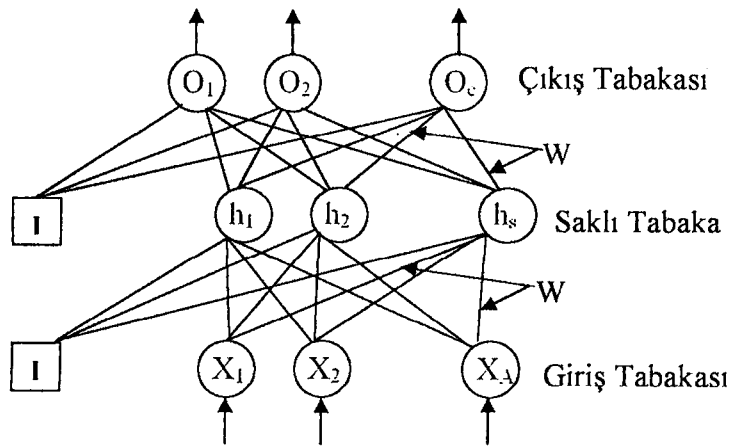
Şekil 2.6. Geri Beslemeli 2 katmanlı yapay sinir ağı.

2.2.2. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli yapay sinir ağları genellikle geri yayımlı bir yapıdadır. Karmaşık verilerin sınıflandırılmasında kullanılan etkin yapay sinir ağı modellerinden birisi; ilk olarak Werbos tarafından düzenlenen daha sonra Parker, Rummelhart ve McClelland tarafından geliştirilen geri yayılım ağıdır (Back Propagation Network). İlk uygulamaları yazılı metinden söz sentezi, robot kollarının kontrolüdür. Sınırları ise denetimli eğitim giriş ve çıkış örneklerinin çok sayıda olmasıdır. Geri yayımlı yapay sinir ağları günümüzde en yaygın kullanılan, öğrenimi kolay ve sonuçları etkin bir yapay sinir ağı çeşididir.

Geri yayımlı yapay sinir ağı, yayılma ve uyum gösterme (Propagate - Adapt) olmak üzere iki aşamada işlemleri gerçekleştirir. Katmanlar arasında tam bir bağlantının bulunduğu çok katmanlı (Multilayer), İleri Beslemeli (Feed Forward) ve Denetimli (Supervised) olarak eğitilen bir yapay sinir ağı modelidir.

Geri yayılım algoritması hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Geri yayımlı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır. Bir geri yayımlı ağ modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür.



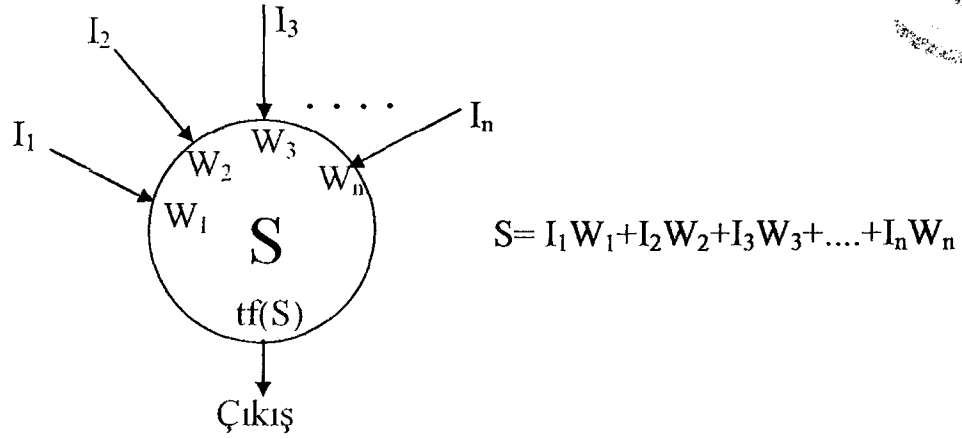
Şekil 2.7. Geri yayımlı yapay sinir ağının genel yapısı.

Giriş katmanı, giriş veri gruplarının ağa sunulduğu terminaldir. Bu katmandaki düğüm sayısı, giriş veri sayısı kadardır ve her bir giriş düğümü bir veri alır. Burada veri işlenmeden bir sonraki katman olan gizli katmana geçer.

Gizli katman, ağın temel işlevini gören katmandır. Bazı uygulamalarda ağda birden fazla gizli katman bulunabilir. Gizli katman sayısı ve katmandaki düğüm sayısı probleme göre değişir. Bu tamamen ağ tasarımcısının kontrolündedir ve onun tecrübesine bağlıdır. Gizli katman, giriş katmanından aldığı ağırlıklandırılmış veriyi probleme uygun bir fonksiyonla işleyerek bir sonraki katmana iletir. Bu katmanda gereğinden az düğüm kullanılması giriş verilerine göre daha az hassas çıkış elde edilmesine sebep olur. Aynı şekilde gerektiğinden daha çok sayıda düğüm kullanılması durumunda da aynı ağda yeni tip veri gruplarının işlenmesinde zorluklar ortaya çıkar.

Çıkış katmanı; ağının en uç katmanıdır. Gizli katmandan aldığı veriyi ağın kullandığı fonksiyonla işleyerek çıktısını verir. Çıkış katmanındaki düğüm sayısı, ağa sunulan her verinin çıkış sayısı kadardır. Bu katmandan elde edilen değerler yapay sinir ağının söz konusu problem için çıkış değerleridir. Geri yayımlı ağlarda, bir katmandan bir başka katmana aradaki katmanları atlayarak geçebilmek mümkün değildir.

Bir giriş verisinin ağın ilk katmanında yer alan düğümlere uygulandığında çıkış katmanına erişinceye kadar, bu veri üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlerin sonucunda elde edilen fiili çıktı, olması gereken çıktı ile karşılaştırılır. Fiili ve olması gereken değerler arasındaki fark, her çıktı düğümü için bir hata sinyali olarak hesaplanır. Hesaplanan hata sinyalleri, her çıktı düğümüne karşı gelen ara katmandaki düğümlere aktarılır. Böylece ara katmandaki düğümlerin her biri toplam hatanın sadece hesaplanan bir kısmını içerir. Bu süreç her katmandaki düğümler toplam hatanın belirli bir kısmını içerecek şekilde giriş katmanına kadar tekrarlanır. Elde edilen hata sinyalleri temel alınarak, bağlantı ağırlıkları her düğümde yeniden düzenlenir. Bu düzenleme tüm verilerin kodlanabileceği bir duruma ağın yakınsamasını sağlar. Bir düğüm noktasının işleyişi şematik olarak Şekil 2.8'de verilmiştir.



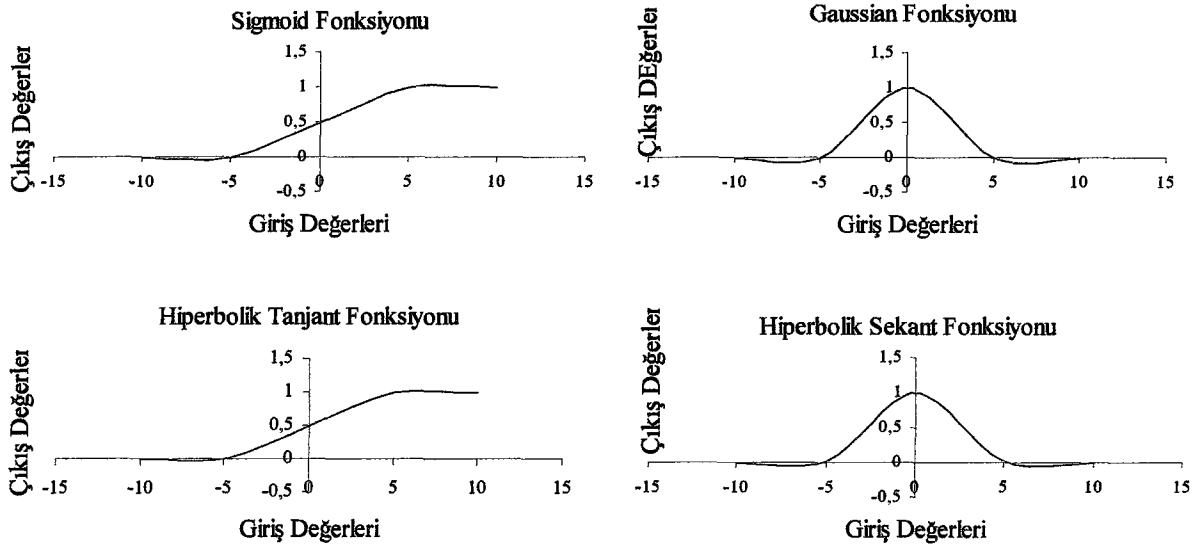
Şekil 2.8. Düğüm noktasının işleyişi.

İleri besleme safhasında, giriş tabakasındaki düğümler veri değerlerini doğrudan gizli katmana iletirler. Gizli katmandaki her bir düğüm kendi giriş değerlerini ağırlıklandırarak toplam değer hesap ederler ve bunları bir taşıma fonksiyonu ile işleyerek bir ileri tabakaya veya doğrudan çıkış katmanına iletirler. Katmanlar arasındaki ağırlıklar başlangıçta rasgele küçük rakamlardan seçilir. Çıkış katmanındaki, her bir düğüm ağırlıklandırılmış değeri hesaplandıktan sonra, bu değer yine taşıma fonksiyonu ile karşılaştırılarak mevcut hata minimize edilmeye çalışılır. Hata değeri belli bir mertebeye ininceye kadar iterasyon işlemine devam edilir ve böylece ağırlık eğitimi aşaması tamamlanmış olur. Katmanlar arasındaki bağlantılardaki ağırlık değerleri eğitimi tamamlanmış ağırlıklardan alınarak deneme safhasında kullanılmak üzere saklanır.

2.2.2.1. Transfer Fonksiyonları

Geri yayımlı yapay sinir ağlarında kullanılan bazı transfer fonksiyonları aşağıdaki gibidir. Bu transfer fonksiyonlarının grafikleri Şekli 2.9’da verilmiştir.

- | | |
|--|------------------------------|
| a) Sigmoid Tansfer Fonksiyonu | : $[1/(1+\exp(-X))]$ |
| b) Gaussian Tansfer Fonksiyonu | : $[\exp(-X^2)]$ |
| c) Tanjant Hiperbolik Tansfer Fonksiyonu | : $[(\tanh(X)+1)/2]$ |
| d) Sekant Hiperbolik Tansfer Fonksiyonu | : $[\operatorname{sech}(X)]$ |



Şekil 2.9. Geri yayımlı yapay sinir ağlarında kullanılan transfer fonksiyonları

2.2.3. Yapay Sinir Ağı Uygulamaları

Yapay sinir ağlarını endüstri, finans, tıp, askeri sistemler gibi pek çok alanda uygulamaları görülmektedir. Bu uygulamalarından bir kaçı şöyledir; ses tanıma, yazılan karakteri tanıma, robot kontrolleri, resim işleme ve yüz tanıma. Bu uygulamalarda elde edilen başarılar yapay sinir ağlarının önemini artırmaktadır. Çevre mühendisliğinde yapay sinir ağlarının kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Çevre mühendisliğindeki uygulamaları Tablo 2.4’de sıralanmıştır.

Tablo 2.4. Çevre Mühendisliği’ndeki Yapay sinir ağı uygulamalarından bazıları

Uygulama Dalı	Kaynak/Uygulamacı
Atık Yönetimi	Dong ve ark.,2003; Filipponi ve ark., 2003
Çevre Yönetimi	Yang ve Kim, 2004; Liu ve Ling, 2003
Çevre Modellemesi	Filippi ve Bisgambiglia, 2004; Kralisch ve ark., 2003
Ekosistem	Recknagel, 2003; Guimaraes ve Lapa, 2003
Nükleer Enerji	Ziver ve ark., 2004; Ortiz ve Requena, 2003
Su Kalitesi Yönetimi	Mahfouz ve Haddara, 2003; Deo ve Jagdale, 2003



2.2.4. Qnet 2000 Yapay Sinir Ağı Programı

Qnet 2000 programı ileri beslemeli geri yayımlı bir yapay sinir ağı programıdır. Programın 120 günlük deneme sürümü ve lisanslı sürümüne internet üzerinden ulaşılabilir. Bu program bir paket program olmasına rağmen; tamamen sinir ağı tasarımı, transfer fonksiyonu seçimi, iterasyon sayısının seçimi, hata oranlarının belirlenmesi gibi bir çok özellik kullanıcı tarafından değiştirilebilir bir yapıdadır.

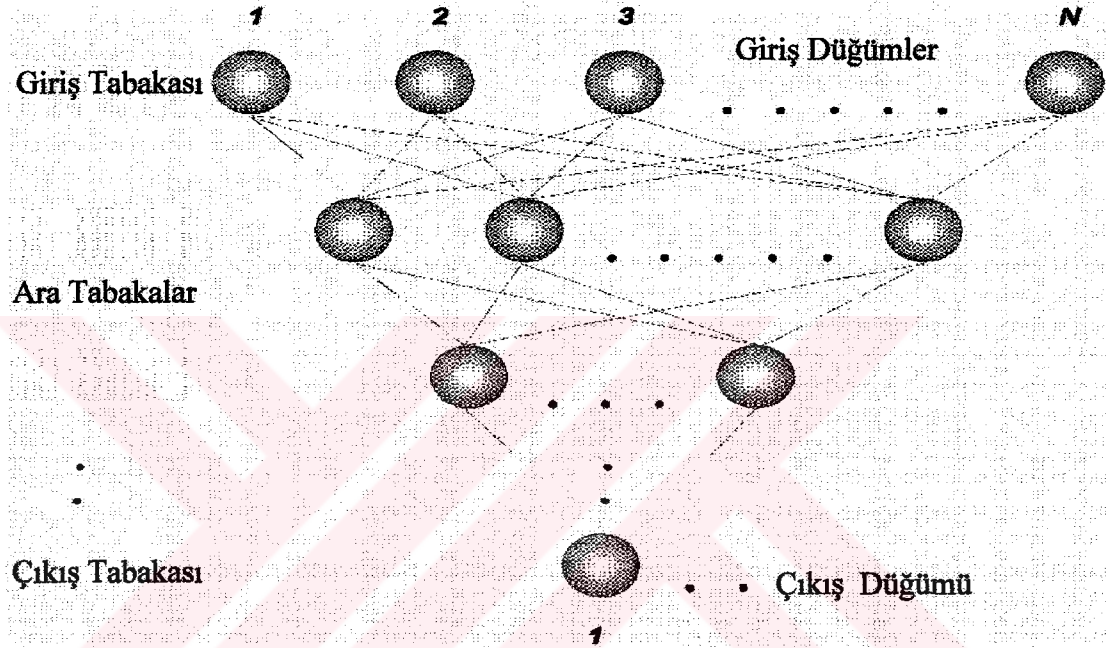
Qnet 2000 programının genel özellikleri şöyledir:

- a) Program Hızı : Bilgisayarın performansına göre her saniyede 6.000.000 bağlantıyı güncelleyebilecek kapasitededir
- b) Çoklu Eğitim(Öğrenme) Modları : Auto Train seçeneği ile kolaylıkla ağ modellerinin yüzlerce eğitim ve devamlılığı sağlanmaktadır.
- c) Hızlı ve kolay ağ dizaynı.
- d) Verilerin kolayca aktarımı.
- e) Sonuçları kolayca grafik olarak verebilme.
- f) Ağ Analiz Seçeneği ile, ağ sorgulaması ve düğüm analizi yaparak ağ performansına katkıda bulunur.
- g) Otomatik kaydetme seçeneği.
- h) Eğitim Hızı Kontrolü (Learn Rate Control) seçeneği ile ağın eğitimi esnasında eğitim oranını ayarlayarak düşük oranlarda vakit kaybını önler.
- i) Bütün özellikleri yeniden ayarlama modu. Bu modla eğitilmiş ağın analizi için yeni verileri seçebilirsiniz.



2.2.4.1. Ağ Dizaynı

Qnet2000 programında genel ağ görünümü Şekil 2.10'daki gibidir. Ağ dizaynı için Network Design kısmında Şekil 2.11'de görüldüğü gibi ağın tabaka sayısına, giriş ve çıkış düğüm noktası sayısına ve ara tabaka sayısına karar verilir. Bu aşamada düğüm noktaları arasındaki transfer fonksiyonları da belirlenmelidir. Qnet 2000 programında kullanılan transfer fonksiyonları Şekil 2.12'de verilmiştir.

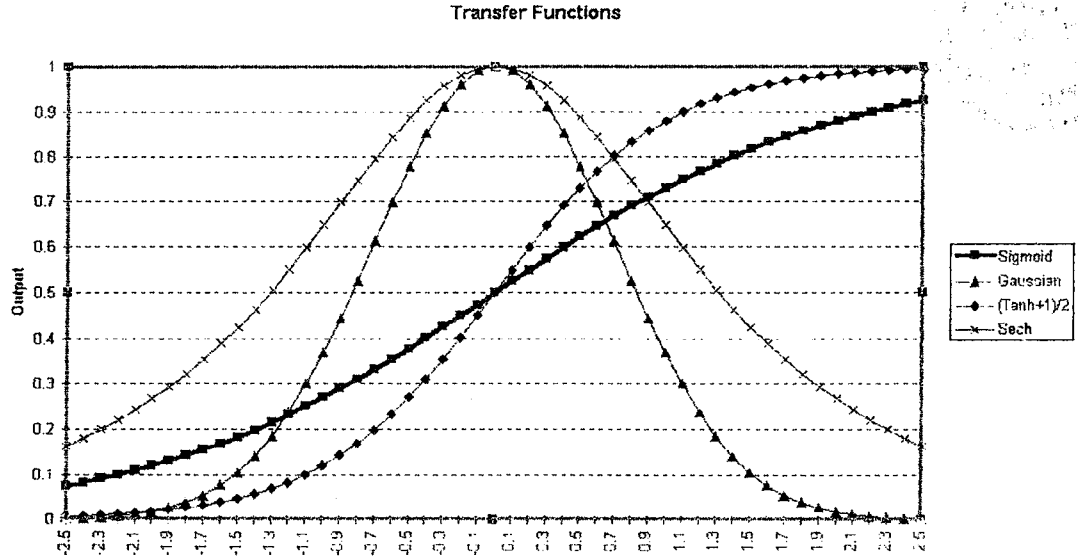


Şekil 2.10. Qnet 2000 programında genel ağ görünümü.

The screenshot shows the 'Network Design' dialog box. It contains the following fields and buttons:

- Network Name: NO NAME
- Number of Network Layers: 3
- Number of Input Nodes: 2
- Hidden Layer 1 Nodes: 2
- Hidden Layer 2 Nodes:
- Hidden Layer 3 Nodes:
- Hidden Layer 4 Nodes:
- Hidden Layer 5 Nodes:
- Hidden Layer 6 Nodes:
- Hidden Layer 7 Nodes:
- Hidden Layer 8 Nodes:
- Number of Output Nodes: 1
- Buttons: Transfer Functions..., Connections..., View Network, OK, Cancel, Help

Şekil 2.11. Ağ Dizayn menüsü (Network Design).



Şekil 2.12. Qnet 2000 programında kullanılan transfer fonksiyonları.

2.2.4.2. Qnet 2000 Yapay Sinir Ağı Programı Algoritması

Geri yayımlı eğitme algoritması mantık dizisi aşağıda görülmektedir. (İfadelerde yer alan vektörler italik olarak gösterilmiştir.)

1. İlk adımda giriş verileri bir giriş vektörüne aktarılır.

$$X(P,1) = (X_{p,1}, X_{p,2}, X_{p,3}, \dots, X_{p,N})$$

Burada P, girişteki veri indisi ve N ise vektörün uzunluğunu ifade etmektedir. N, giriş düğüm sayısı kadardır. Giriş vektörleri hiçbir değişikliğe uğramadan ilk ara tabakaya aktarılır.

2. Ara tabaka veya çıkış tabakasındaki her düğüm noktası bir önceki tabakadan bir giriş vektörünü (X) alır. Her düğüm noktasında giriş vektörleri aşağıdaki denkleme göre işleme tabi tutulur.

$$Y(P,L,J) = X(P,L-1) W(J,L) + B(J,L)$$

İfadede geçen L, tabaka indisi (örneğin giriş tabakası için L=1), J ise ilgili tabakadaki düğüm indisi.

Y(P,L,J), L tabakasındaki J düğümü için işlenmiş sonuç,

$X(P,L-1)$, düğümün giriş vektörü.

$W(J,L)$, iç ağırlık vektörü,

$B(J,L)$, eğilim değeridir.

3. J inci düğüm için sonuç değeri, $Y(P,L,J)$, ilgili düğümün çıkış bağlantısındaki sinyalin gücünü saptamak için bir transfer fonksiyonu vasıtası ile işlenir. Qnet 2000 programında kullanılan transfer fonksiyonları bir önceki kısımda izah edilmişti. Transfer fonksiyonları sayesinde bir düğümün çıkış değeri 0 ile 1 arasında normalleştirilir.

4. Tabakanın çıkış vektörünü biçimlendirmek üzere her düğümün çıkış değeri bulunduğu gizli veya çıkış tabakasında tutulur.

$$X(P,L) = (f(Y(P,L,1)), f(Y(P,L,2)), \dots, f(Y(P,L,K)))$$

İfadede geçen K, L tabakasındaki toplam düğüm sayısıdır.

Elde edilen bu çıkış vektörü bir sonraki tabakanın giriş vektörü olarak aktarılır.

5. Bu işlemler çıkış vektörü, $X(P,O)$ elde edilinedek son tabakaya kadar devam eder. (Programın recall modunda işlemler bu noktada sonlanır.)

6. Çıkış tabakasının hata vektörü $E(P)$ 'yi elde etmek için son çıkış vektörü, eğitimin hedef vektörü $T(P)$, ile birleştirilir.

Hata vektörü hesaplanır;

$$E(P,O) = (T(P) - X(P,O)) X'(P,O)$$

İfadedeki:

$$X'(P,O) = (f'(Y(P,O,1)), f'(Y(P,O,2)), \dots, f'(Y(P,O,K))) \quad (f' = f \text{ transfer fonksiyonunun birinci türevidir})$$

L ara tabakasının J düğüm noktası için hata aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$E(P,L,J) = X'(P,L,J) * \text{SUMK}(E(P,L+1,K) * W(K,L+1,J)).$$

İfadede yer alan K, L+1 inci tabakadaki K düğüm noktası göstermektedir. Bu ifade ile her ara tabaka için hata vektörü $[E(P,L)]$ hesaplanır.

7. Sonra her düğüm için yeniden ağırlık vektörleri hesaplanır.

$$W(J,L).T+1 = W(J,L).T + (\text{eta}).\text{SUMP}(E(P,L,J).X(P,L-1)) \\ + (\text{alpha}) (W(J,L).T - W(J,L).T-1).$$

İfadede yer alan (eta) öğrenme hızını, (alpha) momentum faktörünü ve T ise iterasyon sayısını göstermektedir. Ağırlık değişimi bir önceki ağırlık güncelleme adımından momentum faktörü ile çarpılarak hesaplanır.

8. Her giriş vektörü (veri) ağırlıkları güncellemek üzere ağ boyunca iterasyon sayına göre işlenir.

9. Her iterasyondan sonra eğitim hedefleri ile ağı tepkisi arasındaki hata (RMS) Qnet programı tarafından hesaplanır.

$$\text{RMS Hata} = \text{SQRT}(\text{SUMP}, K((T(P,K) - X(P,O,K))^2) / (PT.KT))$$

İfadede yer alan P, P numaralı giriş parametresi, K ise K numaralı çıkış parametresidir. PT toplam parametre sayısı ve KT toplam çıkış düğüm sayıdır. RMS hata ağı tepkisi sırasındaki hatanın standart sapmasına eşittir..

10. Eğer işlemler sırasında öğrenme hızı kontrolü (Learn Rate Control) yapılıyor ise Qnet programı RMS hata değerindeki değişimi dikkate alarak yeni öğrenme hızı (eta) hesaplar.

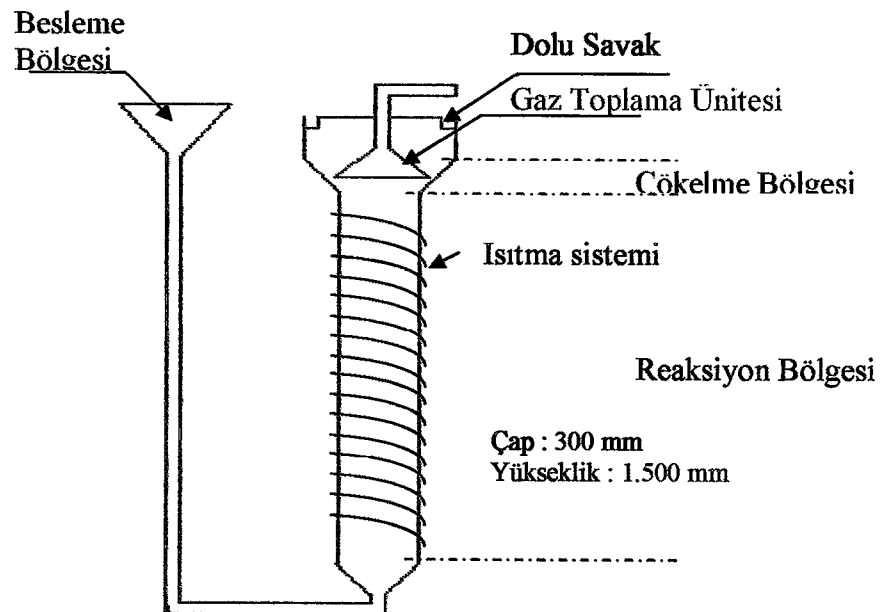
11. Bu işlemler belli bir iterasyon sayısı kadar tekrarlanır.

3. Pilot Tesis ve Yapay Sinir Ağı İle Model Yaklaşımı

3.1. Pilot Tesis

Çalışmada T.M.O. Afyon Alkoloidleri Fabrikası atıksu arıtımı için önerilen Yukarı Akışlı Anaerobik Reaktör verileri kullanılmıştır. Söz konusu fabrika haşhaş kabuğu işleyerek ilaç hammaddesi üretmektedir. Üretim prosesi anlatılacak olursa; temizleme işlemlerinden sonra haşhaş kabuğunda bulunan etkin madde kuvvetli çözücüler kullanılarak kimyasal işlem sonucu ekstrakte edilir. Oluşan atıksu haliyle yaklaşık 25.000 mg KOİ/L gibi yüksek organik kirliliktedir. Fabrikanın mevcut aerobik atıksu arıtma tesisi % 80-90 arıtma verimi ile çalışsa da istenilen deşarj standartlarını sağlayamamaktadır. Bu yüzden aerobik sistem ile birlikte kullanılması düşünülen Yukarı Akışlı Anaerobik Reaktör pilot ölçekte kurulup yapılabilirlik çalışmaları çerçevesinde pilot tesisin KOİ ve alkalinite parametreleri için giriş ve çıkış değerleri ölçülmüştür.

Pilot ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yatağı şematik görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Pilot tesisin şematik görünümü

3.2. Çalışmanın Yapay Sinir Ağı Dizaynı

Çalışmada KOİ ve alkalinite verileri için çok sayıda ağ dizaynı yapılmıştır. Üç ayrı ağ dizayn deneme bilgileri tablo 3.1’de verilmiştir. Her denemede iterasyon sayısı 100.000’dir. Denemeler sırasında dizayn edilen ağların çıkış-hedef değerleri grafikleri ile hata grafikleri çizilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere ikinci denemede çıkış değerleri ile hedef değerler arasındaki hata azalarak devam etmektedir. Bütün denemelerde ağın eğitiminde kullanılan KOİ, pH, sıcaklık ve alkalinite verileri tablo 3.2’de görüldüğü gibi sıralı olarak değil rastgele (random) kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Ağ dizayn deneme bilgileri.

Deneme 1		Deneme 2		Deneme 3	
Tabaka	Düğüm Sayısı	Tabaka	Düğüm Sayısı	Tabaka	Düğüm Sayısı
Giriş	4	Giriş	4	Giriş	4
Ara 1	2	Ara 1	2	Ara 1	2
Ara 2	2	Ara 2	3	Ara 2	3
Çıkış	1	Ara 3	2	Ara 4	2
		Çıkış	1	Ara 5	2
				Çıkış	1

Tablo 3.2. Dizayn edilen ağlarda kullanılan KOİ, pH, sıcaklık ve alkalinite değerleri.

No	Giriş KOİ (mg/L)	Giriş pH	Sıcaklık (°C)	Giriş Alkalinite (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	Çıkış Alkalinite (mg/L)
1	6150	5,40	33,00	695	2953	1948
2	5914	5,60	33,00	877	2650	2166
3	5711	5,40	33,00	887	2073	2340
4	5412	5,40	33,00	903	2125	2524
5	5395	5,60	34,00	1025	1779	2855
6	5200	5,96	34,00	1104	1640	3362
7	5444	6,66	34,00	1123	896	3238
8	5480	6,47	34,00	1302	699	3352
9	6082	6,67	34,00	1169	864	2838
10	5945	6,40	34,00	1220	382	2620
11	5644	6,65	34,00	1317	522	2916
12	6050	6,35	34,00	1302	535	3156
13	5905	6,16	34,00	1233	573	2848
14	6071	6,40	34,50	1625	838	3620
15	6013	6,40	34,50	1771	781	3732
16	6103	6,39	34,50	1511	744	3002
17	6005	6,61	35,00	1835	612	3444
18	5925	6,13	34,50	1603	862	3398

Tablo 3.2. (Devam)Dizayn edilen ağılarda kullanılan KOİ, pH, sıcaklık ve alkalinite değerleri.

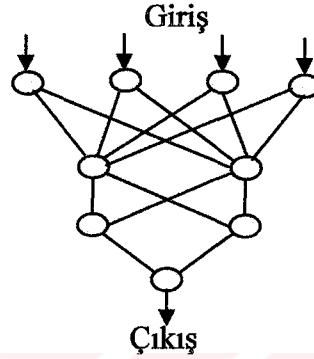
No	Giriş KOİ (mg/L)	Giriş pH	Sıcaklık (°C)	Giriş Alkalinite (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	Çıkış Alkalinite (mg/L)
19	5757	6,12	34,00	1530	673	3414
20	6120	5,80	34,00	1446	765	3480
21	5456	6,04	33,00	1469	750	3530
22	5570	5,76	34,00	1142	684	3238
23	8068	5,54	34,00	1295	630	3400
24	7936	5,45	33,00	1126	1025	4112
25	7900	5,50	33,00	1275	1140	4134
26	7830	5,56	34,00	1270	1062	4480
27	8025	5,31	35,00	717	810	4692
28	8057	5,51	35,00	1074	943	4856
29	7924	5,52	35,00	1263	1061	5694
30	7910	5,83	34,50	1861	1303	5516
31	8078	5,29	35,00	1383	1407	5054
32	8181	5,51	35,00	1403	1008	5323
33	8003	5,68	35,00	1426	1047	5200
34	8108	5,40	34,50	1482	1085	5560
35	8151	5,61	35,00	968	1156	5406
36	8252	5,35	35,00	761	1291	5228
37	12286	5,10	35,00	576	2245	6836
38	12132	5,05	35,50	179	2035	6580
39	12374	5,09	35,50	202	1868	5822
40	12323	5,03	35,50	209	2166	5846
41	11948	5,45	35,00	1128	2133	4925
42	12004	5,48	35,00	1200	2613	5566
43	12063	6,08	35,50	2575	2537	5721
44	11980	6,21	35,50	2708	1827	6805
45	11937	6,22	35,50	2720	1799	6020
46	14408	6,20	35,50	2712	3896	5748
47	14548	5,73	36,00	1508	3232	5145
48	14503	5,70	36,00	1492	4685	5628
49	14953	5,90	36,00	2711	4905	6217
50	14802	6,30	36,00	2141	5076	5280
51	14579	6,30	36,00	2149	5166	5783
52	14959	6,30	36,00	2135	5101	5970
53	14504	6,23	36,00	3090	4581	6340
54	14301	6,15	36,50	2385	4975	6920
55	14303	6,21	36,50	2486	4995	7140
56	14155	6,15	36,00	2244	5136	7058
57	14008	6,20	36,50	2044	4660	7034
58	13758	6,37	37,00	1902	4780	6442
59	13824	6,12	37,00	1874	4065	5980

Tablo 3.2. (Devam)Dizayn edilen ağılarda kullanılan KOİ, pH, sıcaklık ve alkalinite değerleri.

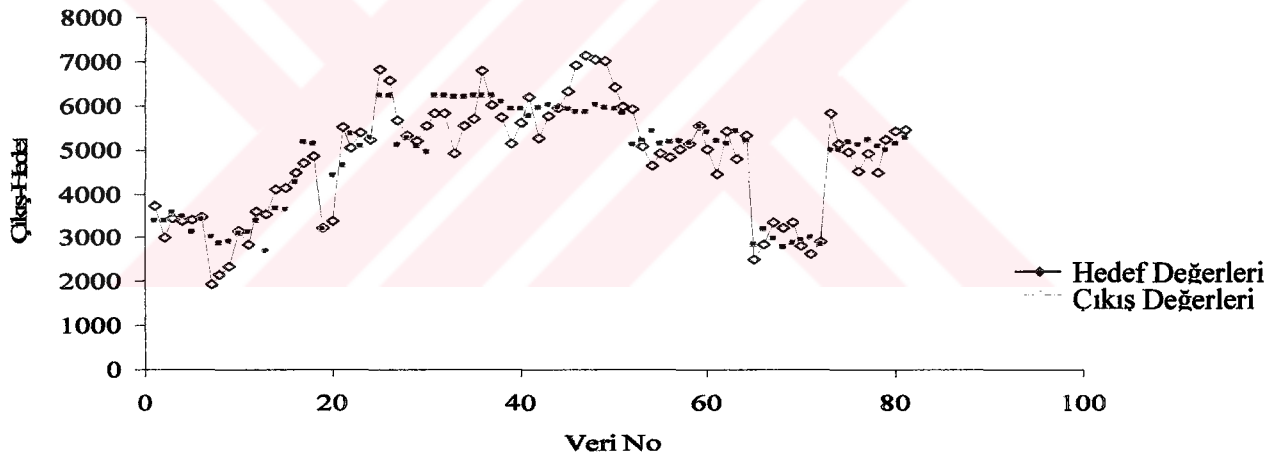
No	Giriş KOİ (mg/L)	Giriş pH	Sıcaklık (°C)	Giriş Alkalinite (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	Çıkış Alkalinite (mg/L)
60	16440	5,25	37,00	582	6240	5926
61	15907	5,22	37,00	564	6099	5094
62	16467	5,20	37,00	570	6261	4492
63	16950	5,30	37,00	784	6662	5236
64	16258	5,35	37,00	792	6516	5420
65	16244	6,03	37,00	2080	6053	5444
66	16863	5,20	37,00	633	6458	5824
67	16946	5,37	37,00	1036	6779	5154
68	16388	5,60	37,00	1180	6443	4960
69	15983	5,20	37,00	1184	6533	4526
70	16118	5,56	37,00	1122	6233	4936
71	15597	5,90	37,00	1298	6196	4648
72	16210	5,37	37,00	1142	6023	4923
73	16080	5,37	37,00	1097	5820	4821
74	15998	5,37	37,00	1023	5557	5028
75	15924	5,20	37,00	1058	5160	5160
76	15647	5,61	36,50	1156	5680	5540
77	15807	5,40	36,50	1203	5240	5020
78	15923	5,43	37,00	1281	5587	4440
79	16025	5,40	37,00	1582	4981	5426
80	15821	5,56	36,50	1510	4801	4801
81	15743	5,51	37,00	1802	4961	5344

3.2.1. Deneme 1

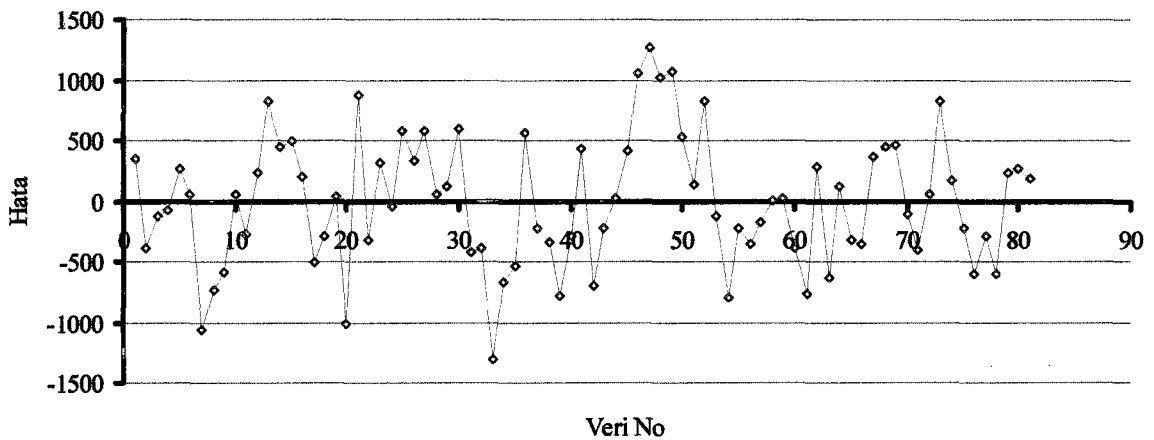
İlk denemede Şekil 3.2’de görüldüğü gibi giriş, çıkış ve iki ara tabakadan oluşan dört tabakalı ağ dizayn edilmiştir. KOİ, pH, sıcaklık ve alkalinite olmak üzere dört parametre ele alındığından giriş tabakası dört düğüm noktasından oluşmaktadır. Dört parametre verileri ağın eğitiminde sırasız olarak kullanılmıştır. Çıkış verileri KOİ ve alkalinite olmak üzere ilk deneme için çıkış-hedef değerleri grafiği ile hata grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.2. Birinci deneme yapay sinir ağı dizaynı.

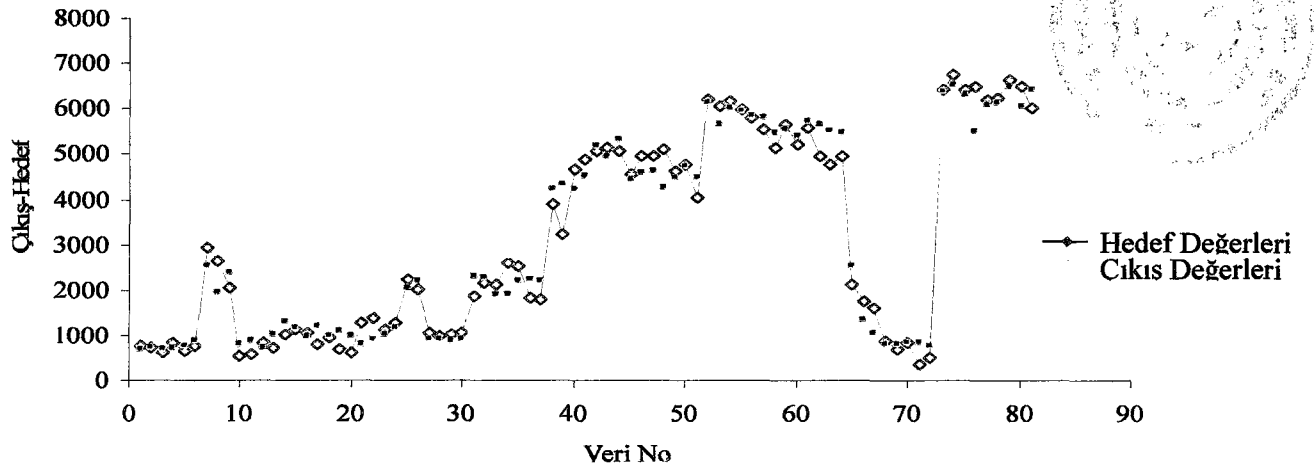


(a) Hedef-çıkış grafiği

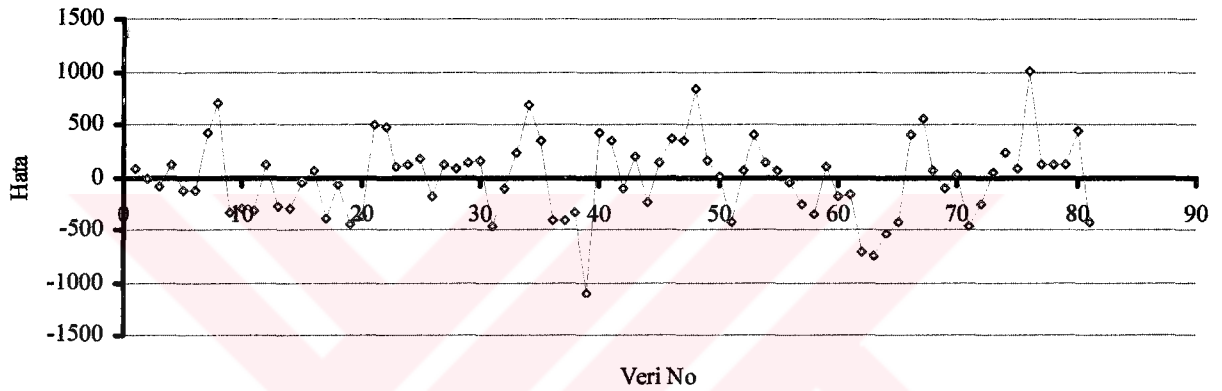


(b) Hata grafiği

Şekil 3.3. Birinci deneme alkalinite (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği..



(a) Hedef-çıkış grafiği

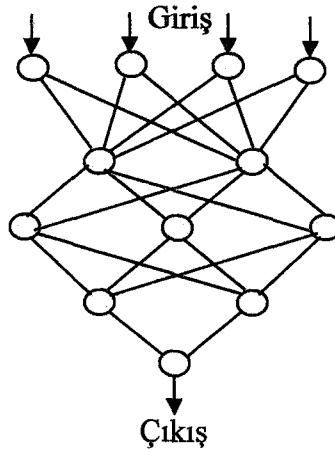


(b) Hata grafiği

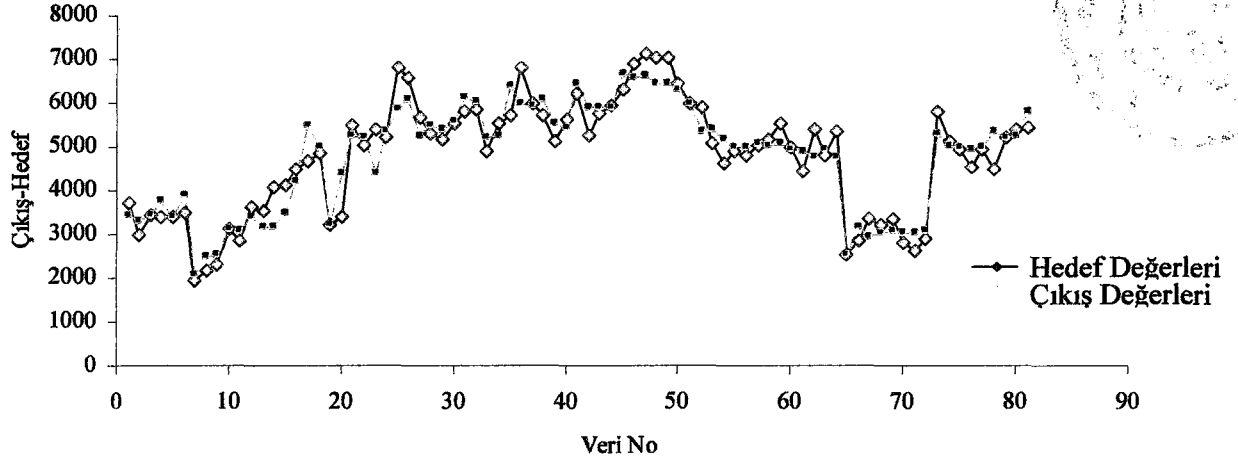
Şekil 3.4. Birinci deneme KOİ (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği..

3.2.2. Deneme 2

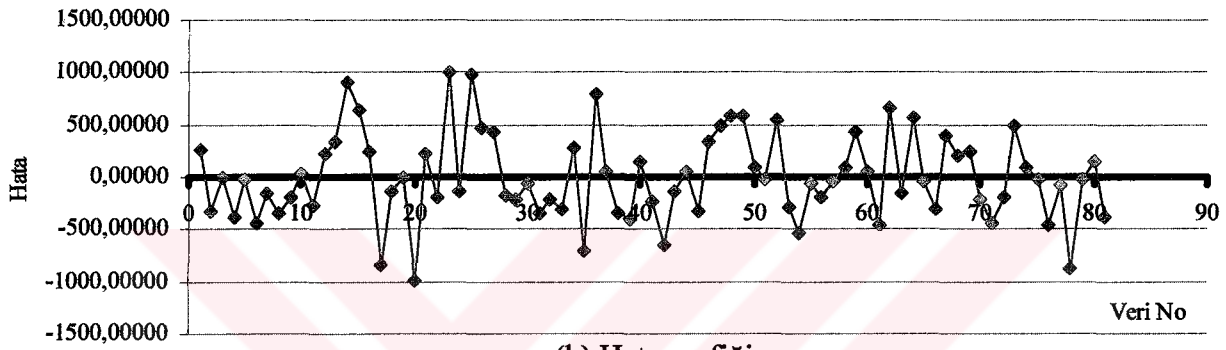
İkinci denemede Şekil 3.5’da görüldüğü gibi giriş, çıkış ve üç ara tabakadan oluşan beş tabakalı ağ dizayn edilmiştir. Çıkış verileri KOİ ve alkalinite olmak üzere ilk deneme için çıkış-hedef değerler grafiği ile hata grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.5. İkinci deneme yapay sinir ağı dizaynı.

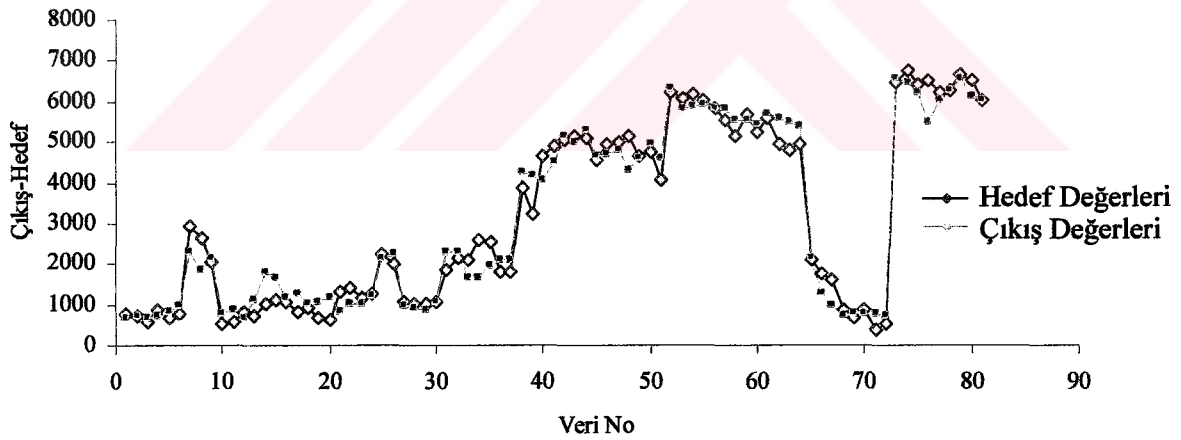


(a) Hedef-çıkış grafiği

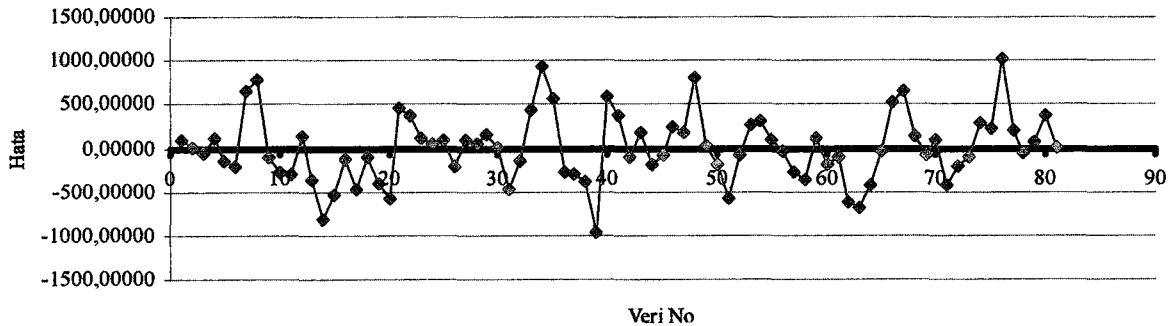


(b) Hata grafiği

Şekil 3.6. İkinci deneme alkalinite (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği..



(a) Hedef-çıkış grafiği

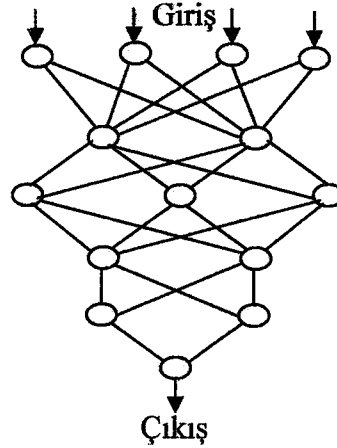


(b) Hata grafiği

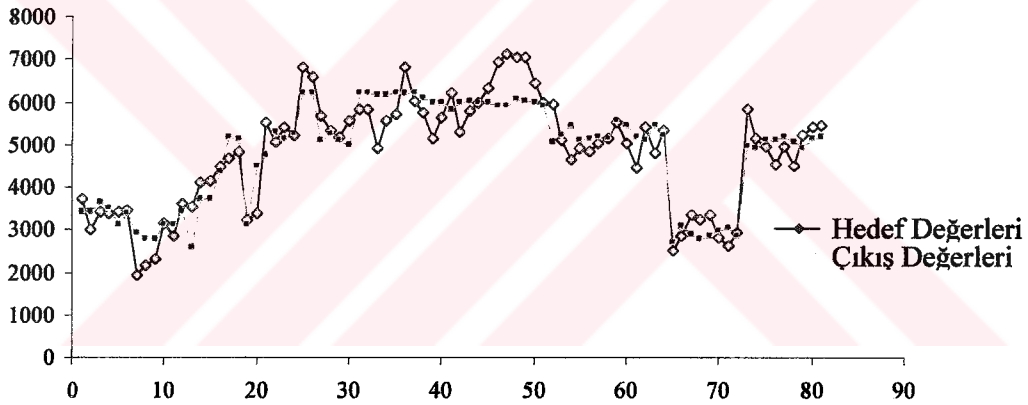
Şekil 3.7. İkinci deneme KOI (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği..

3.2.3. Deneme 3

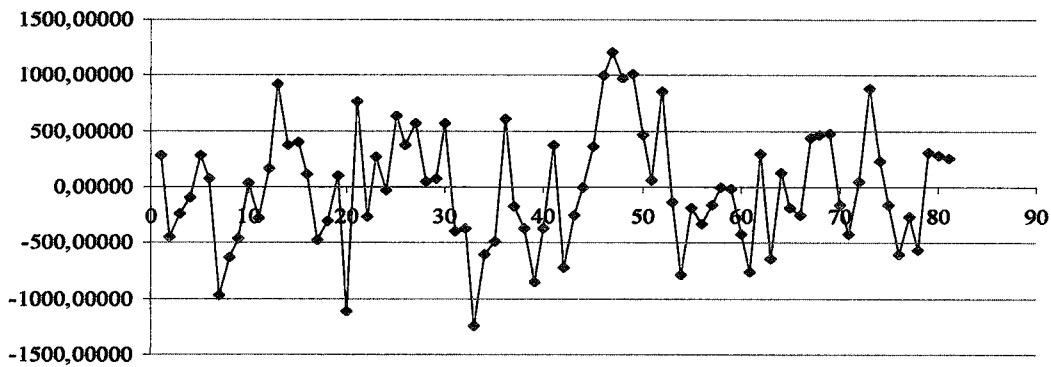
Üçüncü denemede Şekil 3.8'da görüldüğü gibi giriş, çıkış ve dört ara tabakadan oluşan altı tabakalı ağ dizayn edilmiştir. Çıkış verileri KOİ ve lkalinite olmak üzere ilk deneme için çıkış-hedef değerler grafiği ile hata grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.8. Üçüncü deneme yapay sinir ağı dizaynı.

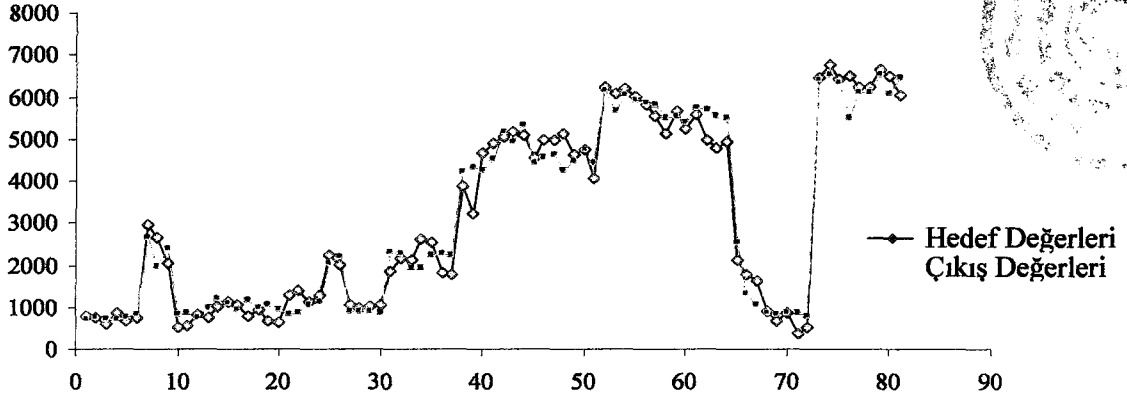


(a) Hedef-çıkış grafiği

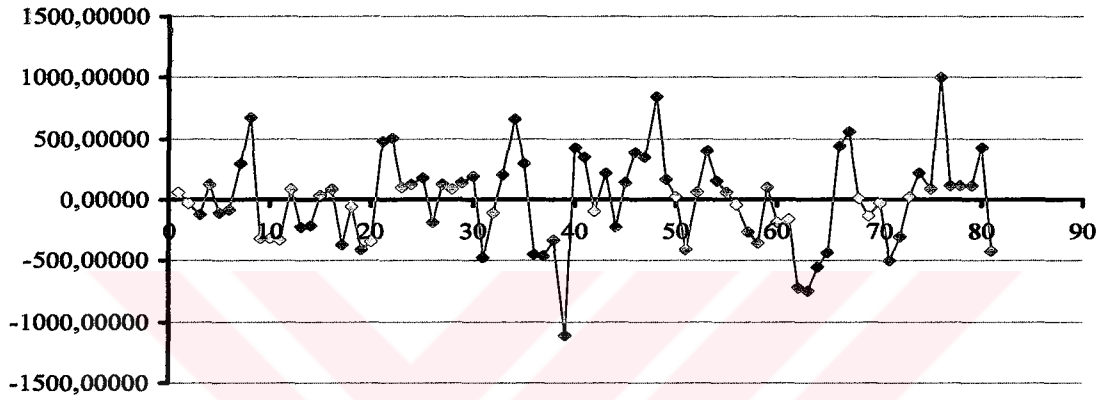


(b) Hata grafiği

Şekil 3.9. Üçüncü deneme alkalinite (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği..



(a) Hedef-çıkış grafiği



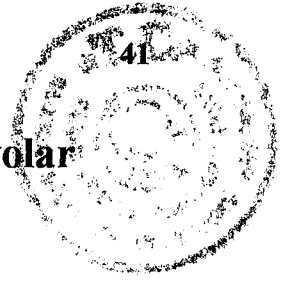
(b) Hata grafiği

Şekil 3.10. Üçüncü deneme KOİ (a) hedef-çıkış grafiği ve (b) hata grafiği..

Tablo 3.3. Yapay sinir ağı dizayn denemelerinin maksimum hata ve korelasyonları.

Deneme Sayısı	Parametre	Maksimum Hata	Korelasyon
Deneme 1	Alkalinite	1298,15137	0,91098
	KOİ	1106,55713	0,98604
Deneme 2	Alkalinite	1006,93945	0,94673
	KOİ	1022,27637	0,98453
Deneme 3	Alkalinite	1233,01123	0,91321
	KOİ	1104,15039	0,98596

Tablo 3.3'den de görüldüğü gibi en iyi sonuçlar deneme 2'de elde edilmiştir. Maksimum hatanın en az olduğu ve korelasyonun KOİ ve alkalinite parametresinde en yüksek olduğu görülmektedir. Ağ dizaynının en iyi olduğu durum deneme 2'de yapılan giriş-çıkış ve üç ara tabakadan oluşan beş tabakalı ağ dizaynıdır.



3.3. Seçilen Ağın Test Edilmesi ve Muhtemel Senaryolar

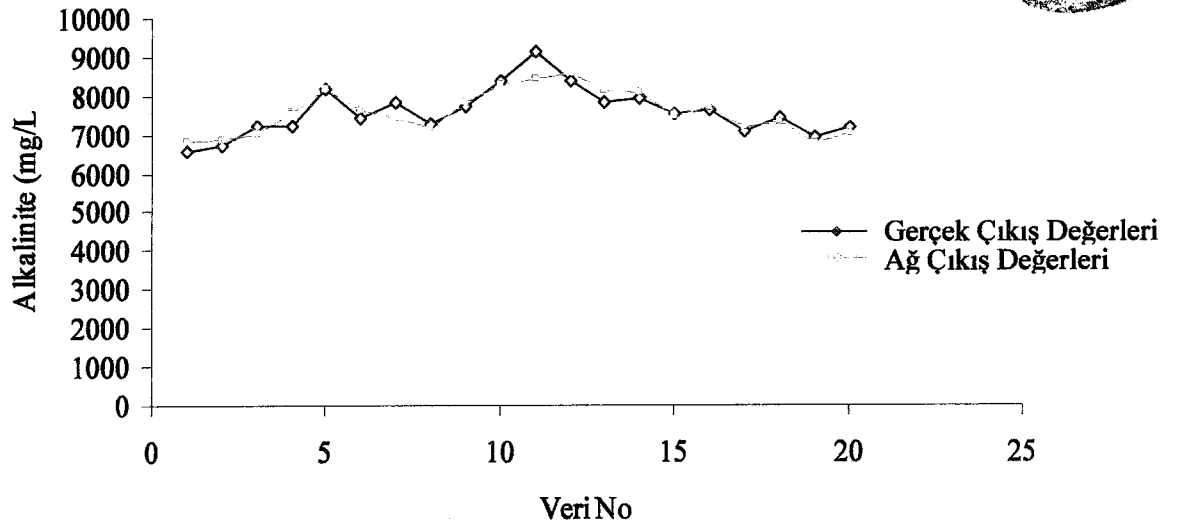
3.3.1 Seçilen Ağın Test Edilmesi

Tablo 3.5'te verilen 20 adet test verileri için deneme 2'de dizayn edilen sinir ağı test edilmiştir. Alkalinite ve KOİ parametreleri için gerçek çıkış ve sinir ağından elde edilen çıkış değerleri grafiği Şekil 3.11'de verilmiştir.

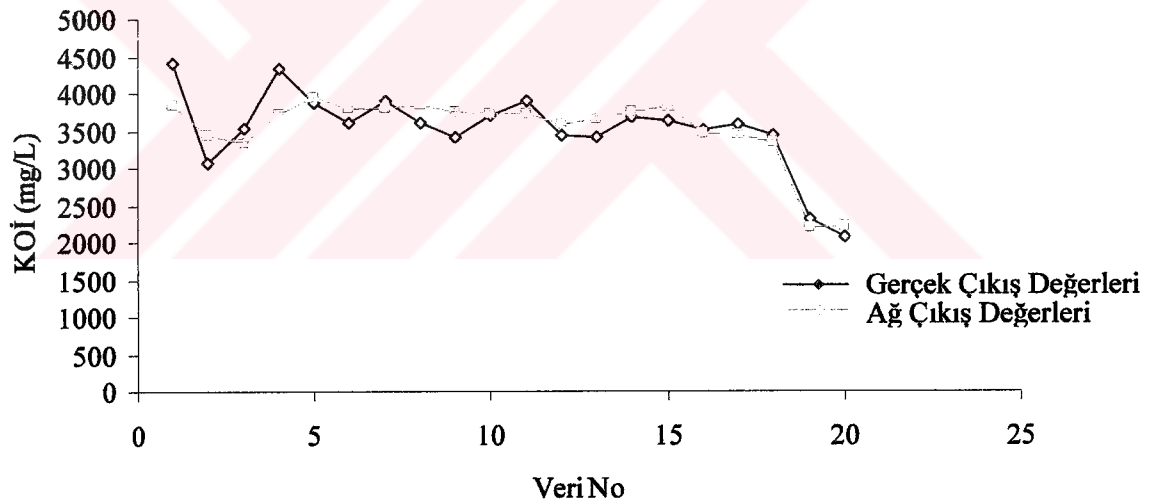
Test sonunda gerçek çıkış değerleri ile sinir ağından elde edilen çıkış değerleri arasında oluşan hata değerleri yüzde olarak Tablo 3.6'da verilmiştir. Alkalinite ve KOİ parametreleri için hata grafikleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Test verileri.

No	Giriş KOİ (mg/L)	Giriş pH	Sıcaklık (°C)	Giriş Alkalinite (mg/L)	KOİ Gerçek Çıkış (mg/L)	Alkalinite Gerçek Çıkış (mg/L)
1	15740	5,90	37,00	2174	4425	6600
2	15932	5,30	36,50	1765	3068	6752
3	15270	5,20	36,00	1923	3528	7215
4	15511	5,50	36,00	2244	4342	7239
5	15706	5,91	36,50	2920	3882	8204
6	15890	5,43	36,50	2504	3618	7441
7	16351	5,62	36,00	2169	3893	7824
8	15558	5,95	35,50	2096	3612	7263
9	15529	5,30	35,50	2546	3421	7719
10	16033	5,50	35,00	2174	3709	8400
11	15855	5,50	35,00	2204	3896	9140
12	15105	5,55	34,50	1943	3432	8400
13	16026	5,60	34,50	1812	3415	7820
14	15930	6,00	34,00	1580	3693	7922
15	15766	6,20	34,00	1684	3633	7545
16	15379	5,50	30,00	1652	3501	7638
17	16099	5,50	34,00	1507	3578	7080
18	15516	5,50	34,00	1498	3444	7425
19	9908	5,50	35,00	1080	2307	6952
20	10451	5,50	33,50	992	2081	7200



(a) Alkalinite parametresi sinir ağı çıkışları.

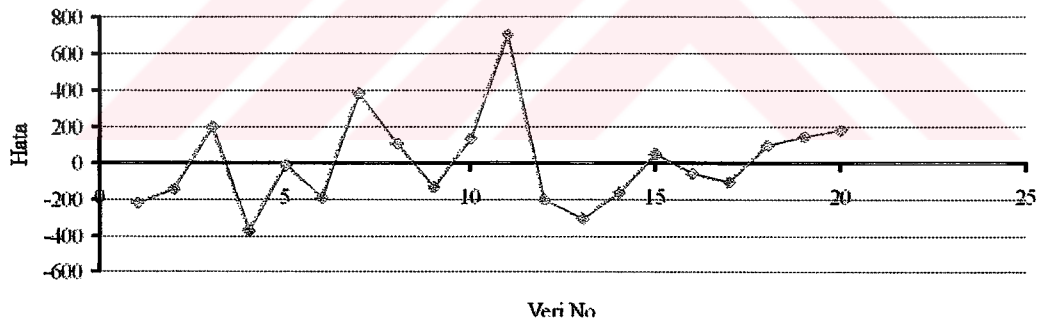


(b) KOI parametresi sinir ağı çıkışları.

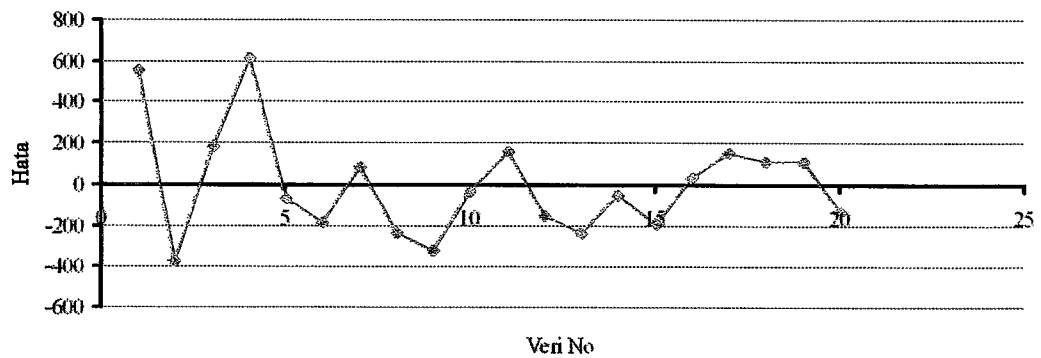
Şekil 3.11. Test verileri yapay sinir ağı (a) alkalinite ve (b) KOI çıkışları.

Tablo 3.5. Gerçek çıkış değerleri ile sinir ağından elde edilen çıkış değerleri arasında oluşan hata değerleri.

No	Alkalinite				KOİ			
	Gerçek Çıkış (mg/L)	Sinir Ağı Çıkışı (mg/L)	Hata	Hata Yüzdesi (%)	Gerçek Çıkış (mg/L)	Sinir Ağı Çıkışı (mg/L)	Hata	Hata Yüzdesi
1	6600	6816.1	-216.1	-3.27	4425	3865.3	559.6	12.65
2	6752	6899.5	-147.5	-2.18	3068	3439.6	-371.6	-12.11
3	7215	7016.6	198.3	2.75	3528	3347.6	180.3	5.11
4	7239	7610.3	-371.3	-5.13	4342	3730.7	611.2	14.08
5	8204	8215.3	-11.3	-0.14	3882	3953.2	-71.2	-1.84
6	7441	7633.6	-192.6	-2.59	3618	3808.4	-190.4	-5.26
7	7824	7443.7	380.2	4.86	3893	3810.9	82.0	2.11
8	7263	7162.9	100.0	1.38	3612	3846.4	-234.4	-6.49
9	7719	7851.6	-132.6	-1.72	3421	3745.3	-324.3	-9.48
10	8400	8271.1	128.8	1.53	3709	3741.6	-32.6	-0.88
11	9140	8436.2	703.7	7.70	3896	3738.0	157.9	4.06
12	8400	8597.6	-197.6	-2.35	3432	3583.8	-151.8	-4.43
13	7820	8121.9	-301.9	-3.86	3415	3650.6	-235.6	-6.90
14	7922	8081.7	-159.7	-2.02	3693	3744.0	-51.0	-1.38
15	7545	7498.5	46.4	0.62	3633	3831.2	-198.2	-5.46
16	7638	7696.0	-58.0	-0.76	3501	3472.6	28.3	0.81
17	7080	7187.8	-107.8	-1.52	3578	3429.1	148.8	4.16
18	7425	7326.7	98.2	1.32	3444	3334.1	109.8	3.19
19	6952	6809	143.0	2.06	2307	2194.4	112.5	4.88
20	7200	7021.6	178.3	2.48	2081	2213.5	-132.5	-6.37



(a) Alkalinite parametresi için hata grafiği.



(b) KOİ parametresi için hata grafiği.

Şekil 3.12. Test verileri (a) alkalinite ve (b) KOİ hata grafikleri.

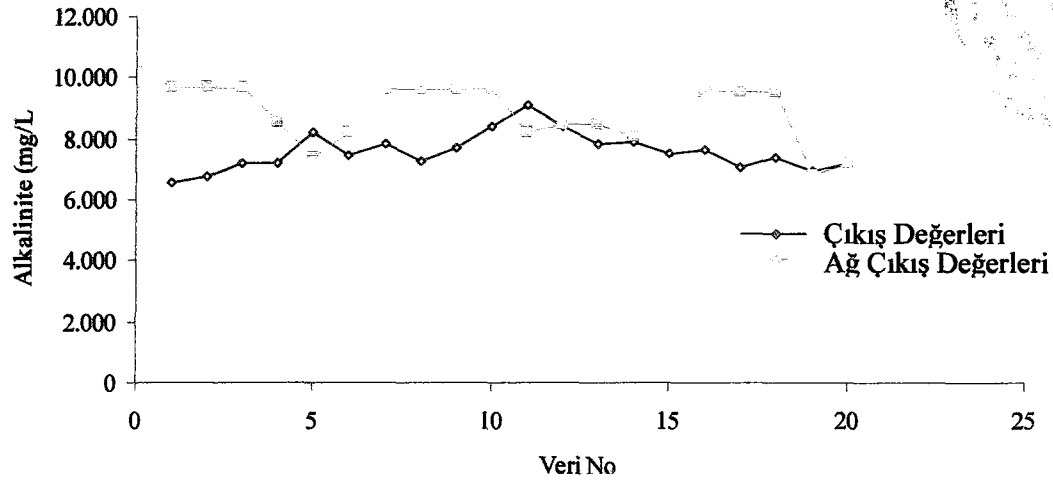
Tablo 3.6'dan ve Şekil 3.12'den görüldüğü üzere sinir ağının test sonuçları yüksek korelasyonludur. Alkalinite parametresi için 20 adet test verilerinin tamamı, KOİ parametresi için ise 20 adet test verilerinden 17 tanesi %10 hatanın altında kalmıştır.

3.3.2 Muhtemel Senaryolar

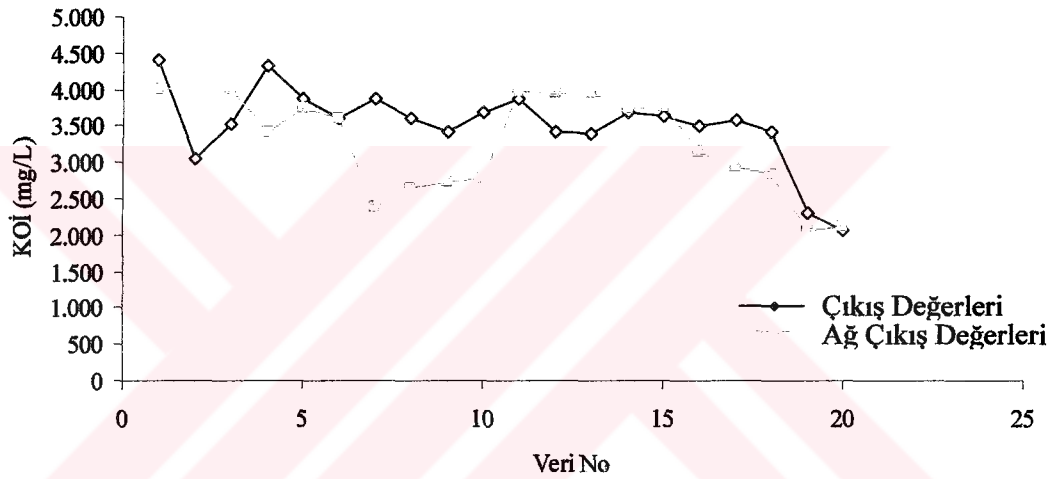
Sistemin giriş parametrelerinin değişimine karşı vereceği tepkinin belirlenmesi için sinir ağı test aşamasında kullanılan 20 adet verinin önce pH değerlerinde Tablo 3.7'de görüldüğü üzere değişiklik yapılmış ve KOİ ve Alkalinite çıkış değerleri sinir ağından elde edilmiştir. Daha sonra sıcaklık değerlerinde Tablo 3.8'de görüldüğü üzere değişiklik yapılmış ve KOİ ve Alkalinite çıkış değerleri sinir ağından elde edilmiştir.

Tablo 3.8. Giriş pH parametresinin değiştirilmiş değerleri

No	Giriş KOİ (mg/L)	Giriş pH	Değiştirilmiş pH	Sıcaklık (°C)	Giriş Alkalinite (mg/L)
1	15740	5,90	9,00	37,00	2174
2	15932	5,30	9,00	36,50	1765
3	15270	5,20	9,00	36,00	1923
4	15511	5,50	5,00	36,00	2244
5	15706	5,91	5,00	36,50	2920
6	15890	5,43	5,00	36,50	2504
7	16351	5,62	3,00	36,00	2169
8	15558	5,95	3,00	35,50	2096
9	15529	5,30	3,00	35,50	2546
10	16033	5,50	3,00	35,00	2174
11	15855	5,50	7,00	35,00	2204
12	15105	5,55	7,00	34,50	1943
13	16026	5,60	7,00	34,50	1812
14	15930	6,00	6,00	34,00	1580
15	15766	6,20	6,00	34,00	1684
16	15379	5,50	5,00	30,00	1652
17	16099	5,50	5,00	34,00	1507
18	15516	5,50	5,00	34,00	1498
19	9908	5,50	5,00	35,00	1080
20	10451	5,50	5,00	33,50	992



(a) Alkalinite parametresi sinir ağı çıkışları.



(b) KOİ parametresi sinir ağı çıkışları.

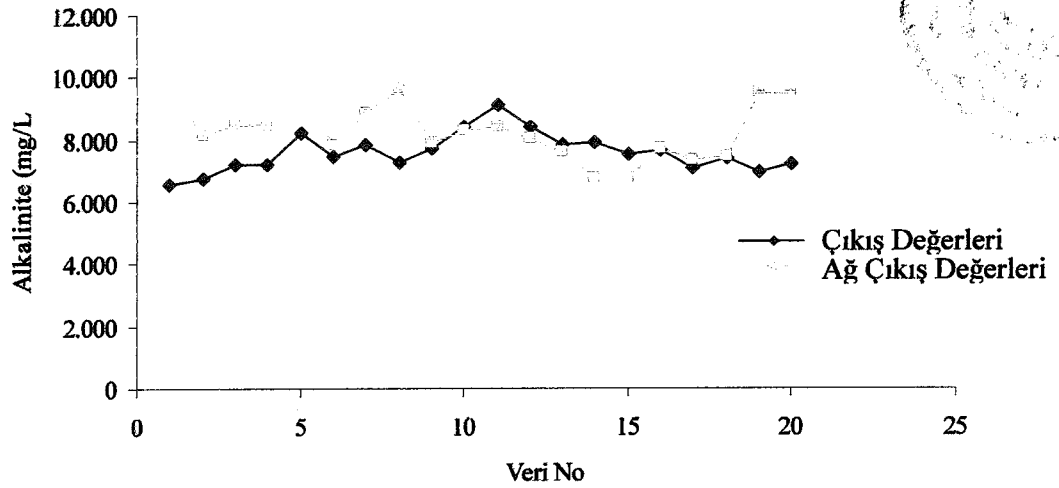
Şekil 3.13. Değiştirilmiş pH değerleri için yapay sinir ağı (a) alkalinite ve (b) KOİ çıkışları.

Grafiklerden de görüldüğü üzere pH değerlerindeki değişim miktarının az olduğu yerlerde sinir ağı çıkışları gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Bu sonuç itibari ile diyebiliriz ki; pH değerlerinde oluşacak değişimlere sistemin nasıl bir tepki vereceğini sinir ağı yardımı ile önceden belirleyebiliriz.

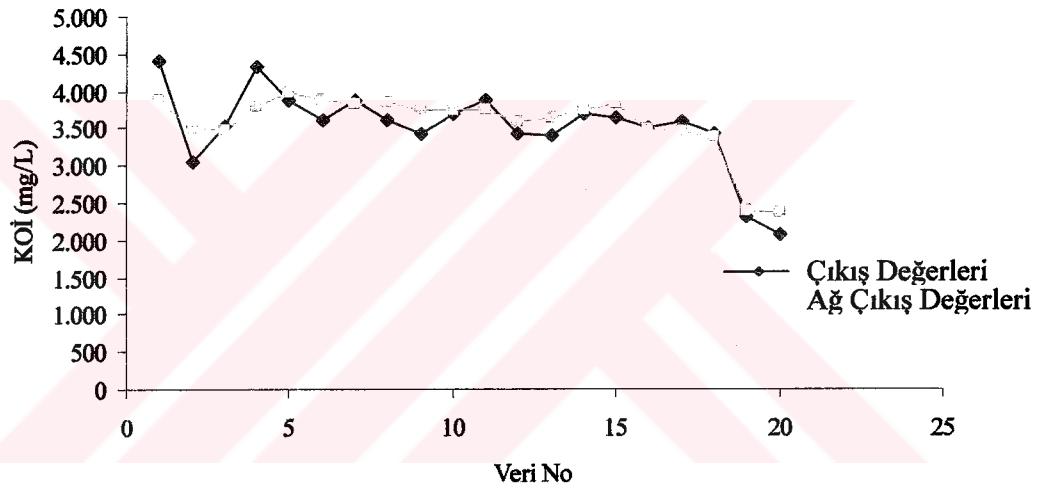
Tablo 3. Giriş sıcaklık parametresinin değiştirilmiş değerleri

No	Giriş KOİ (mg/L)	Giriş pH	Sıcaklık (°C)	Değiştirilmiş Sıcaklık (°C)	Giriş Alkalinite (mg/L)
1	15740	5,90	37,00	30,00	2174
2	15932	5,30	36,50	30,00	1765
3	15270	5,20	36,00	30,00	1923
4	15511	5,50	36,00	30,00	2244
5	15706	5,91	36,50	30,00	2920
6	15890	5,43	36,50	30,00	2504
7	16351	5,62	36,00	30,00	2169
8	15558	5,95	35,50	30,00	2096
9	15529	5,30	35,50	35,00	2546
10	16033	5,50	35,00	35,00	2174
11	15855	5,50	35,00	35,00	2204
12	15105	5,55	34,50	35,00	1943
13	16026	5,60	34,50	35,00	1812
14	15930	6,00	34,00	35,00	1580
15	15766	6,20	34,00	35,00	1684
16	15379	5,50	30,00	30,00	1652
17	16099	5,50	34,00	30,00	1507
18	15516	5,50	34,00	30,00	1498
19	9908	5,50	35,00	30,00	1080
20	10451	5,50	33,50	30,00	992

Sıcaklık parametresinin değiştirilmiş değerleri için sınır açısından elde edilen alkalinite ve KOİ değerleri ile gerçek çıkış değerleri arasındaki grafik Şekil 3.14'te verilmiştir.



(a) Alkalinite parametresi sinir ağı çıkışları.



(b) KOİ parametresi sinir ağı çıkışları.

Şekil 3.14. Değiştirilmiş sıcaklık değerleri için yapay sinir ağı (a) alkalinite ve (b) KOİ çıkışları.

pH değerlerinde de olduğu gibi sıcaklık değerlerindeki değişim miktarının az olduğu yerlerde sinir ağı çıkışları gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Yani dizayn edilen sinir ağı arıtma sistemini uygun bir şekilde temsil etmektedir. Sıcaklık değerlerinde de oluşacak değişimlere sistemin nasıl bir tepki vereceğini sinir ağı yardımı ile önceden belirleyebiliriz.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Çalışma Sonuçları ve Değerlendirmesi

Anaerobik sistemler, yüksek organik yükleme yapılabilmesi, çamur üretiminin az olması ve oluşan biyogazla enerji üretimine imkan sağlaması açısından son yıllarda tercih edilmektedir. Anaerobik sistemlerin önemli dezavantajı ise işletmenin hassasiyet gerektirmesidir. Bu sistemlerin işletmeleri sırasında karşılaşılabilecek problemler çeşitli model yaklaşımlarıyla çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada da T.M.O. Afyon Alkoloidleri Fabrikası atıksu arıtımı için önerilen ve pilot ölçeğe kurulan Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı Sisteminin KOİ ve alkalinite değerleri kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile bir model yaklaşımı yapılmıştır.

Yapay sinir ağlarının çalışma mantığı, insan sinir sistemine benzer şekilde geçmiş verilerden bir bilgi birikimi edinilerek benzer durumlar için bir genelleme yapmak ve bu genelleme sayesinde eksik verilerin olduğu daha karmaşık durumlar için sonuç üretmektir. Bu tez çalışmasında yapay sinir ağı oluşturmak için Qnet 2000 Build 721 yazılımı kullanılmıştır. Bu programda ağ dizaynı ve verilerin aktarımı hızlı ve kolaydır. Bilgisayarın performansına göre her saniyede 6.000.000 bağlantıyı güncelleyerek yüksek korelasyonlarda sonuç vermektedir. Sonuçları grafiksel olarak verebilme özelliği ile daha kolay değerlendirme imkanı sunmaktadır.

Birden fazla ağ dizaynı yapılmış ve bunlardan sadece üç tanesi çalışmada gösterilmiştir. Bu üç ağ dizaynı dört tabaka, beş tabaka ve altı tabakalı olarak çalışmada yer almıştır. Tabaka sayısının ve tabakalardaki düğüm sayılarının fazla olması daha iyi korelasyonlu sonuçlar vereceği anlamına gelmediği görülmüştür.

Birinci denemede KOİ parametresi için maksimum hata 1109,6, korelasyon %0,98604, alkalinite parametresi için maksimum hata 1298,2, korelasyon %0,91098. İkinci denemede KOİ parametresi için maksimum hata 1022,3, korelasyon %0,98453 alkalinite parametresi için maksimum hata 1006,9, korelasyon %0,94673. Üçüncü denemede KOİ parametresi için maksimum hata 1104,2, korelasyon %0,98596 alkalinite parametresi için maksimum hata 1233, korelasyon %0,91321. Görüldüğü üzere hatanın az olduğu ve korelasyonun fazla olduğu en iyi ağ dizaynı ikinci denemede yapılan beş tabakalı ağ dizaynıdır.

İkinci denemede dizayn edilen sinir ağı daha önce ağı eğitimi kullanılmamış 20 adet veri takımı ile test edilmiştir. Test sonucunda alkalinite parametresi için 20 adet verinin tamamı, KOİ parametresi için ise 20 adet veriden 17 tanesi %10 hata limitinin altında hatalara sahip değerler elde edilmiştir. Seçilen ağ dizaynının uygun olduğu ve ağı test aşamasının başarı ile tamamlandığı görülmüştür.

Test aşamasından sonra giriş parametrelerinden pH ve sıcaklık değişimlerinde sistemin nasıl bir tepki vereceğinin araştırılması amacı ile test aşamasında kullanılan giriş verilerinin pH ve sıcaklık değerleri ayrı ayrı değiştirilerek sinir ağına uygulanmıştır. Elde edilen çıkış değerleri ile değiştirilmemiş haldeki gerçek çıkış değerleri arasındaki grafikler çizilerek her iki durum için sistemin verdiği tepkiler gösterilmiştir.

İlgili grafiklerden de görüldüğü gibi dizayn ettiğimiz sinir ağı belli bir hata oranlarında arıtma sistemini temsil etmektedir. Sinir ağı yardımı ile arıtma tesisinin işletilmesinde karşılaşılabilecek sorunlarda sistemin nasıl bir tepki vereceği önceden belirlenebilir ve bu doğrultuda müdahaleler yapılabilir.

4.2. Genel Sonuçlar ve Değerlendirmesi

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi yapay sinir ağlarının yüksek doğrulukta sonuç vermesi için ağı eğitimi kullanılan veri sayısının fazla olması gerekmektedir. Çünkü veri sayısı arttıkça veriler arasındaki ilişkilendirme gerçeğe daha yakın olmakta, hata yüzdeleri düşmektedir.

Belli bir kararlılığa ulaşmamış sistemler için Yapay Sinir Ağları ile doğru bir değerlendirme yapılamaz. Çünkü sistemin kararsızlığı sinir ağında kullanılacak veriler arasındaki ilişkinin yanlış kurulmasına neden olur. Yapay sinir ağlarının Çevre Mühendisliğinde belli bir arıtma verimini yakalamış, kararlı sistemler için kullanılması daha uygundur.

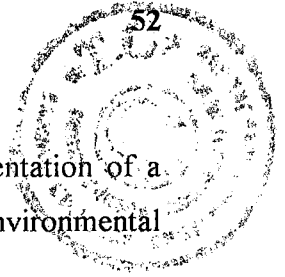
Sinir ağında kullanılacak parametreler gerçeği temsil etmeli, parametre ölçümleri doğru yapılmalıdır. Ölçümü yanlış yapılmış bir parametrenin verileri kullanılarak eğitilen sinir ağı veriler arasındaki ilişkinin yanlış olmasından dolayı gerçeğe yakın sonuçlar vermez.

Yapay sinir ağının eğitiminde kullanılan veri sayısı ne kadar fazla ise sinir ağının verdiği sonuçlar gerçeğe o kadar yaklaşmaktadır.

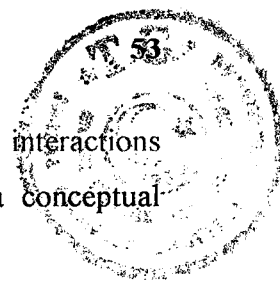


KAYNAKLAR

- [1] **Altınbaş, M.**, 2000. Anason Posasının Aerobik Kompostlaşabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] **Arslan, A., Ince, R.**, Yapı Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağları ve Uygulama Potansiyeli, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV Sempozyumu, İ.T.Ü.
- [3] **Batstone, D.J., Keller, J.**, 2002. Industrial Applications of the IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ASM1). IWA Publishing, London.
- [4] **Baum, C.E.**, 1976. The Singularity Expansion Method in Transient Electromagnetic Fields, L.B. Felsen, Ed. New York: Springer-Verlag, Ch. 3, pp. 129-179,
- [5] **Bhuyan, S.J., Koelliker, J.K., Marzen, L.J., Harrington, Jr., J.A.**, 2003. An integrated approach for water quality assessment of a Kansas watershed. Environmental Modelling & Software 18, 473-484.
- [6] **Blair, W.D., Watson, G.A., Kirubarajan, T., Bar-Shalom, Y.**, 1998. Benchmark for Radar Allocation and Tracking in ECM, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 34, No. 4, pp. 1097-1114.
- [7] **Bourgeois, W., Stuetz, R.M.**, 2002. Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater. Water Research. 36, 4505-4512.
- [8] **Dewettinck, T., Hege, K.V., Verstraete, W.**, 2001. The Electronic Nose as a Rapid Sensor for Volatile Compounds in Treated Domestic Wastewater. Wat. Res. Vol. 35, 10, 2475-2483
- [9] **Demir, İ.**, 2004. Çevre Mühendisliğinde Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağı Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, KOCAELİ
- [10] **Dutta, R., Hines, E.L., Gardner, J.W., Udrea, D.D., Boilot, P.**, 2003a. Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach. Measurement Science and Technology (IoP). 14, 190-198.
- [11] **Dong, C., Jin, B. and Li, D.**, 2003. Predicting the heating value of MSW with a feed forward neural network, Waste Management, 23(2), 103-106.



- [12] **Filippi, J. B. and Bisgambiglia, P.**, 2004. JDEVS: an implementation of a DEVS based formal framework for environmental modelling, *Environmental Modelling Software*, 19(3), 261-274.
- [13] **Gardner, J.W., Shin, H.W., Hines, E.L., Dow, C.S.**, 2000. An electronic nose system for monitoring the quality of potable water. *Sensors and Actuators B*, 69, 336-341.
- [14] **Hopfield, J.J.**, 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proceeding of National Academy of Sciences*, 7, 2554.
- [15] **Karaboga, D., Güney, K., Sagiroglu, S., Erler, M.**, 1999. Neural Computation of Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas, *IEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation*, Pt.H., Vol. 146, pp. 155-159.
- [16] **Kosko, B.**, 1992. *A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. Neural Networks and Fuzzy Systems*. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs. 449.
- [17] **Lobbrecht, A.H., Solomatine, D.P.**, 2002. Machine learning in real-time control of water systems, *Urban Water*, 4(3), 283-289.
- [18] **Mahfouz, A. B. and Haddara, M. R.**, 2003. Effect of the damping and excitation on the identification of the hydrodynamic parameters for an underwater robotic vehicle, *Ocean Engineering*, 30(8), 1005-1025.
- [19] **Maren, A., Harston, C., Pap, R.**, 1990. *Handbook of Neural Computing Applications*, Academic Press, London, ISBN 0-12-471260-6.
- [20] **Murat. S.**, 2002. Ardışık Kesikli Reaktörler İle Deri Endüstrisi Atıksularında Karbon ve Azot Gideriminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [21] **Öztürk. İ.**, 2000. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı, İstanbul
- [22] **Öztürk. İ., Altınbas. M., Arıkan. O. ve Demir. A.**, 1999. Anaerobic UASBR Treatment of Young Landfill Leachate, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol: 8, No: 5-6, pp: 389-396.
- [23] **Patterson, D.W.**, 1996. *Artificial neural networks – Theory and Applications*. Prentice Hall, USA.



- [24] **Recknagel, F.**, 2003. Simulation of aquatic food web and species interactions by adaptive agents embodied with evolutionary computation: a conceptual framework, *Ecological Modelling*, 170(2-3), 291-302.
- [25] **Rumelhart, D.E., McClelland, J.L.**, 1986. *Parallel Distributed Processing*, Vol. 1, MIT Press, Cambridge.
- [26] **Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J.**, 1986. Learning representations by back-propagation errors. *Nature*. 323, 533–536.
- [27] **Sagiroglu, S., Güney, K.**, 1997. Calculation of Resonant Frequency for an Equilateral Triangular Microstrip Antenna Using Artificial Neural Networks, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol. 14, No. 2, pp. 89-93.
- [28] **Sagiroglu, S., Güney, K., Erler, M.**, 1998. Resonant Frequency Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Artificial Neural Networks, *Int. J. of RF Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering*, Vol. 8, pp. 270-277.
- [29] **Schweizer-Berberich, P.M., Vaihinger, S., Gopel, W.**, 1994. Characterization of food freshness with sensor arrays. *Sensors and Actuators B*. 18, 282–290.
- [30] **Tchobanoglous, G., Burton, F.L.**, 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- [31] **Yang, I. H. and Kim, K. W.**, 2004. Prediction of the time of room air temperature descending for heating systems in buildings, *Building and Environment*, 39(1), 19-29.
- [32] **Yücetürk, A.C., Korel, F., Balaban, M.Ö.**, 2001. Application of Neural Networks in Determining the Storage time of milk samples obtained by an electronic nose. *Proc. of 10th Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks (TAINN'2001)*. TRNC, 6-11.
- [33] **Ziver, A. K., Pain, C. C., Carter, J. N., de Oliveira, C. R. E., Goddard, A. J. H. and Overton, R. S.**, 2004. Genetic algorithms and artificial neural networks for loading pattern optimisation of advanced gas-cooled reactors, *Annals of Nuclear Energy*, 31(4), 431-457.

OZGEÇMİŞ



1978 yılında Afyon'da dünyaya geldim. Lise öğrenimimi 1994'te Bolvadin Lisesinde tamamladım. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldum. 2002-2003 öğretim yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans programına başladım. Kurucuları arasında yer aldığım, 1999 yılında kurulan TİN Mühendislik Ltd. Şti. firmasında yöneticilik görevime halen devam etmekteyim.

