

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLİK YAPILARIN HAVALANDIRMA VERİMLERİNİN
UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ İLE
MODELENMESİ**

HAZIRLAYAN
Emrah ÖZPOLAT

Tez Yöneticisi
Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ- 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLİK YAPILARIN HAVALANDIRMA VERİMLERİNİN
UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ İLE
MODELENMESİ**

Emrah ÖZPOLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

Üye: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Yrd. Doç. Dr. Engin AVCI

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen, her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet BAYLAR' a ve Yrd. Doç. Dr. Davut HANBAY' a içten teşekkürlerimi sunarım. Tüm yaşantım boyunca bana inanan, başarılı olacağıma inanmamda büyük etkisi olan ve sonsuz desteklerini benden esirgemeyen aileme ve eşime özel olarak teşekkür ederim.

Emrah ÖZPOLAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vii
SEMBOLLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. AKILLI SİSTEMLER.....	3
2.1. Yapay Sinir Ağları.....	3
2.1.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi	6
2.1.2. Aktivasyon Fonksiyonları	8
2.1.3. Yapay Sinir Ağları Modelleri	10
2.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Mühendislik Alanında Kullanılması.....	11
2.2. Uzman Sistemler	13
2.2.1. Uzman Sistemin Yapısı	14
2.2.1.1. Bilgi Tabanı	14
2.2.1.2. Çıkarım Mekanizması.....	15
2.2.1.3. Ara Yüzler	15
2.2.1.4. Bilgi Gösterimi.....	15
2.2.2. Uzman Sistemlerin Geleneksel Bilgisayar Programlarından Farkları	17
2.2.3. Uzman Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	18
2.2.4. Uzman Sistemin Uygulama Alanları	20
2.3. Genetik Algoritma	21
2.3.1. Genetik Algoritma Aşamaları	22
2.3.2. Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları	23
2.4. Bulanık Mantık.....	24

2.4.1. Bulanık Mantık Aşamaları	25
2.4.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UATBÇS)	26
2.2.4.1. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Modelleme.....	28
2.2.4.2. UATBÇS Ağında Kullanılan Melez Öğrenme Algoritması.....	30
3. UATBÇS UYGULAMALARI.....	32
3.1. UATBÇS'e Göre Basamaklı Savaklar Üzerindeki Akım Şartlarını Tahmin Etme.....	33
3.1.1. Basamaklı Savakların Hidroliği	33
3.1.1.1. Sıçramalı Akım.....	34
3.1.1.2. Geçiş Akımı	34
3.1.1.3. Nap Akımı.....	35
3.1.2. Basamaklı Savakların Projelendirilmesi.....	35
3.1.2.1. Ön Plan Hazırlanması	36
3.1.2.2. Savak Genişliğinin Seçimi.....	36
3.1.2.3. Savak Kretinin Seçimi.....	37
3.1.2.4. Maksimum Çıkış Debisinin Meydana Gelmesi	38
3.1.2.5. Optimum Basamak Yüksekliğinin Seçimi.....	38
3.1.2.6. Basamak Uzunluğu ve Kanal Eğim Açısının Seçimi.....	38
3.1.3. Deneysel Çalışma	39
3.1.3.1. Deney Düzeneği	39
3.1.3.2. Deneysel Sonuçlar	40
3.1.4. UATBÇS Modelleme Sonuçları.....	41
3.2.UATBÇS Kullanılarak Basamaklı Savakların Havalandırma Verimliliğinin Modellenmesi.....	45
3.2.1. Havalandırma Verimi	45
3.2.1.1. Çift Film Teorisi	46
3.2.1.2. Oksijen Trasfer Verimi	49
3.2.1.3. Su Sıcaklığının Oksijen Trasfer Verimine Etkisi.....	49
3.2.1.4. Oksijen Trasfer Veriminin Belirlenmesinde Gerekli Olan Bilgiler	51
3.2.2. Deneysel Çalışma	52

3.2.2.1. Deney Düzenegi	52
3.2.2.2. Deneyisel Sonuçlar	53
3.2.3. UATBCS Modelleme Sonuçları	57
3.3. UATBCS Kullanılarak İnce Kenarlı Savakların Havalandırma Veriminin Modellenmesi	61
3.3.1. Savak Havalandırması	61
3.3.2. Deneyisel Çalışma	62
3.3.2.1. Deney Düzenegi	62
3.3.2.2. Deneyisel Sonuçlar	64
3.3.3. UATBCS Modelleme Sonuçları	67
4. SONUÇ	74
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tipik bir biyolojik nöron.....	4
Şekil 2.2. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	4
Şekil 2.3. Bir biyolojik nöronun matematiksel modellenmesi.....	5
Şekil 2.4. Sinir sisteminde bilgi akışı.....	6
Şekil 2. 5. Temel yapay sinir ağı hücresi.....	7
Şekil 2.6. Eşik aktivasyon fonksiyonu.....	8
Şekil 2.7. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	9
Şekil 2.8. Logaritma sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	9
Şekil 2.9. İleri beslemeli yapı.....	10
Şekil 2.10. Geri beslemeli yapı	11
Şekil 2.11. Tipik bir uzman sistem yapısı	14
Şekil 2.12. Uzman sistem oluşturulurken izlenecek prosedür.	16
Şekil 2.13. GA adımlarının akış diyagramıyla gösterilmesi.....	23
Şekil 2.14. BMD'nin temel yapısı	24
Şekil 2.15. 2 girişli 9 kurallı bir uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi yapısı.....	27
Şekil 2.16. a) Bir sistemin uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile düz modellenmesi blok diyagramı, b) Bir sistemin uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile ters modellenmesi blok diyagramı	29
Şekil 3.1. Basamaklı savaklarda hava giriş mekanizması.....	35
Şekil 3.2. Basamaklı savaklar üzerinde akım şartlarının belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği.....	39
Şekil 3.3. Basamaklı savaktaki akış şartlarının sınıflandırılması.....	40
Şekil 3.4. UATBÇS modelinin öğrenme performansı	41
Şekil 3.5. UATBÇS' in test performansı.....	43
Şekil 3.6. Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) grafiksel gösterilişi.....	47
Şekil 3.7. Basamaklı savakların havalandırma verimini belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği.....	52
Şekil 3.8. UATBÇS sistem yapısı.....	57

Şekil 3.9. UATBÇS modelinin öğrenme performansı	59
Şekil 3.10. UATBÇS modelin test performansı	60
Şekil 3.11. İnce kenarlı savak.....	61
Şekil 3.12. Savaklarda hava girişi mekanizması	62
Şekil 3.13. İnce kenarlı savakların havalandırma verimini belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği	63
Şekil 3.14. 45° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	64
Şekil 3.15. 90° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	65
Şekil 3.16. 135° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	65
Şekil 3.17. 45° Üçgen savakta oksijen veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi	66
Şekil 3.18. 90° Üçgen savakta oksijen veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi	66
Şekil 3.19. 135° Üçgen savakta oksijen veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi	67
Şekil 3.20. UATBÇS model yapısı.....	68
Şekil 3.21. UATBÇS modelin Q_A değerlerini tahmin etme performansı.....	72
Şekil 3.22. UATBÇS modelin E20 değerlerini tahmin etme performansı	73

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Uzman sistemler ve geleneksel bilgisayar programları arasındaki genel farklar	18
Tablo 2.2. Uzman sistemlerin geliştirilmiş olduğu bazı alanlar	21
Tablo 3.1. UATBÇS test değerleri ve akış rejimi tahminleri	42
Tablo 3.2. UATBÇS yapısı	44
Tablo 3.3. Farklı tipte üyelik fonksiyonlarının performansı	44
Tablo 3.4. Basamaklı savak deney sonuçları ($h = 0.05$ m)	54
Tablo 3.5. Basamaklı savak deney sonuçları ($h = 0.10$ m)	55
Tablo 3.6. Basamaklı savak deney sonuçları ($h = 0.15$ m)	56
Tablo 3.7. Deneylerde kullanılan savakların boyutları	63
Tablo 3.8. UATBÇS, NLR ve LR modelleri kullanarak bulunan Q_A ve regresyon değerleri	69
Tablo 3.9. UATBÇS, NLR ve LR modelleri kullanarak bulunan E_{20} ve regresyon değerleri	71

SEMBOLLER LİSTESİ

$\frac{dC}{dt}$	: Konsantrasyon değişme hızı (mg/L/s)
$\frac{A}{V}$	: Özgül ara kesit yüzeyi
$\frac{dm}{dt}$	: Madde transfer hızı (g/s)
A	: Oksijen transferinin meydana geldiği yerdeki alan (m ²)
b _s	: Savak genişliği (m)
C	: Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _d	: Standart şartlarda mansapta bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _s	: Standart şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
C _u	: Standart şartlarda membada bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
E	: Oksijen transfer verimi (deney şartlarındaki T °C de)
E ₁₅	: 15 °C deki oksijen transfer verimi
E ₂₀	: 20 °C'deki oksijen transfer verimi
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
H	: Mansap su derinliği (m)
h	: Suyun düşme yüksekliği (m)
K _g	: Oksijen için difüzyon katsayısı
K _L	: a ve K _g yerine sıvı film katsayısını gösteren bir sembol
L _s	: Kanal uzunluğu (m)
q	: Birim genişlikten geçen debi (m ³ /s/m)
Q	: Savak debisi (m ³ /s)
r	: T °C deki oksijen eksiklik oranı
r ₁₅	: 15 °C'deki oksijen eksiklik oranı
s _s	: Üçgen savak derinliği (m)
t	: Oksijen transferinin meydana geldiği zaman (s)
t _u ve t _d	: Kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği süreler (s)
T	: Su sıcaklığı (°C)
V	: Havalandırılan suyun hacmi (m ³)
W _s	: Toplam üçgen savak derinliği (m)

- α : Basamaklı kanal açısı (derece)
- α_t : Hidrolik yapılarda oksijen transferi için bir katsayı
- θ : Üçgen savaklarda tepe açısı (derece)

KISALTMALAR LİSTESİ

UATBÇS	: Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi
YSA	: Yapay sinir ağları
GA	: Genetik algoritma
BMD	: Bulanık mantık denetleyicisi
Dsigmf	: Sigmoid üyelik fonksiyonu
Gauss2mf	: Gauss kombinasyon üyelik fonksiyonu
Gauss2mf	: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu
Pimf	: Π - eğrisi üyelik fonksiyonu
Psigmf	: İki sigmoidli üyelik fonksiyonu
Trapmf	: Trapeziodal üyelik fonksiyonu
Trimf	: Üçgen üyelik fonksiyonu

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİDROLİK YAPILARIN HAVALANDIRMA VERİMLERİNİN UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ İLE MODELLENMESİ

Emrah ÖZPOLAT

T.C. Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2008, Sayfa: 80

Nehir ve akarsulardaki çözünmüş oksijen miktarı, hem suyun kalitesini gösteren bir özellik olarak hem de suda yaşayan canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gereken çok önemli bir kriterdir. Hidrolik yapılar, akarsu ile kısa bir süre için temasta olmalarına rağmen, bir nehir sistemindeki çözünmüş oksijen miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Bir nehirde doğal olarak birkaç kilometrede meydana gelebilecek oksijen transferi, tek bir hidrolik yapı ile hızlı bir şekilde meydana getirilebilir. Hızlandırılmış oksijen transferinin asıl sebebi, akım içerisine çok miktarda hava kabarcığının aktarılmasıdır. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut yüzey alanını çok miktarda artırır. Savaklardan serbest düşen jetler, bunun özel bir örneğidir ve birkaç yıldır laboratuvar ve arazide geniş bir şekilde incelenmektedir.

Geçen bir kaç yıl içerisinde, inşaat mühendisliğindeki bilgisayarlı hesaplamalarda Yapay Zeka uygulamaları ilk sırayı almıştır. Bu uygulamalar genellikle uzman sistemleri içermektedir. Bu tezde değişik bir Yapay Zeka yaklaşımı olan

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UATBÇS) değinilmiş ve üç uygulama sunulmuştur.

Bunlar, basamaklı savaklar üzerindeki akım şartları, basamaklı savaklar ve ince kenarlı savakların havalandırma verimlerini Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UATBÇS) kullanılarak modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UATBÇS), basamaklı savak, havalandırma verimi, ince kenarlı savak

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODELLING AERATION EFFICIENCY OF HYDRAULIC STRUCTURES BY USING ADAPTIVE NETWORK BASED FUZZY INFERENCE SYSTEM

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2008, Page:80

The amount of dissolved oxygen (DO) in the waters of rivers and streams is very important to the quality and existence of aquatic life. Hydraulic structures have an impact on the amount of dissolved oxygen in a river system, even though the water is in contact with the structure for only a short time. The same quantity of oxygen transfer that normally would occur over several kilometers in a river can occur at a single hydraulic structure. The primary reason for this accelerated oxygen transfer is that air is entrained into the flow, which produces a large number of bubbles. These air bubbles greatly increase the surface area available for mass transfer. Plunging overfall jets from weirs are a particular instance of this, and the aeration properties of such structures have been studied widely in the laboratory and field over a number of years.

In the past few years computation on civil engineering has been concentrated primarily on artificial intelligence (AI) applications, which generally consider expert systems. This article deals with a different AI approach using the benefits of Adaptive

Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS) and presents its usefulness on three applications.

In this study, predicting flow conditions over stepped cascades, and aeration efficiencies of stepped cascades and sharp-crested weirs are modelled by using Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS).

Keywords: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS), stepped cascades, aeration efficiency, sharp-crested weir

1. GİRİŞ

Literatürde "Artificial Intelligence" olarak adlandırılan yapay zeka ilk bakışta herkese farklı bir şeyin çağrışımını yapmaktadır. Kimilerine göre, yapay zeka kavramı, insanoğlunun yerini alan elektro mekanik bir robotu çağrıştırmaktadır. Fakat bu alanla ilgili olan herkes, insanoğlu ile makineler arasında kesin bir farklılığın olduğu bilincindedir. Bilgisayarlar hiçbir zaman insanoğlunun yaratıcılık, duygu ve mizacının benzeşimini aktarabilme becerisine sahip olamayacaktır. Bununla beraber, bilgisayarların belirli insan davranışlarını (nesneleri alma ve bunları belirli yerlere yerleştirme gibi) yapan makinelere yön vermesi ve belirli bir uzmanlık alanı ile ilgili (veri hesaplaması, tıbbi teşhis gibi) beşeri düşünme sürecinin benzeşimini yapan (simule eden) sistemlere beyin olma becerisine sahip olması mümkündür.

Yapay zeka , insan tarafından yapıldığında zeka olarak adlandırılan davranışların (akıllı davranışların) makine tarafından da yapılmasıdır. Yapay zekanın insan aklının nasıl çalıştığını gösteren bir kuram olduğu da söylenebilir. Yapay zekanın amacı, makineleri daha akıllı hale getirmek, zekanın ne olduğunu anlamak ve makineleri daha faydalı hale getirmektir.

Yapay zekanın amacı insanın zekasını bilgisayar aracılığı ile taklit etmek, bu anlamda belli bir ölçüde bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırabilmektir. Bu şekilde yapay zeka çoğunlukla insanın düşünme yeteneğini, beynin çalışma modelini veya doğanın biyolojik evrimini modellemeye çalışan yöntemlerden oluşur.

Yapay sinir ağları üzerine yapılan araştırmalar hem yazılım hem de donanım üzerine devam etmektedir. Günümüzde yapay sinir ağları: ekonomide, endüstri mühendisliğinde, otomasyonda, elektronik mühendisliğinde, elektronik devre tasarımı, bilgisayar mühendisliğinde, tıp alanında, çeşitli zeka problemlerinin çözümünde, optik algılamada, nesne tanımlama gibi birçok konuda uygulama alanı bulmuştur.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişime paralel olarak özellikle son yirmi yılda ulaşım alanında karşımıza çıkan ve sezgisel olarak çözülebilen ya da çözülmesi matematiksel teknikler ile mümkün olmayan gerçek hayat problemlerini (Çizelgeleme, Gezgin Satıcı vb.) çözmeye yönelik ileri teknikler yapay zeka teknikleri olarak adlandırılır. Bunların başlıcaları:

- a-) Yapay sinir ağları yaklaşımı
- b-) Bilgi tabanlı uzman sistem yaklaşımı
- c-) Bulanık mantık yaklaşımı
- d-) Geleneksel olmayan optimizasyon teknikleri
 - i-) Genetik algoritma
 - ii-) Benzetilmiş tavlama
 - iii-) Melez algoritmalar
- e-) Nesne tabanlı programlama
- f-) Coğrafi bilgi sistemleri
- g-) Karar destek sistemlerinin gelişimi
- h-) Esnek programlama

Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin (UATBÇS), yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık bulunur. Yapı bakımından uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşur. Ancak sistem eğitiminde yapay sinir ağı öğrenme algoritmaları kullanılır.

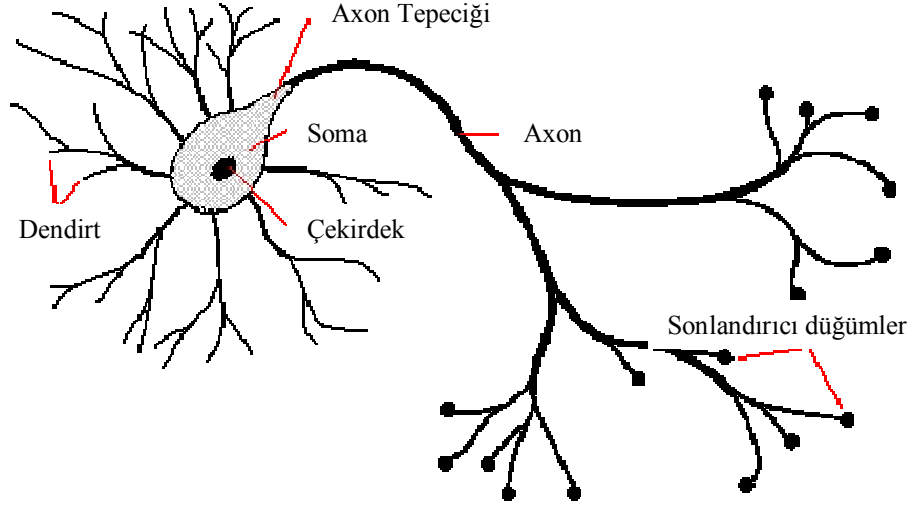
2. AKILLI SİSTEMLER

2.1. Yapay Sinir Ağları

En genel anlamda sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan kompleks sistemlerdir. Şekil 2.1' de bir biyolojik sinir hücresi görülmektedir. Biyolojik nöron, bir çekirdek, gövde ve iki uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan dentrit giriş bilgilerini alır, uzun ve tek olan akson ise çıkış bilgilerini diğer nöronlara taşır. Akson ve dentritin birleşim yerine sinaps adı verilir. Bunlar nöronlardan aldığı sinyalleri değerlendirirler ve eşik değeri üzerinde bir giriş varsa bir sonraki hücreye iletirler [1].

Yapay sinir ağı (YSA) teknolojisi hesaplamalarda tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir. Yapay sinir ağları, paralel hesaplama tekniğinin bütün avantajlarını kullanabilen ve algoritmik olmayan bir metottur. Belirli bir problemi, programlama yerine direkt olarak mevcut örnekler üzerinden eğitilerek öğrenirler. Ayrıca yapay sinir ağları, klasik bilgisayar belleği gibi belirli bilgileri belirli yerlerde saklama yerine, öz şeklindeki bilgileri nöronlar arasındaki bağlantılar üzerindeki ağırlık değerleri ile ağ üzerine dağıtarak saklarlar.

Bu tür nöronlar Mc Culloch-Pits nöronu olarak bilinirler. Bunlar ağı her bir işlem birimini temsil ederler ve birbirleriyle bağlanarak ağ oluştururlar. Her bir nöron basit bir anahtar görevi yapar ve şiddetine göre gelen sinyali ya söndürür ya da iletir. Böylece ağ içerisindeki her bir nöronun belli bir yükü olur [2].

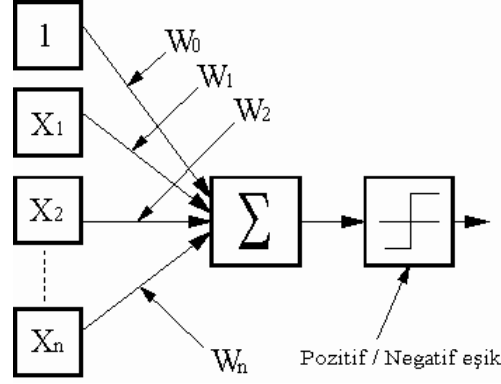


Şekil 2.1. Tipik bir biyolojik nöron

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinde ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beyin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 2.2’ de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.2. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi



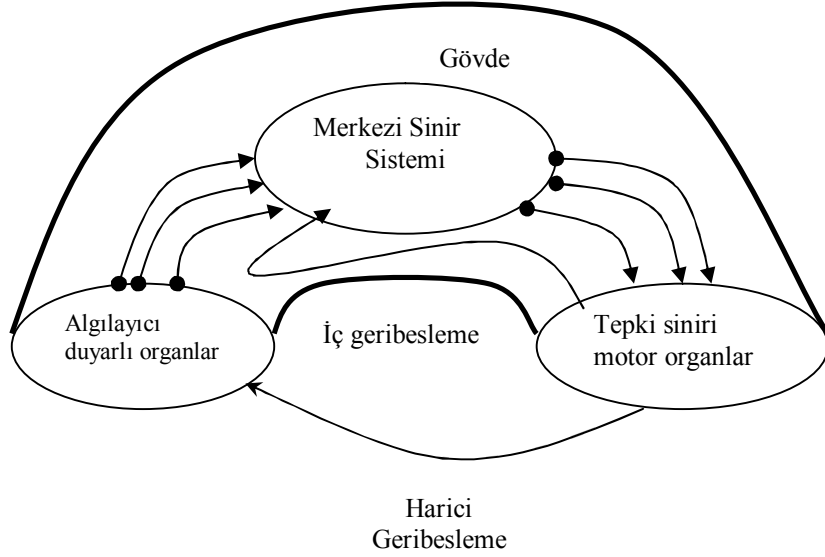
Şekil 2.3. Bir biyolojik nöronun matematiksel modellenmesi

Her nöron gelen sinyalin seviyesine göre açık ya da kapalı duruma geçerek basit bir tetikleyici görev üstlenir. Bu işlemleri yaparken nöronlar giriş bilgilerini ağırlandırarak bunları lineer toplar ve bir eşik, doğrusal veya doğrusal olmayan bir fonksiyonda işleyerek çıktısını verir. Bu çıktıyı hücreye bağlantısı olan diğer nöronlar giriş bilgileri olarak alırlar.

YSA' lar özellikle öğrenme üzerinde odaklanmıştır ve doğrusal olmayan sistemlerde veya sisteme ait bilginin tam olmadığı, hatalı olduğu sistemlerde çözüme ulaşmak için uygundur. YSA' ların en önemli dezavantajı ise var olan bir uzman bilgisinin problem çözümüne aktarılmasındaki zorluktur. YSA kullanım alanları; kontrol ve sistem tanımlama, görüntü ve ses tanıma, tahmin ve kestirim, arıza analizi, tıp, haberleşme, trafik, üretim yönetimi olarak sayılabilir.

Bir hipoteze göre nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca, nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyni, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebilir. Çok büyük sinir ağı çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla bir birine bağlıdır. Ağa giriş duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarı elektriksel sinyaller biçimindedir. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu tepki sinirleri kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir.

Yukarıda belirtildiği gibi sinir sisteminde bilgi akışı üç ana kısımda oluşmaktadır: algılayıcı, sinir ağı ve tepki sinirleri.



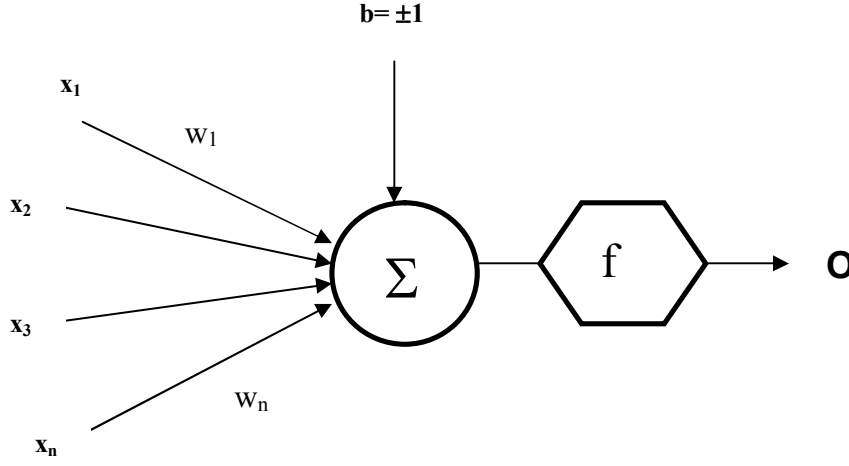
Şekil 2.4. Sinir sisteminde bilgi akışı

Şekilde görüldüğü gibi bilgi işlenmekte, değerlendirilmekte ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırılmaktadır. Gerekli olduğunda komutlar o yerde üretilir ve motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini yönetir ve denetlerler. İç ve dış geri beslemeli kontrolün ikisi de komutlarla gerçekleştirilir. Görüldüğü tüm sinir sisteminin yapısı kapalı-çevrim bir kontrol sistemini andırmaktadır.

2.1.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir

fonksiyondur. Şekilde görülen b bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir.



Şekil 2.5. Temel yapay sinir ağı hücresi.

Çıkış, $o = f(W.X + b)$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

Şeklinde yazılabilir. Formalize edersek;

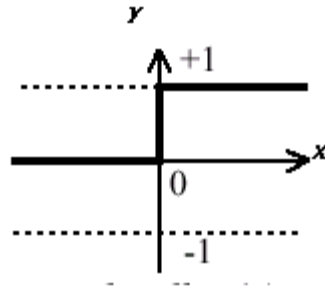
$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad \text{ve} \quad o = f(net) \quad (2.1)$$

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad \text{şeklinde de yazılabilir.} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki formülde görülen f aktivasyon fonksiyonudur. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır.

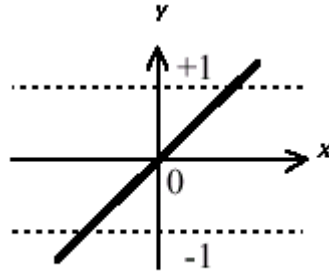
2.1.2. Aktivasyon Fonksiyonları

Şekil 2.6’da eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile +1 arasında değişeni ise işaret aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. İşaret aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyükse +1, sıfırdan küçükse -1, sıfıra eşitse sıfır değerini verir.



Şekil 2.6. Eşik aktivasyon fonksiyonu.

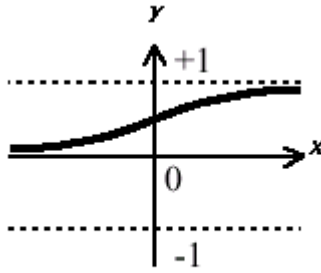
Şekil 2.7’de doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun doğrusal aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 2.7. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

$f(x) = x$ şeklinde ifade edilir.

Şekil 2.8’de logaritma sigmoid aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir böylece daha sonraki bölümlerde görülecek olan geri yayınlı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.8. Logaritma sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

Lojistik fonksiyonu,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki β eğim sabiti olup genelde 1 olarak seçilmektedir.

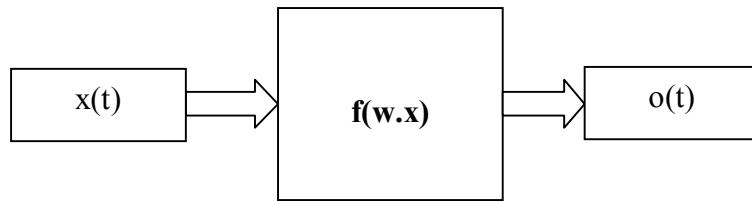
Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da doğrusal olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.4)$$

Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır.

2.1.3. Yapay Sinir Ağları Modelleri

En basit ve en genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak iki grupta toplanmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir.

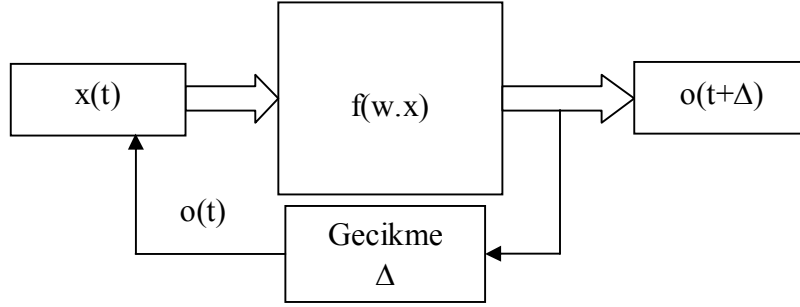


Şekil 2.9. İleri beslemeli yapı

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Geri beslemeli sinir ağı, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Ağın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta$ anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta)$ 'dır. Buradaki Δ sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları notasyonu kullanılarak $o(t + \Delta)$ şöyle yazılabilir.

$$o(t+\Delta) = f[W.o(t)] \quad (2.5)$$

bu formül aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ 'ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ 'dir.



şekil 2.10. Geri beslemeli yapı

2.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Mühendislik Alanında Kullanılması

İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir olay karşısında yine tecrübesiz kalabilir. Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde de, tıpkı dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağıının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılanı kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilir, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımı incelenir. Eğer yeni verilen örneklere de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş

demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş ezberlemiştir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilip ağın davranışı incelenir diğer bir deyişle ağ böylece test edilir.

Mühendislik problemlerindeki belirsizliklerin kaynağı, model ve modelin içerdiği parametreler olup söz konusu belirsizlikler genellikle olasılık teorisi ve istatistiksel yöntemler yardımıyla göz önüne alınmaktadır. Belirsizlikler altında ortaya çıkacak başarısızlıklar (risk) ise güvenilirlik analizi yardımıyla belirlenmektedir. Özellikle karmaşık ve modelleme olanaklarının zor olduğu birçok mühendislik probleminin çözümünde, geliştirilen modelin yetersiz olması önemli bir belirsizlik nedeni olmakla birlikte çözüm sırasında yapılacak kabuller veya basitleştirmeler de belirsizliği arttıran faktörlerdir. Bir mühendislik yapısının tasarımında karşılaşılan belirsizlikler, istatistiksel yöntemler yardımıyla göz önüne alınmasına karşılık modelin içerdiği parametrelerin rassal değişken olması da başka bir belirsizlik kaynağı olarak verilebilir: Bu tür yöntemlerde, tasarım değişkenleri belirli olasılık dağılımları ile ifade edilmesine karşın değişkenlere ait istatistiki bilgilerin yetersiz olması ve çoğunlukla ortalama ve standart sapma değerleriyle sınırlı kalması belirsizliğe neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yüksek derecede belirsizlik gösteren (karmaşık) mühendislik problemlerinin çözümünde belirsizliklerin azaltılmasına ve değerlendirilmesine yönelik klasik yaklaşımlar, çoğunlukla daha karmaşık ve zaman-maliyet açısından ekonomik olmayan çözümlere neden olabilmektedir. Yapay sinir ağları, yapay sinir hücrelerinin katmanlar şeklinde bağlanmasıyla oluşturulan veri tabanlı sistemler olup insan beyninin öğrenme ve değişik koşullar altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerinin, basitleştirilmiş modeller yardımıyla karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Sınıflandırma, kümeleme, regresyon ve zaman serilerinin tahmini gibi değişik alanlarda kullanılan yapay sinir ağları uygulamalarının en büyük avantajı, karmaşık modellere gereksinim duyulmaksızın yalnızca ağın eğitilmesi yoluyla problemlere çözüm getirebilmesidir. Bu nedenle, yapay zeka tekniklerinin, belirsizlikler göz önüne alındığında, klasik yöntemlerin sağlayamayacağı avantajlara sahip olduğu söylenebilir.

2.2. Uzman Sistemler

Yapay Zekanın, özellikle yönetim bilimi için en popüler konusunu ise, uzman sistemler oluşturmaktadır. Yapay Zekanın en geniş dalı olan uzman sistemler alanında özellikle 1965'ten sonra dikkat çekici gelişmeler yaşanmıştır. Yapay zekanın bu alanı, uzmanlığın söz konusu olduğu bir konuda yüksek performans gösteren programlar oluşturmak üzerine odaklanmıştır. Uzman sistemlerin konuya bağımlı olarak problem çözmesi sonucu; kendine özgü prensipleriyle, araçlarıyla ve teknikleriyle, bilgi mühendisliğinin esasını teşkil eden yeni bir yazılım türü ortaya çıkmıştır. Uzman sistemler için değişik kaynaklardan alınan tanımlar şöyledir:

“Gerçekleşmekte olan bir olay ya da durum hakkında zeki kararlar alan veya zeki öneriler teklif edebilen sistemlerin düzenlenmesi gibi, uzmanların yetenekleri sayesinde bilgi tabanlı elemanların bilgisayar içinde düzenlenmesidir” [3].

“İnsan bilgisi ve tecrübelerine dayalı olan davranışların bir bilgisayar ortamına aktarılarak tasarlanmış sistemlerdeki karşılan problemlere uzman bir kişinin gereksinimi olmaksızın çözümler arayan bilgi tabanlı sistemlerdir” [4].

“Uzmanların davranışının benzerini sergilemek için sembolik bilgiyi kullanan programlardır” [4].

Bir uzman sisteminin en belirleyici özelliği, oldukça büyük bir bilgi tabanına sahip olmasıdır. Bu konuda dikkat edilmesi gereken nokta ise; değişme ve gelişmeye açık olması gereken bilgi tabanı bölümü ile mümkün olduğunca statik olması gereken program bölümünün birbirinden ayrılmasıdır [5].

Uzman bir sistemin bilgisi gerçekler ve sezgisel bilgiden oluşur. Gerçekler; genel kabul görmüş ve söz konusu alandaki uzmanların üzerinde mutabık oldukları bilgi setinden oluşur. Sezgisel bilgi ise; daha çok uygulamayı yapan kişi özelinde olup, iyi bir kararın göreceli olarak az tartışılan kuralları; akıl yürütme yeteneği, sorgulama kuralları gibi söz konusu alandaki uzmanlardan elde edilen bilgi setini karakterize eder [6].

Uzman sistemlerde olması istenen diğer bir özellik ise, sorgulayan kişiye akıllı bir şekilde sonuçlara ulaşmada izlediği yolu anlatabilmesi ve kendini haklı çıkarmasıdır [6].

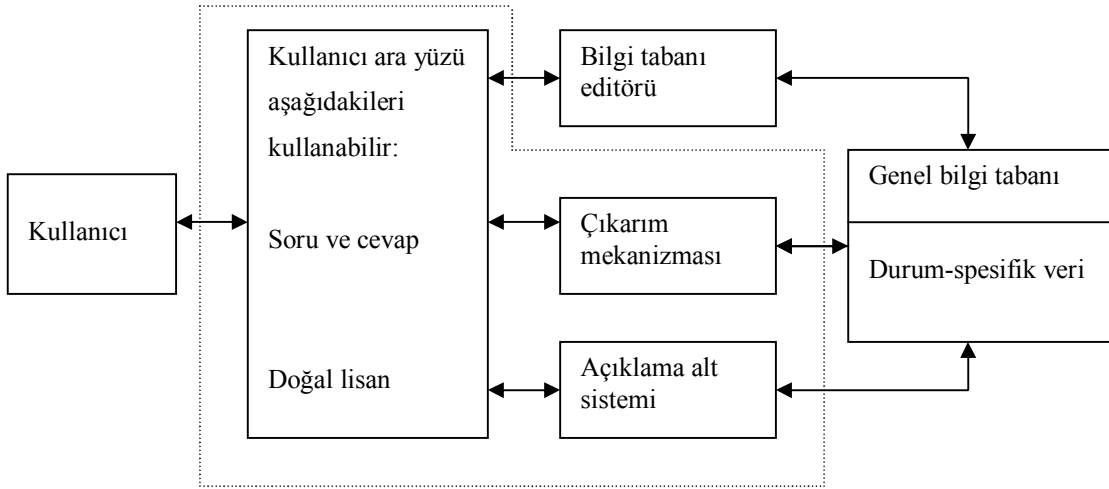
2.2.1. Uzman Sistemin Yapısı

Uzman sistemler genellikle aşağıdaki bileşenlerden oluşur.

- Belli bir problem hakkındaki gerçekler, kurallar ve bilgileri içeren; Bilgi Tabanı
- Problemlere çözümler üretmek üzere depolanan bilgiyi ustalıkla kullanan; Çıkarım Mekanizması
- Kullanıcı ile iletişimi sağlamak üzere; Kullanıcı Ara Yüzü
- Bilgi tabanını geliştirmeye yardım etmek üzere; Bilgi Edinim Modülü

Bu temel bileşenleri de ihtiva eden uzman sistemi oluşturan temel bileşenler

Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Tipik bir uzman sistem yapısı

2.2.1.1. Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, ilgili alan bilgisini içerir. Uzman sistemleri yaratmada güncel yaklaşımların en popüler, kural tabanlı sistemdir. Kural tabanlı sistemde bilgi tabanı bir kural setini içerir. Kurallar her zaman iki bölümlüdür. İlk bölümde, “eğer” (if) ifadesi ile aranan bir şart ikinci bölümde ise bu bölüme bağlı, “o halde” (then) ifadesine bağlı bir sonuç bulunur. Kuralın ilk bölümü doğru ise ikinci bölümü de doğrudur [7].

2.2.1.2. Çıkarım Mekanizması

Çıkarım mekanizmasının işlevi, bilgi tabanını yorumlama ve kontroldür. Hangi durumda kuralların uygulanacağını belirlenmesi çıkarım mekanizması yardımı ile gerçekleştirilir. Çıkarım mekanizması, uzman sistemin sahip olduğu verileri ve imkanları kullanarak sonuçlara erişim esnasında kullandığı mantık sürecini sağlayan yazılımdır. Mekanizma yeni bilgiler oluşturmak veya bir sorunun cevabına erişebilmek için, uzman sistemin veri tabanından veya kullanıcı tarafından sağlanan verilerden yararlanır [8].

2.2.1.3. Ara Yüzler

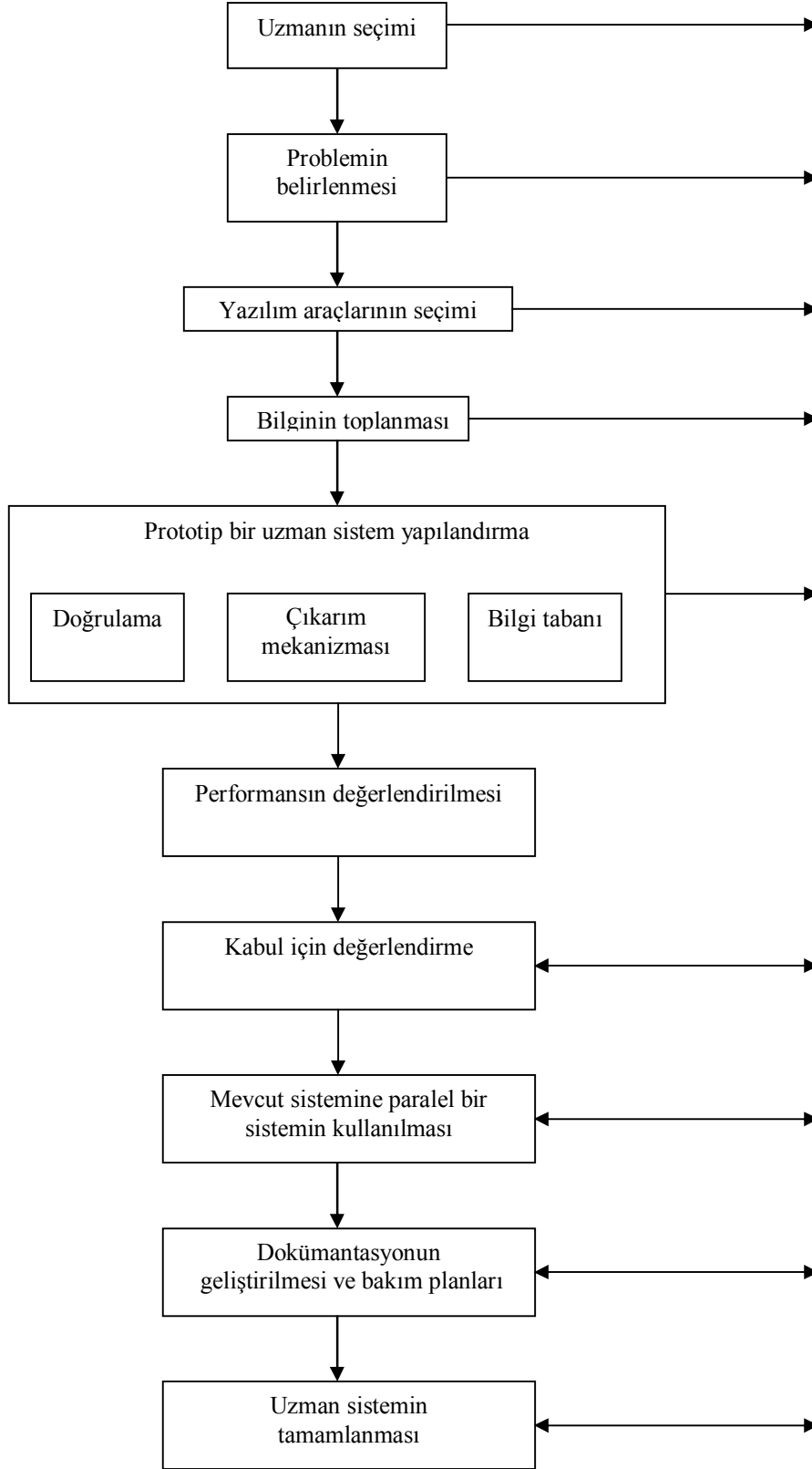
Genel veri tabanından bilgi elde edilmesi ara yüzler aracılığı ile olur. Uzman sistemler, günümüzde kullanıcılar için üretilmektedir, yakın bir gelecekte uzman sistemlerin başka uzman sistemler tarafından kullanılması da beklenmektedir. Bazı ara yüzler donanım, bazı ara yüzler de yazılım ara yüzleridir. Yazılım ara yüzleri, çoğunlukla uzman sistemlerin kullanıcılar ile iletişim kurmasında görev yapmaktadır. Bu amaçla tasarlanan ara yüzler peş peşe sorular sormakta ve aldıkları cevaplara göre mantık yürüterek vardıkları sonuçları bu ara yüzler ile işleme koymak amacı ile kullanıcıya iletmektedir [8].

2.2.1.4. Bilgi Gösterimi

Bilgi gösterimi, bir programda bilginin nasıl yapılandırıldığını tanımlamak için yapay zekada kullanılan bir terimdir. Gösterim, bilgisayar zekası yaratmak için anahtar görünümündedir. Günümüzde kullanılan başlıca üç gösterim şekli aşağıdaki gibidir:

- Üretim kuralları,
- Çatılar,
- Semantik ağlar,

Şekil 2.12 'de uzman sistem oluşturulurken izlenecek prosedür gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Uzman sistem oluşturulurken izlenecek prosedür

2.2.2. Uzman Sistemlerin Geleneksel Bilgisayar Programlarından Farkları

Uzman sistemler, kendilerini geleneksel bilgisayar programlarından ayıran çeşitli kabiliyetlere ve özelliklere sahiptirler. Bir uzman sistemin temel hedefi, uzmanların sezgisel uzmanlıklarına sahip olmak ve bunu yaygınlaştırmaktır; geleneksel bir programın hedefi ise bir algoritma setini tamamlamaktır.

Uzman sistemler, geleneksel yaklaşımlarla ele alınmasının çok zor veya imkansız olduğu düşünülen durumlarda kullanılabilir. Ayrıca uzman sistemler, ihtiyaç duyulan bilginin eksik veya ulaşılabilen bilginin tutarsız olduğu durumları ele alma kabiliyetine sahiptir. Uzman sistem teknolojisindeki teknikler belirsiz durumları ve belirsiz verileri tahlil ederler ve bazı uzman sistemler yeni bilgilere ulaşıldığında yargılarını değiştirebilirler. Bunlara ilaveten, çoğu kez bir uzman sistem aldığı kararlara veya neden belirli bir operasyonu gerçekleştirdiğine ya da belirli bir bilgiyi sorduğuna açıklama da getirebilir.

Uzman sistemler öncelikle, sayısal hesaplamalardan çok kavramlar hakkında sembolik muhakemeye dayanırlar. Bu sistemler çoğunlukla işleme ait yaklaşımlardan çok açıklayıcı yaklaşımlar kullanılarak programlanırlar ve programlama teknikleri, program kontrolünün alan bilgisinden geniş ölçüde ayrılmasına müsaade eder. Program kontrolünden ayrılmış açıklayıcı bilginin kullanımı, çoğu kez uzman sistemlerin, geleneksel programlara göre daha esnek ve tekrar gözden geçirilip düzeltilme ve güncellenmesinin daha kolay olmasını sağlamaktadır.

Geleneksel bir programın bu yeteneklere sahip olması çok zordur. Tablo 2.1 uzman sistemlerle geleneksel bilgisayar programlarını karşılaştırmaktadır.

Tablo 2.1. Uzman sistemler ve geleneksel bilgisayar programları arasındaki genel farklar

Uzman Sistem	Geleneksel Program
Kararlar alır	Sonuçlar hesaplar
Sezgisel yöntemlere dayanır	Algoritmalara dayanır
Daha esnek	Daha az esnek
Belirsizliği ele alabilir	Belirsizliği ele alamaz
Kısmi bilgi, tutarsızlıklar ve kısmi kanaatlerle çalışabilir	Komple bilgiye ihtiyaç duyar
Sonuçların açıklamalarını sağlayabilir	Sonuçları açıklamasız verir
Sembolik muhakeme	Sayısal hesaplamalar
Öncelikle açıklayıcı	Öncelikle işleme ait
Kontrol ve bilgi ayrılmış	Kontrol ve bilgi iç içe

2.2.3. Uzman Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Elde Edilebilirlik: Eğer uzmanın bilgisi bir dosyada saklanırsa bu bilgiyi organizasyon içerisinde geniş bir şekilde dağıtmak mümkündür. İhtiyaç duyan her bölüm, bu dosyanın bir kopyasını alabilir ve bu kopyaya her zaman ulaşılabilir. İnsan uzmanların aksine bilgisayar programları, sinirlenmez, yorulmaz, tatile çıkmaz, hasta olmaz ve ölmezler. Bilgiler daima kullanıma hazırdır.

Tutarlılık: En iyi uzman bile yanlışlar yapabilir ya da önemli bir noktayı unutabilir. İyi bir uzman sistemle yanlışlar daha az meydana gelecektir. Bir bilgisayar programı tutarlıdır. Doğru olarak programlanması durumunda daima doğru sonuçlar verecektir.

Geniş Kapsamlılık: Birden fazla uzmanın ortak fikrini almak çok zordur ve bir grup uzmanı bir konuda tartışıp, ortak bir yargıya varmak üzere bir araya getirmek neredeyse imkânsızdır. Bir uzman yalnızca kendi bilgi ve deneyimlerini kullanabilir. Bir bilgisayar sistemi ile, bir uzman sistem birden fazla uzmanın bilgisini içerebilir. Böylece uzman sistem tarafından verilen karar, en az diğer katılımcıların vereceği karar

kadar iyi olacaktır. Ayrıca uzman sistemler birbirleriyle görüş alışverişinde bulunabilirler ve çeşitli seçenekler sunabilirler.

Alan Seçimi: Uzman sistem uygulamalarının bazıları iyi çalışırken diğerleri çalışmaz. Bu sebeple belirli bir alanda belirli bir teknoloji kullanma ya da kullanmama kararı bilgisayar tabanlı sistemlerde önemlidir. Bazı problemler uzman sistemler için fazla karmaşık olabilir. Eğer uzmanlar hemfikir değilse veya o alandaki uzman müsait değilse bu durumda o alan uygun değildir. Benzer şekilde çözmesi çok uzun zaman alan, bir çok etkileşimin olduğu ya da uzaysal (spatial) ilişkilere ve prosedürlere çok fazla bağımlılığın bulunduğu problemler de uzman sistemler için uygun değildir.

Test Etme: Uzman sistemleri test etmek, özellikle, basitçe tavsiye vermekten çok karar almaya yardımcı olmak için kullanılan sistemlerde kritik bir ihtiyaçtır. Bir uzman sistemin test edilmesinde pek çok sorunla karşılaşılabilir. Programı geliştirenler, sistemin nasıl davranması gerektiği konusunda her zaman emin değildirler ve bu yüzden sistemi tam anlamıyla test edemezler. Biz uzman sistem programının izleyeceği yolu tanımlamak kolay değildir. Bu durum çok fazla risk içeren uygulamalarda ciddi bir problemdir (örneğin tıbbi uygulamalar). Sistemin büyüklüğü arttıkça kontrol ve bakım işlemlerinin zorluğu da artar. Kullanıcı, sistem tarafından önerilen tavsiyenin en uygun tavsiye olduğundan emin olmak ve olasılık dahilindeki tüm yan etkileri hesaba katmak zorundadır. Sistemin doğruluğunun ve tamlığının test edilmesi çok zordur. Bununla birlikte, nihayet bu bir sorumluluk sorunudur: Kim sorumlu? Uzman sistemi kullanan, yazan, bilgisi uzman sistemde kullanılan ya da bu sistemin kullanım hakkına sahip olan kişi mi?

Belirsizlik: Gerçek dünyada sadece doğru ve yanlış gerçeklerle ilgilenmeyiz. Genellikle sadece belli bir derece emin oluruz (kağıtları evde bıraktığımızda %80 emin oluruz gibi). İdeal olarak bir uzman sistem, belirsizliğin üstesinden gelebilmelidir. Fakat, uzman sistemin sunduğu mantıksal muhakemenin kullanımı için geçerli istatistiksel kurallar bulmak büyük bir teorik sorundur.

Sınırlamalar: Uzman sınırlarını bilir; bilgisayar tabanlı bir sistem eğer özellikle programlanmamışsa bilemez. Bu bakımdan, uzman sistemler pek o kadar iyi sonuç vermezler. Her zaman bir cevap üretmeye yöneliktirler. Bu durum problem olabilir ve

uzman sistemlerin uzmanlara ikame etmek yerine yardımcı bir araç olarak kullanılmalarının daha uygun olacağının altı çizilmelidir.

Kabul Edilebilirlik: Uzman sistem teknolojisine giriş, firma içerisinde, firmanın organizasyonel yapısı için önemli sonuçlar doğurur. Herkes bir bilgisayara güvenmek ya da kullanmak istemeyebilir. Bazı insanlar bilgisayar kullanımına direnç gösterirler ve uzmanlarla çalışmayı tercih ederler. Uzmanlar bile bazen uzman sistemler ile ilgili şüphecidir. Hatta sistemler iyi çalıştığı ve uzmanlarla hemfikir olduğu zamanlarda bile kendileriyle aynı tip muhakeme yöntemini kullanmadıklarını düşündükleri için uzman sistemlere güvenmezler. Bu faktörler uzman sistem kullanımı düşünüldüğünde göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi halde sistem, firma içinde aktif bir muhalefet ile karşılaşabilir.

Bilgi Edinme: Uzman sistem geliştirmek için şimdiye kadar karşılaşılan en ciddi sorun, bilgi edinmenin yol açtığı “dar boğaz (bottleneck)”dır. Uzmanın bilgisini saklama ve ortaya çıkarma prosesi çoğunlukla uzun ve yavaş bir prosestir.

Güncelleme: Bilgilerin sık sık değiştiği alanlar uzman sistemlerin geliştirilmesine pek uygun değildir. Uzman sistemin uzmanlığını kaybetmemesi için bilgi tabanını sürekli güncellemesi gerekir. Bilgi tabanının güncellenmesi için gerekli koşullar tesis edilmelidir.

Davranış: Uzman sistemlerin amacı, insan uzmanları taklit etmek olmasına rağmen bunu yapabilen çok az sistem vardır. Sistemle kullanıcı arasındaki diyaloglar genellikle program tarafından yönlendirilir ve genellikle tanımlamaları anlamak zor olabilir. Konsültasyonlar kullanıcının değil bilgisayar programının güdümünde olma eğilimindedir ve kullanıcı cevabı elde edebilmek için sık sık gereksiz açıklamalarla uğraşmak zorunda kalmaktadır.

2.2.4. Uzman Sistemlerin Uygulama Alanları

Teknolojideki ilgi yayıldıkça, uzman sistemlerin uygulanmış olduğu ve uygulandığı problem tiplerinin sayısı sürekli artmaktadır. Uzman sistemler şu amaçlarla geliştirilebilir:

- Teşhis

- Çizelgeleme
- Planlama
- İzleme
- Süreç kontrol
- Tasarım
- Tahmin
- Sinyal yorumlama
- Konfigürasyon
- Eğitim

Uzman sistemlerin kullanıldığı endüstrilerin ve disiplinlerin sayısı da ayrıca artmaktadır. Tablo 2.2 uzman sistemlerin geliştirilmiş olduğu çeşitli alanları göstermektedir.

Tablo 2. 2. Uzman sistemlerin geliştirilmiş olduğu bazı alanlar

Havacılık ve Uzay	Mühendislik	Tıp
Tarım	Mühendislik tasarımı	Askeri bilimler
Kimya mühendisliği	Çevre bilimleri	Nükleer mühendisliği
Kimya	Finans	Basın-yayın
Bilgisayar destekli tasarım	Jeoloji	Kaynak Yönetimi
İnşaat	Devlet	Telekomünikasyon
Elektrik mühendisliği ve ve elektronik	Sigorta	Eğitim
Elektrik kurumları	İmalat	Taşıma

2.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar (GA) günlük hayatta karşılaştığımız çözümü imkansız ya da çok zor olan karmaşık problemlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. GA 1970’li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland ve onun çalışma

arkadaşları ile öğrencileri tarafından geliştirilerek bilgisayar ortamına taşınmıştır. Daha sonra John Holland 'ın öğrencisi David Goldberg' in "Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu" adlı doktora tezi ile birlikte genetik algoritmaların teorik olmaktan öteye piyasalarda uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg' in bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır [9].

Genetik algoritmalar mühendislik problemlerinde optimizasyon amacıyla kullanılmaktadır. GA' ları kör bir arama motoruna benzetebiliriz. GA' lar problemin yapısına bakmaksızın çok karmaşık optimizasyon problemleri için bile çözüm bulabilirler. Problemin karmaşıklığı GA' lar için hiç önemli değildir. GA' ların ihtiyaç duyduğu şey problemin karar değişkenlerinin uygun bir yöntemle kodlanması ve neyin iyi olduğunu GA' ya belirtmek üzere tasarlanan bir uygunluk (amaç) fonksiyonudur. GA' lar çözüm uzayını taramaya bir topluluk ile başladıkları için global optimum çözüme yaklaşmak diğer yöntemlere göre daha kolay olmaktadır. Genel olarak global optimum çözümü bulmayı garanti etmezlerse de buna yakın bir sonucu bulduğu bir çok araştırmayla ispatlanmıştır. GA' lar bir topluluk (başlangıçta bu topluluk genelde rasgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru gidiş sağlanır.

2.3.1. Genetik Algoritma Aşamaları

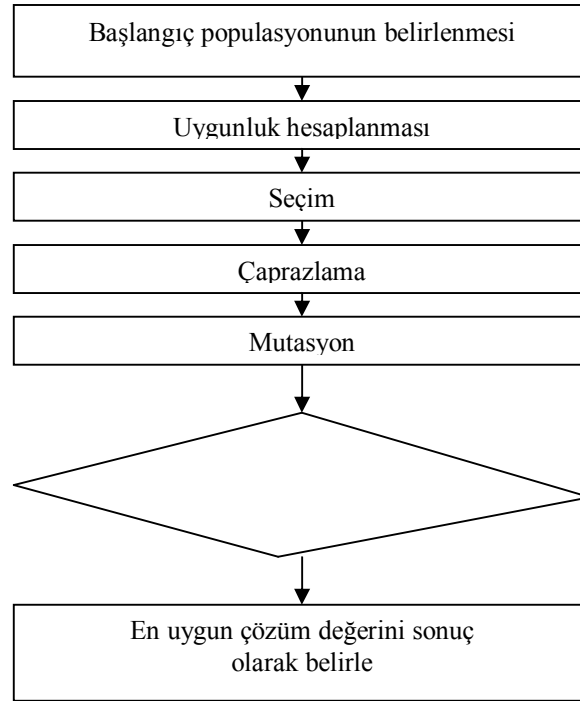
1. Başlangıç: Problemin karar değişkenlerinin şifrelendiği n adet kromozom içeren bireylerle başlangıç topluluğunun oluşturulması.
2. Uyumluluk: Her kromozom için fonksiyonun uygunluk (amaç) değerlerinin bulunması.
3. Seçim: İki bireyin uygunluk değerlerine göre turnuva, rulet tekerleği gibi seçme operatörlerinden problemin yapısına uygun olanının seçilmesi işlemi.
4. Çaprazlama: Uygunluk değeri iyi olan bireyler eşleştirilerek bu bireylerden yeni bireyler oluşturulması.
5. Mutasyon: Mutasyon olma olasılığına göre seçilen herhangi bir bireyin kromozomlarındaki bir bitin değiştirilmesi işlemi.

6. Elitizm: Mevcut topluluktaki uygunluk değeri en iyi olan bireyin olduğu gibi yeni topluluk havuzuna aktarılması.

7. Yeni topluluk havuzu: Yeni oluşan bireylerin bir havuza alınması, eski bireylerin (ebeveynler) öldürülerek havuzdan atılması.

8. Sonuç: Topluluktaki en iyi bireyin temsil ettiği değer istenilen sonucu veriyorsa algoritmanın sona erdirilmesi. Genetik algoritma nerde duracağını bilmez, istenilen sonuç problemin yapısına göre belirlenmelidir. Bazı sınırlayıcı parametreler (Jenerasyon sayısı, değişiklik olmayacak jenerasyon sayısı gibi) belirlenerek GA istenildiği zaman durdurulabilir.

9. Döngü: 2. adıma geri dönülerek yeni jenerasyona başlanması.



Şekil 2.13. GA adımlarının akış diyagramıyla gösterilmesi

2.3.2. Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları

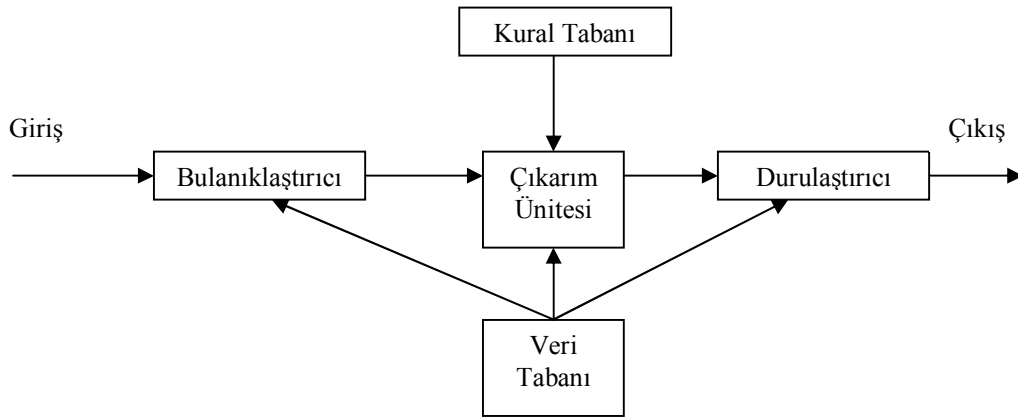
Yapısı itibarıyla genetik algoritmalar optimum çözümü çok zor ya da imkansız olan karmaşık problemlerin çözümünde kullanılır. Genel yapısı çok basit olan genetik algoritmalar çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bunlardan bazıları şöyledir [10]:

- Mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı olarak,

- Bilgisayar programlarında yapay zeka çalışmaları ve otomatik programlamada,
- Makine öğretisi, robotların hareket tarzı,
- Ekonomik modellerin geliştirilmesinde,
- Sosyal sistemlerin analizinde,
- Bağışıklık sistemlerinde,
- Ekolojide,
- Topluluk genetiğinde,
- Bilgisayar işlemci devrelerinin tasarımında.

2.4. Bulanık Mantık

Bulanık mantık denetleyicisi (BMD) ilk kez 1965 yılında ortaya atılan bulanık küme teorisinin önemli bir uygulamasıdır. Bulanık küme kavramını klasik küme kavramından ayıran en önemli özellik sayısal değişkenlerin yerine sözel değişkenlerin kullanılmasıdır. Şekil 2.14 'de bulanık mantık denetleyicisinin temel yapısını gösteren blok diyagram verilmektedir.



Şekil 2.14. BMD'nin temel yapısı

Bulanıklaştırma ünitesi, sayısal veriler üzerinde ölçek değişikliği yaparak bunu bulanık veriler biçimine dönüştürmektedir. Bu ünite işlevini bulanık kümeleri kullanarak gerçekleştirmektedir. Bulanık kümeler ise üyelik fonksiyonları ile temsil edilmektedir. Uygulamada en sık kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, sigmoid ve yamuk tipi fonksiyonlar olarak verilmektedir [11].

2.4.1. Bulanık Mantık Aşamaları

a) Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenen olayın etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

b) Bulanıklaştırıcı Sayısal girdi değerlerini sözel olarak nitelendirilmiş bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan bir işlemcidir.

c) Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER – İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamaların tümü kural tabanını oluşturur.

d) Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

e) Durulaştırıcı: Bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

f) Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Bulanık mantık ile modellemenin tercih edilmesinin nedenleri özetlenecek olursa ;

a) Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır. Bulanık mantığın dayandığı matematiksel teori basittir. Bulanık mantığı çekici kılan şey yaklaşımının doğallığı ve kompleks ya da karmaşıklıktan uzak olmasıdır.

b) Bulanık mantık esnektir.

c) Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilir.

d) Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir. UATBÇS gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdi ve çıktı veri kümelerini eşleştirerek bulanık modeller oluşturulabilir.

- e) Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır.
- f) Bulanık mantık sıradan insanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır [12].

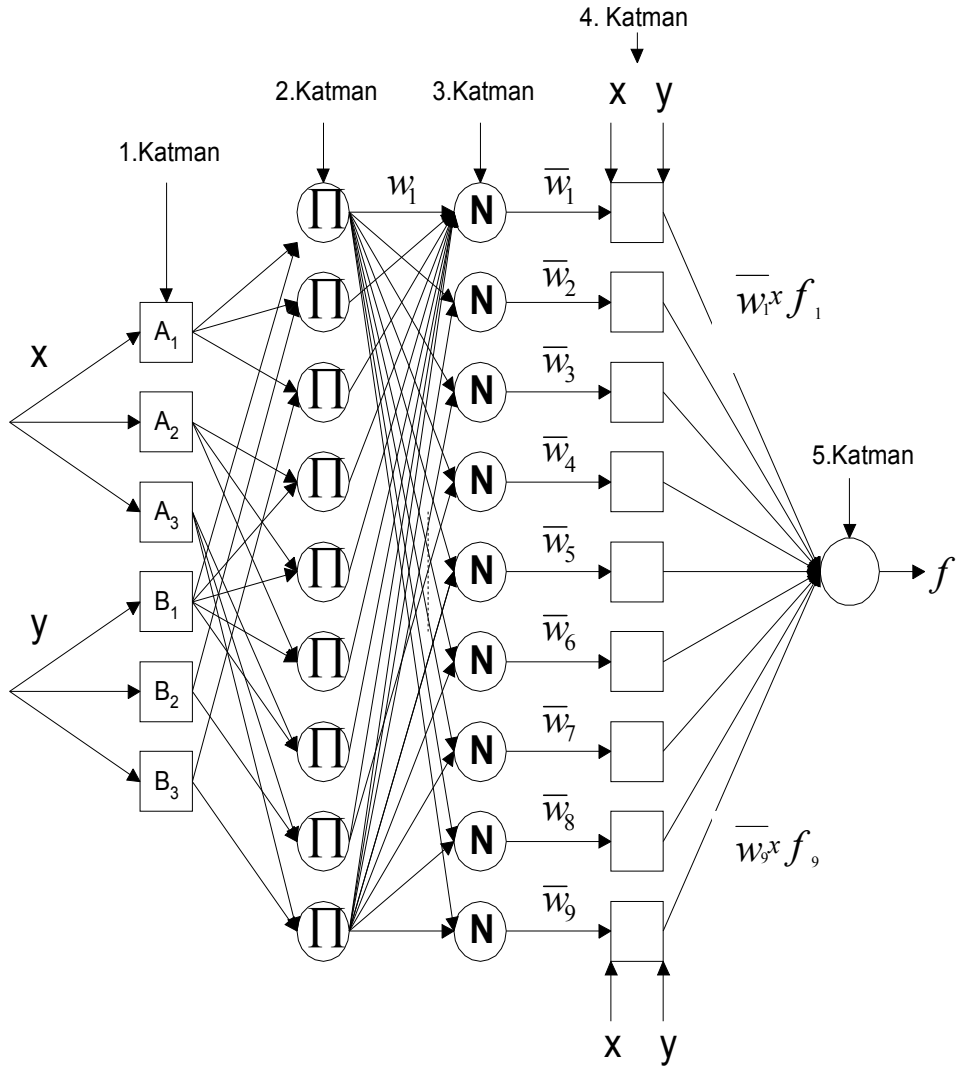
2.4.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin, yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır. Yapı bakımından uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşur. Ancak sistem eğitiminde ve denetiminde yapay sinir ağı öğrenme algoritmaları kullanılır. X ve Y giriş, Z ise çıkış olarak alınırsa temel kural yapısı şu şekilde yazılabilir [13]:

Eğer x A_1 ve y B_1 ise

$$f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2.6)$$

Burada p ve q lineer çıkış parametreleridir. İki girişli ve bir çıkışlı bir uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı Şekil 2.15 'de görülmektedir. Bu yapı, 5 katman ve 9 adet eğer-ise kuralı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 2.15. 2 girişli 9 kurallı bir uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi yapısı

1.Katman: Bu katmandaki hücre sayısı, iki giriş ve bu iki girişin her birine üç üyelik fonksiyonu tanımlandığına göre altı adettir ($i=6$ 'dır). Buna göre,

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i=1,2,3 \quad \text{ için } \quad O_{1,i} = \mu_{B_{i-3}}(y), \quad i=4,5,6 \quad \text{ için} \quad (2.6)$$

Burada x ve y girişlerdir. Bu katmanın çıkışı kuralların varsayım (eğer) kısımlarının üyelik fonksiyonlarına olan üyelik dereceleridir. Kullanılan üyelik fonksiyonu Denklem 2.7' de verilmiştir.

$$\mu_{Ai}(x), \mu_{Bi-3}(y) = \exp(-(x_i - c_i)/(a_i))^2 \quad (2.7)$$

2. Katman: Burada kuralların kesinlik dereceleri cebirsel çarpım kullanılarak bulunur (Denklem 2.8).

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi}(y), \quad i=1,2,3,\dots,9 \quad (2.8)$$

3. Katman: Burada kuralların normalizasyon işlemi yapılmaktadır (Denklem 2.9).

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = w_i / (w_1 + w_2 + \dots + w_9) \quad i=1,2,3,\dots,9 \quad (2.9)$$

4. Katman: Bu katmanda normalize edilmiş her bir kural kendine ait çıkış fonksiyonu ile çarpılır (Denklem 2.10).

$$O_{4,i} = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.10)$$

Buradaki p, q ve r lineer parametreleri sonuç parametreleri olarak adlandırılır.

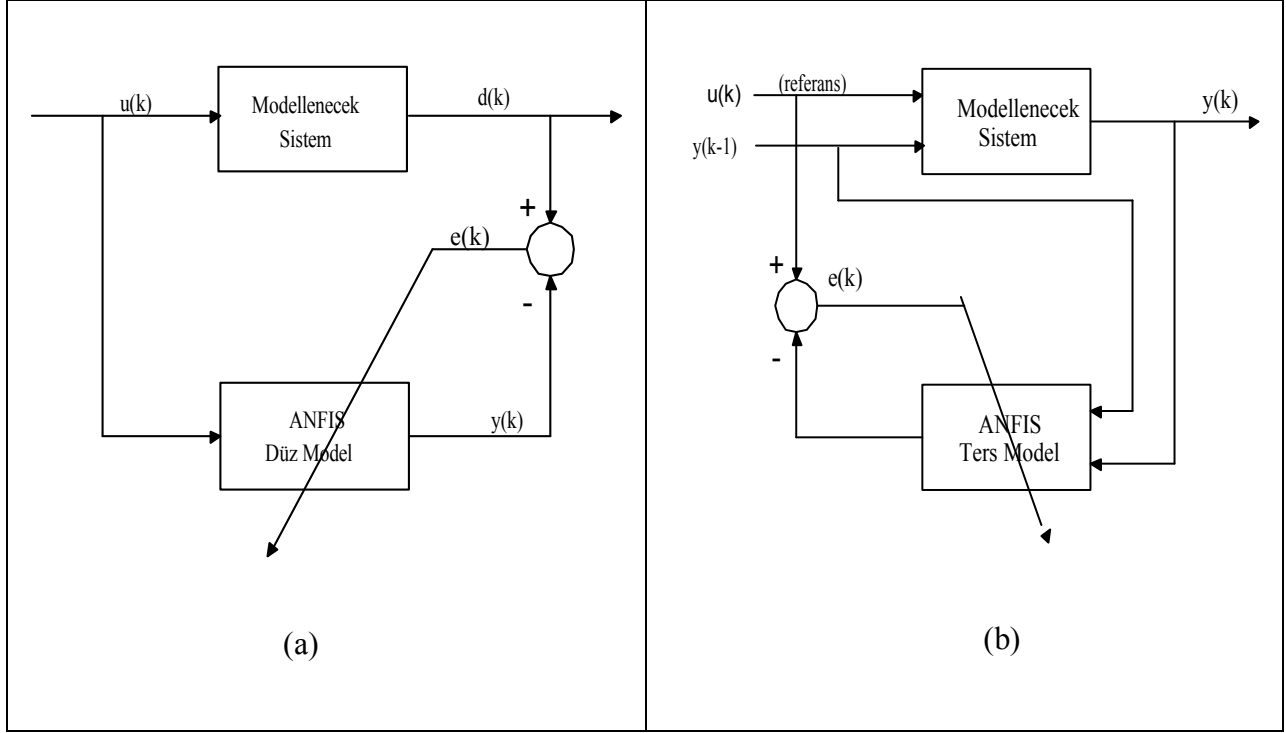
5. Katman: 4. Katman çıkışlarının toplanarak uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin çıkışının sayısal değerinin bulunduğu kısımdır.

$$O_{5,i} = \text{toplam çıkış} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \quad (2.11)$$

2.4.2.1. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Modelleme

Sistem modellemenin yapılmasındaki temel amaç, gerçek uygulamalarda kullanılan fiziksel sistemlerin yerine bilgisayarla yapılan benzetim çalışmalarında bu fiziksel sistemlerin modellerinin kullanılarak çalışmaları daha pratik ve basit hale getirebilmek olarak özetlenebilir. Böylelikle kullanılması boyut, enerji ve maliyet açısından çok güç olan birçok fiziksel sistem yerine bu sistemlerin kendilerini doğru bir

şekilde temsil edecek şekilde hazırlanmış modelleri daha kolay bir şekilde kullanılabilir. Aşağıdaki Şekil 2.16.a ve Şekil 2.16.b 'de sırasıyla bir sistemin uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile düz ve ters modellenmesi tekniklerinin blok diyagramları verilmiştir [14].



Şekil 2.16. a) Bir sistemin uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile düz modellenmesi blok diyagramı, b) Bir sistemin uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile ters modellenmesi blok diyagramı

UATBÇS ile sistem modellemede genellikle yukarıdaki iki modelleme tekniğinden uygun olanı seçilir. Biz uygulamamızda Şekil 2.16.a' da ki düz modelleme tekniğini kullanacağız [14].

2.4.2.2. UATBÇS Ağında Kullanılan Melez Öğrenme Algoritması

Kimliklendirmede kullanılan UATBÇS ağına ait parametrelerin güncellenmesinde, iki aşamalı bir öğrenme algoritması olan, melez öğrenme algoritması kullanılmıştır. Melez öğrenme algoritmasında, UATBÇS ağ yapısına ait parametreler, giriş ve çıkış parametreleri olarak iki kısımda ele alınır. Toplam parametre kümesi; $S = S1 + S2$ şeklinde ifade edilecek olursa, $S1$ giriş parametrelerine, $S2$ de çıkış parametrelerine karşılık gelir. Melez algoritmanın ilk aşaması ya da ileri yön geçişi ile UATBÇS ağına ait giriş parametreleri, ikinci aşamada ya da geri yön geçişinde ise ağın sonuç parametreleri güncellenir. Melez öğrenme algoritmasının ileri yön geçişini oluşturan ve en küçük kareler yöntemi kullanılmak suretiyle gerçekleştirilen kısmında, ağın girişindeki üyelik fonksiyonlarına ait parametreler ya da kısaca $S1$ ile belirtilen giriş parametreleri sabit tutulur. Böylece ağın çıkışı, $S2$ parametre kümesi içinde bulunan çıkış parametrelerinin, lineer bir kombinasyonu haline gelir. Modellenecek sisteme ait P tane giriş-çıkış verisi ya da eğitim datası ile $S1$ giriş parametrelerinin verilen değerleri kullanılarak, ağın çıkışı, matrisel formda,

$$A\theta = B \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Matrisel eşitlikte yer alan θ vektörü, $S2$ çıkış parametrelerinin elemanlarından oluşan, bilinmeyen vektördür. Bu denklem, standart doğrusal en küçük-kareler (least-squares) problemini gösterir ve θ için en iyi çözüm, $\|A\theta - B\|^2$ 'nin minimum değeri olan, en küçük kareler tahmini θ^* dır.

$$\theta^* = (A^T A)^{-1} A^T \quad (2.13)$$

Burada A^T , A matrisinin transpozu ise ve eğer $A^T A$ singular değilse, $(A^T A)^{-1} A^T$, A' nin sahte tersidir. Bunun yerine, yinelemeli olarak en küçük kareler formülü de kullanılabilir. Özel olarak denklem (2.13)'deki A matrisinin i . satırı a_i^T ile B matrisinin i . elemanı b_i A^T ile gösterilsin. Bu taktirde θ vektörü, iteratif olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\theta_{i+1} = \theta_i + s_{i+1} a_{i+1} (b_{i+1}^T - a_{i+1}^T \theta_i) \quad (2.14)$$

$$S_{i+1} = S_i - \frac{S_i a_{i+1} a_{i+1}^T S_i}{1 + a_{i+1}^T S_i a_{i+1}}, \quad i = 0, 1, \dots, P - 1 \quad (2.15)$$

Burada en küçük kareler tahmini θ^* , $\theta P'$ ye eşittir. (2.14) no' lu denklemde ihtiyaç duyulan başlangıç şartları şunlardır; $\theta_0 = 0$ ve $S_0 = \gamma I$. Burada γ , pozitif büyük bir sayı, I ise $M \times M$ boyutunda birim matristir. Melez öğrenme algoritmasının geri yön geçişinde, S_2 çıkış parametreleri sabit tutulur ve ağın çıkışındaki hata sinyali geriye doğru yayılarak, eğim düşümü (gradient descent) yöntemiyle giriş parametreleri güncellenir. Geri yön geçişinde giriş parametreleri için güncelleme formülü aşağıdaki gibidir;

$$\Delta \alpha = -\eta \frac{\partial E}{\partial \alpha} \quad (2.16)$$

Burada α herhangi bir giriş parametresini, η öğrenme oranını, E ise ağın çıkışındaki hata değerini göstermektedir [12].

3. UATBÇS UYGULAMALARI

Bir basamaklı savakta, savak yüzü çok sayıda basamaklarla doludur. Basamaklar önemli enerji kaybına neden olurlar. Basamaklı savaklar yaygın olarak, enerji sönümlemeleri, sulama kanalları ve taşkın su yolu kanallarında kullanılır. Basamaklı savaklar ayrıca havalandırmada ve de su arıtma tesislerinde atmosferik gazların (oksijen ve nitrojen gibi) ve uçucu organik bileşenlerin hava-su transferini arttırmak için de kullanılır.

Basamaklı savaklarda üç farklı akım rejimi bulunur; nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akım (Şekil 3.1) Chanson [10], Chamani ve Rajaratnam [15], ana hatlarıyla basamaklı savakların hidrolik dizaynında ve özellikle de basamaklı savaklar üzerindeki nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akımın özelliklerine yoğunlaşmıştır. Son zamanlarda Baylar ve Emiroğlu [16] ve Baylar ve diğerleri [17] basamaklı savakların havalandırma verimliliklerine dair bir dizi detaylı deneyler yapmıştır.

Son yıllarda akıllı yöntemlerdeki ilerlemeler, bunların karmaşık sistem modellemesinde kullanılmalarına olanak sağlamıştır. Bu akıllı yöntemlerden birisi de yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağı performansı, geliştirme modellerinin ebat ve kalitesine bağlıdır. Geliştirme verilerinin sayısı küçükse, olasılık alanını temsil etmiyorsa, standart sinir ağı sonuçları zayıf olur. Diğer akıllı yöntem, Hanbay ve diğerlerinin [6,18] yaptığı ve çoğu uygulamalarda başarıyla kullanılan bulanık teoridir. Bulanık yöntemler, karmaşık sistem modelleme için dilsel etiketler sağlar. Bulanıklığın bazı avantajları vardır, bunlardan biri de belirsiz verileri ele almaya imkân tanınmasıdır. UATBÇS mimarisinde hem yapay sinir ağı hem de bulanık mantık kullanılır. UATBÇS, Sugeno-tip bulanık çıkarım sistemlerindeki parametreleri tespit etmek için melez öğrenme algoritması kullanır. Verilen bir geliştirme veri setini iyileştirmek amacıyla, geliştirme üyelik fonksiyon parametreleri için en küçük kare yöntemi ile geri yayılım eğim düşüşünün bir kombinasyonunu uygular. UATBÇS modelleme, kontrol veya parametre tahminleri için karmaşık sistem araştırmalarında yaygın şekilde kullanılır. Ancak hidrolik sistemlerle alakalı araştırmalarda kullanımı oldukça sınırlıdır [18]. Bununla beraber yapay sinir ağlarıyla hidrolik sistemlerin modellenmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [19].

Bu çalışmada basamaklı savaklarda akım rejimi, basamaklı savaklar ve ince kenarlı savakların havalandırma verimleri UATBÇS kullanılarak modellenmiştir.

3.1. UATBÇS ile Basamaklı Savaklar Üzerindeki Akım Şartlarını Tahmin Etme

3.1.1. Basamaklı Savakların Hidroliği

Basamaklı savaklar önceleri gerçek mühendislik kurallarına uygun olmasa da yaklaşık 3500 yıldır kullanılmaktadır. İnsanoğlu bu yapıyı da doğadan esinlenerek yapmaya başlamıştır. Gold Creek ve New Croton barajlarının dolusavakları profesyonel manada ilk olarak inşa edildiği düşünülen basamaklı dolusavaklardır. 19. yüzyılda Avrupa, Kuzey Amerika ve Avustralya’da tasarım tekniği çok yaygın idi. 19. yüzyılın sonlarına doğru artık iyice anlaşıldı ki basamaklı savaklar akım enerjisinin önemli bir kısmının kırılmasına yardımcı olmaktadır. Akım enerjisinin sönümlenmesi amacıyla inşa edilen savaklar, akım enerjisinin savak boyunca tedricen kırılmasını sağlamaktadırlar. Basamaklar, savak boyunca çok büyük oranda enerji sönümler ve mansap tarafta ihtiyaç duyulan enerji kırıcı yapıların boyutlarını ve maliyetini önemli derecede azaltır. Klasik savaklar ile kıyaslandığında, basamaklı savaklarda, toplam enerjinin ortalama %70-%80’ninin sönümlenebileceği ve kalan enerjinin kırılması için mansapta küçük bir hidrolik yapıya ihtiyaç duyulacağı görülür [20].

20. yüzyılın ilk yarısındaki hidrolik sıçramaların enerji kırılım karakteristikleri hakkındaki yeni gelişmeler basamaklı savaklar hakkında ilgi uyandırmıştır. Düşüm havuzlarının tasarımı da enerji kırılımını desteklemektedir. Basamaklı savaklar çok büyük enerjiyi alıp sönümler ve inşa maliyetleri ucuzdur. 1970’lerde yeni inşa materyallerinin gelişmesiyle birlikte basamaklı savakların kullanımı yeniden gündeme gelmiştir. Bu yeni gelişmelere silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (RCC) ve gabionlar örnek gösterilebilir.

Basamaklı savaklar ağırlık barajlarının mansap yüzü içine oldukça ekonomik ve pratik olarak teşkil edilebilir. Özellikle RCC barajlar mükemmel bir savak tipidir. RCC barajların dış tarafı klasik beton ile inşa edilmektedir. Mamba ve mansap yüzü bu şekilde inşa edildiği için mansap yüzüne basamaklı savak yapmak oldukça ucuz olmaktadır. Günümüzde basamaklı savak denilince akla ilk RCC barajlar gelmektedir. Diğer yaygın uygulama kullanımı ise dolgu barajlarda ve acil durum savaklarındadır.

Her iki durumda da dikkatli bir yapısal ve hidrolik tasarımın yapılması şarttır. Baraj yapısının hizmet ömrü boyunca güvenliğin sağlanması mühendislik hizmetlerinin birincil görevidir. Bu nedenle bunların tasarımında oldukça dikkatli olunması zorunludur. Bunların tasarımda deneysel olarak hidrolik laboratuvarlarında ve bilgisayarda sayısal olarak basamaklı savakların hidroliği araştırılmış ve projelendirilmesiyle ilgili kriterler sunulmuştur.

3.1.1.1. Sıçramalı Akım

Basamaklar üzerinden “sıçramalı” olarak su akar. Basamakların dış kenarları üzerinde suyun sıçradığı sözde taban oluşturur. Sözde taban altında, kendi çevresinde dönen girdaplar oluşur ve ana akarsudan yük basıncının nakledilmesiyle yeni sirkülasyon devam eder. (Şekil 3.1a) Küçük çaptaki girdap kuvveti basamaklarının köşesinde de oluşur. Havalanmış akım bölgesi serbest-yüzeyin pürüzsüz ve camsı olduğu bir bölgeyi izler. Ancak sınıra yakın, türbülans oluşur ve sınır katmanı, katmanın dış kenarı yüzeye ulaşana dek büyür. Sınır katmanının dış yüzeyi serbest yüzeye ulaştığında, türbülans doğal serbest-yüzey havalandırmasını başlatabilir. Hava girişinin başladığı yere başlangıç noktası denir. Serbest-yüzey havalandırmanın başlangıç noktasının altında akım hızla havalanır ve serbest-yüzey beyazlaşır. Hava ve su, homojen bir iki-fazlı akım oluşana dek tamamen karışır [15].

3.1.1.2. Geçiş Akımı

Yasuda ve diğerleri [20] her ne kadar akım özellikleri hakkında fazla detaya girmeseler de muhtemelen “geçiş akımı” rejimi kavramını ilk ortaya atan kişilerdir. Verilen bir basamaklı savak geometrisinde, düşük debilerde nap akım büyük debilerde sıçramalı akımlarda ara akım rejimi oluşur. Geçiş akımı, nap ile sıçramalı akım rejimleri arasındaki bir akım rejimidir. (Şekil 3.1b) Yüksek türbülanslı akım nedeniyle hava ve su sürekli karışır. Geçiş akımındaki hava sürüklenme işlemi henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir [15].

Bir savağın projelendirilmesinde öncelikle yanıt aranacak sorular şunlardır:

- a) Yapının amacı nedir? (Örneğin enerji sönmelenmesi, suyun arıtılması, acil durum savağı, taşkın önleme vb.)
- b) Projelendirmedeki sınırlamalar nelerdir? (Örneğin morfoloji (şekilsel yapı), hidroloji, malzeme durumu, topografya, jeoloji vb.)
- c) Yapının maliyeti ne kadardır? (Hangi tip savak daha ucuza mal edilebilir)

Eğer basamaklı bir savak yapılmasına karar verilmişse, proje debisi ile maksimum ve minimum debilerde nap veya sıçramalı akımdan hangisinin tercih edilebilir olduğuna karar verilebilmek için bütün bu parametreler dikkate alınmalıdır.

Bunun yanı sıra nap akımı ve sıçramalı akım rejimleri arasındaki geçiş akımı koşullarına engel olunmasına önem gösterilmelidir. Nap ve sıçramalı akım arasındaki geçiş akım koşullarında oluşan salınımlar istenmeyen ve hatta tehlikeli akım koşulları olup yapıda titreşimler meydana getirirler. Bu açıdan basamaklı savakları boyutlandırırken tüm parametreleri göz önüne alarak, projelendirmenin yapılması gerekmektedir.

Nap akımından sıçramalı akıma geçiş için; $26^\circ < \theta < 55^\circ$ için $h_c/h = 0.91 - 0.14 \tan \theta$ formülü en çok kullanılan parametrelerdir. h_c kritik derinliği, h basamak yüksekliğini göstermektedir.

3.1.2.1. Ön Plan Hazırlanması

Basamaklı savakların planı birçok durumda geleneksel dolusavak yöntemleri ile aynıdır. En büyük debileri bulmak için taşkın analizi ve bu taşkın hacimlerinin değişimini ve yeniden meydana gelme olasılığını, dizayn debisinin seçimi, taşkın güvenlik kontrolü ve savak yapısının kapaklı olup olmayacağına göre karar vermek basamaklı savaklar için başlangıç planı hazırlanması amacıyla yapılan işlemlerdir.

3.1.2.2. Savak Genişliğinin Seçimi

Savak genişliğinin seçimi, barajın kret uzunluğu dikkate alınarak yapılır. Mansap nehir yatağı genişliği ve ayaklardan dolayı savak genişliğinin etkin azaltılma imkanı ve kenar duvar girişleri genişlik seçimi için etkili kriterlerden bazılarıdır. Bütün

savaklar için çok önemli bir değerde göz önüne alınan taşkın olayının sebep olduğu baraj gölü normal su seviyesinin yükseltilmesidir. Büyük debilerin bir sonucu olarak baraj su gölü seviyesi çok etkili bir şekilde artar. Krette oluşan bu büyük yük birim debi $q=25-30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ civarında alınarak tasarım işlemleri yapılmaktadır. Bu sınırlamanın en önemli nedeni kavitasyon zararlarından kaçınmaktır.

Üniform akım dikkate alındığında ve taban hava konsantrasyonu yeteri kadar büyük olarak sağlandığında $q_{\max}=140 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ nin üzerine olabilir. Fakat bu değer büyük basamak ve büyük yükseklik değerleri için sakıncalı olabilir. Yapılan araştırmalarda türbülansın yüksek bir derecesinde havalanma eğiliminin daha etkili olduğuna karar verilmiştir.

Savak eğim açısı bazı durumlarda bir proje değişkeni olabilir. Dik olarak belirlenen bir eğimde yapı hacmi en aza indirilebilir fakat, daha düşük eğim açılarında daha etkili enerji sönmelenmesi sağlanabilir.

3.1.2.3. Savak Kretinin Tayini

Hidrolik tasarım kriterleri kret şeklinin kullanımına göre bütün savakların projelendirilmesini kapsar. Basamaklı savaklarda genellikle sabit yükseklikli basamaklar kullanılır.

Dolgu barajlarda kret oldukça geniştir. Bunu için geniş kret üzerine sık sık ilave duvarlar inşa edilir. Bununla savaklama meydana getirilmiş olur. Akım zaten kenarlardan hava girişi sayesinde yeteri miktarda havalanmaktadır.

Eğer birim debi yeteri kadar büyük seçilecek olursa savak üzerinden akım havalandırılmış olur. Eğer bu geleneksel bir savak şekli seçilerek başarılabılırsa (pürüzsüz beton yüzey gibi) ve bir havalandırıcı teget noktasının yanında konumlandırılırsa havalandırma işlemi yapılmış olur.

Diğer mümkün bir çözüm ise kret üstünde düz kapak kullanımıdır. Böyle bir çözümün avantajı akımın havalandırılması ve baraj gölündeki su seviyesinin kontrol altına tutulabilmesidir.

3.1.2.4. Maksimum Çıkış Debinin Meydana Gelmesi

Kret tasarımı tespitinden önce anahtar eğrileri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılabilir. Kapaklı yapılarda işletme kuralları raporlarla tespit edilir. Anahtar eğrisi, giriş hidrografi ve rezervuar hacim eğrisi, maksimum debinin çıkış hidrografının hesabı için gereklidir. Sonuç olarak elde edilen veriler birim debi ile karşılaştırılır.

3.1.2.5. Optimum Basamak Yüksekliğinin Seçimi

Basamak yüksekliği, boşaltım kanalı üzerine oluşması istenen akım rejimi ve sönümlenmesi beklenen enerji miktarına ulaşabilmek için debinin ve kanal eğim açısının bir fonksiyonu olarak seçilir. Seçilen basamak yüksekliği inşa prosedür raporları içerisine alınır. RCC barajlarda çok sık olarak inşa edilen basamakların yükseklikleri 30 cm ve 120 cm arasında değişmektedir. Zaten dünyada yapılan basamaklı savaklarda elverişli yüksekliğin de 60-120 cm olduğu görülmüştür. Fakat büyük debilerde kavitasyon riski küçük basamaklara göre daha fazladır. Kaviteasyona göre zarar yönetimi eğimin küçük veya büyük olması ve tabandaki üniform hava konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak yapılır.

Ayrıca büyük basamaklar daha fazla enerji kırılımı sağlamak bakımından küçük basamaklara göre daha uygundur. Zaten 60 cm' den daha küçük basamaklar tavsiye edilmemektedir.

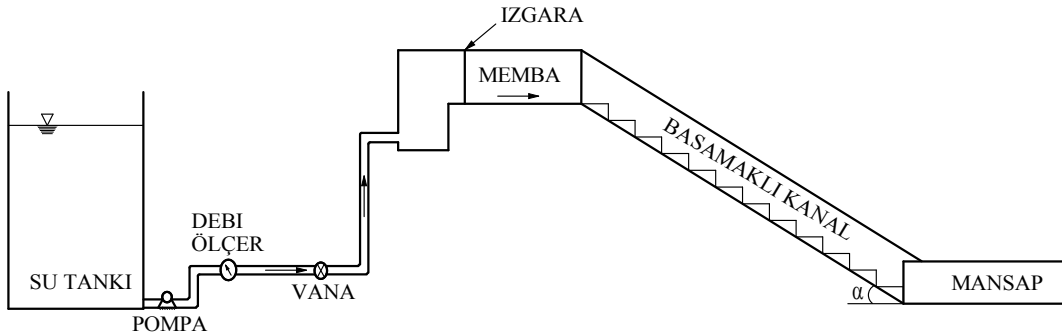
3.1.2.6. Basamak Uzunluğu ve Kanal Eğim Açısının Seçimi

Basamakların yerleştirileceği kanalın eğim açısı arazinin topografyası veya kullanılacak inşaat metodu tarafından belirlenmediyse, kanal eğim açısı optimum akım koşullarını ve enerji sönümlenmesini sağlayacak şekilde seçilmelidir.

3.1.3. Deneysel Çalışma

3.1.3.1. Deney Düzeneği

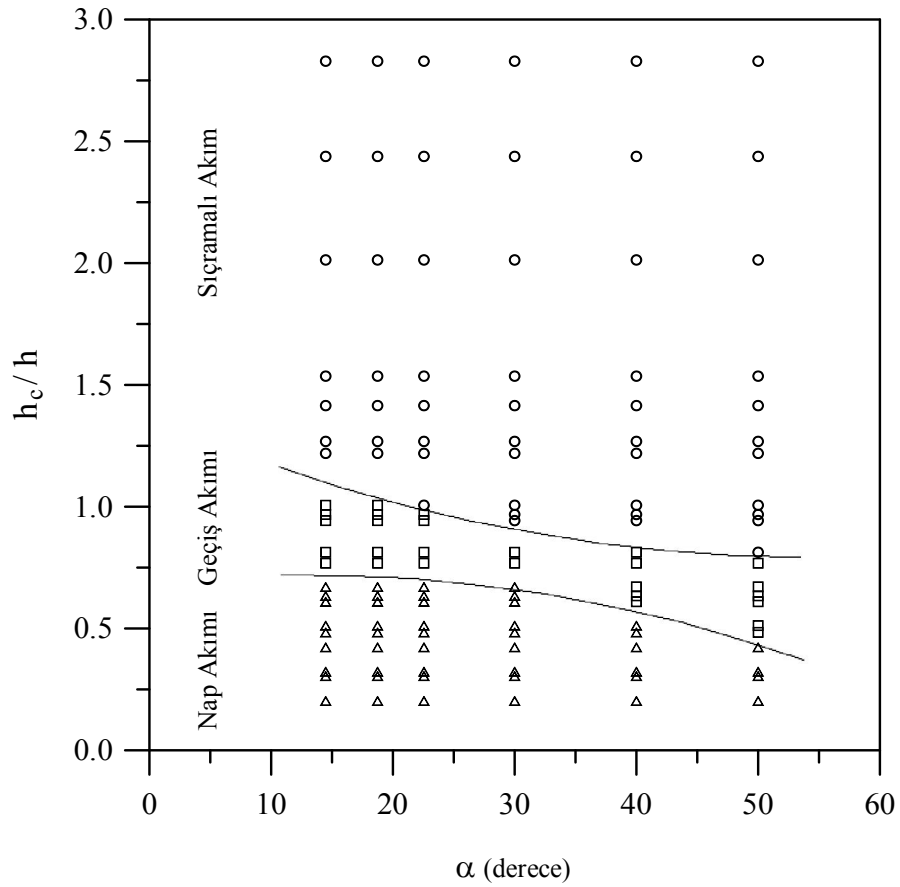
Bu çalışmada kullanılan veriler Baylar ve Emiroğlu, ve Baylar ve diğerlerinin [17,21-27] basamaklı savaklar üzerinde yaptıkları çalışmalardan alınmıştır. Deneysel düzeneğin şematik bir temsili Şekil 3.2’de görülmektedir. Basamaklı savak 0.30 m genişlikli ve 0.50 m derinlikli dikdörtgen prizmatik bir kanal içerisine yerleştirilmiştir. Kenar duvarları, akım rejimini takip edebilmek için şeffaf yapılmıştır. Su, depodan bir pompa vasıtasıyla memba kanalına iletilir. Basamaklı savağın yüksekliği 1.25 ve 2.50 m. olarak imal edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan mansap kanalı 3.0 m uzunluğunda 0.35 m genişliğinde ve 0.45 m derinliğindedir. Burada yapılan deneyler $16.67 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $166.67 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişen birim debilerde gerçekleştirilmiştir. Debi, bir akım ölçer yardımıyla belirlendi. Basamaklı savağın yerleştirildiği kanalın eğimleri 14.48° , 18.74° , 22.55° , 30° , 40° , ve 50° olarak alınmıştır. Deneylerde 5, 10 ve 15 cm yüksekliğinde basamaklar kullanılmıştır.



Şekil 3. 2. Basamaklı savaklar üzerinde akım şartlarının belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği

3.1.3.2. Deneysel Sonuçlar

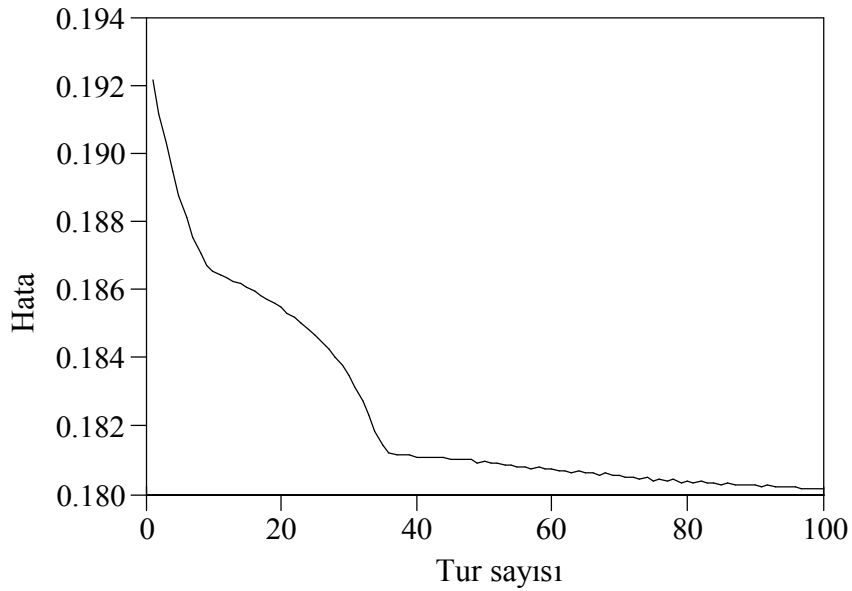
Deneysel sonuçlar göstermiştir ki basamaklı savaklarda akım rejimi, akım oranı, basamak yüksekliği ve savak eğiminin bir fonksiyonudur. Üç farklı akım rejimi, yani nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimleri oluşur. Basamak yüksekliğinin artması ve birim debi ve savak eğiminin azalmasıyla nap akım rejimine doğru bir eğilim gözlemlenmiştir. Ancak sonuçlar göstermektedir ki birim debi ve savak eğimi arttıkça ve de basamak yüksekliği azaldıkça geçiş akımı ve sıçramalı akım rejimlerine doğru bir eğilim gözlemlenmiştir. Şekil 3.3.'te basamaklı savaklardaki akım şartlarının sınıflandırması görülmektedir.



Şekil 3. 3. Basamaklı savaktaki akış şartlarının sınıflandırılması

3.1.4. UATBÇS Modelleme Sonuçları

Tüm program kodu MATLAB’ da yazılmıştır [39]. Bu çalışmada dikkate alınan parametreler kritik akım derinliğinin basamak yüksekliğine oranı (h_c/h), savak eğimi (α) ve akım rejimidir. Parametreler (h_c/h) ve α akım rejimini tahmin etmek için UATBÇS girdileri olarak kullanılır. Üç akım rejimi, nap, geçiş ve sıçramalı, sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak numaralandırılmıştır. Bu çalışmada toplam 126 deneysel veri kullanılmıştır. 3-kat çapraz sağlama yöntemi modelin sağlamasında kullanılmıştır. UATBÇS modelin öğrenme performansı Şekil 3.4’ de gösterilmektedir.

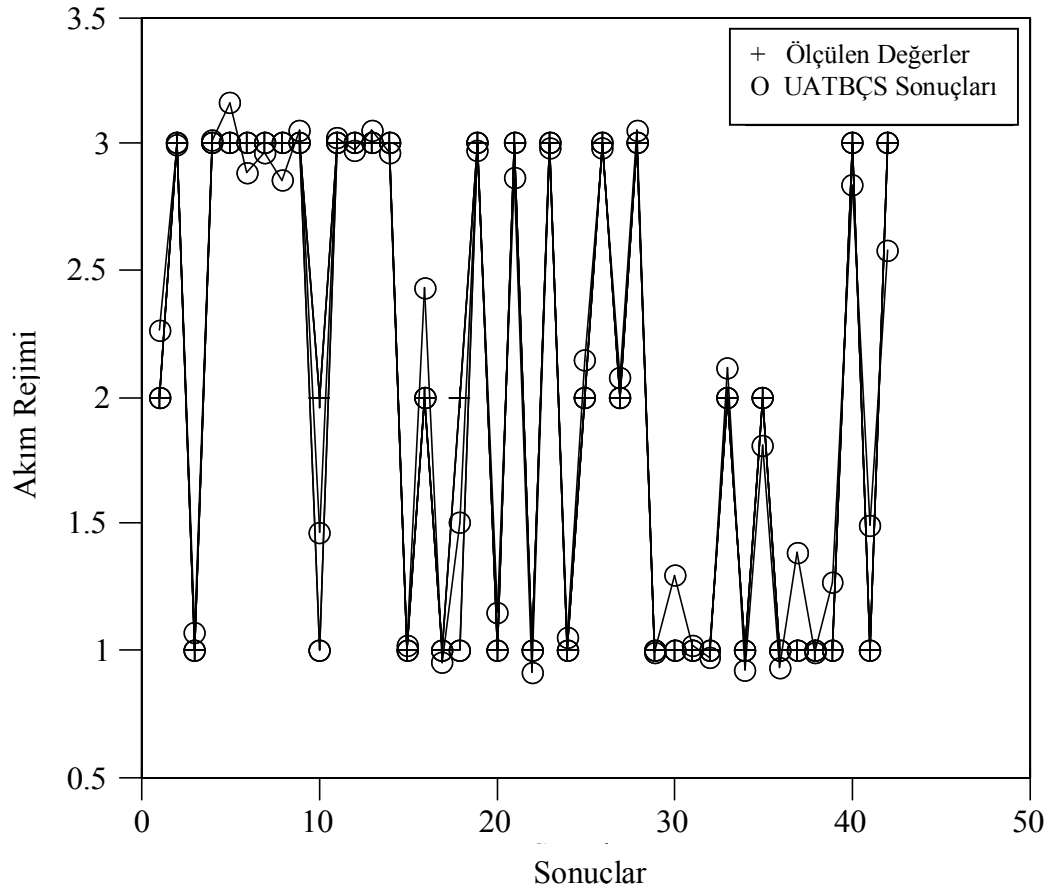


Şekil 3.4. UATBÇS modelinin öğrenme performansı

Test sonuçları Tablo 3.1 de görülmektedir. Ayrıca bu sonuçlar Şekil 3.5 'de grafiksel olarak da görülmektedir.. Tablo 3.1 'in dördüncü sütununda 1, 2 ve 3 rakamları ayrı ayrı akım rejimlerini gösterir; nap, geçiş ve sıçramalı akım. Beşinci sütunda UATBÇS tahminleri görülmektedir. Altıncı sütunda, UATBÇS modelin sınıflandırma sonucu gösterilmektedir. Tablo 3.1’ de UATBÇS ile akım rejimlerini yüksek bir doğrulukla tahmin edildiği görülmüştür. Doğru sınıflandırma başarı oranı %99.01 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.1. UATBÇS test değerleri ve akış rejimi tahminleri

h_c/h (-)	α (der.)	Akım Rejimi Tipi	Akım Rejiminin Sınıflan- dırılması	Akım Rejiminin Tahmini (UATBÇS)	Akım Rejiminin Sınıflandı- rılması (UATBÇS)	Başarı Oranı (%)
0.960	14.48	Geçiş	2	2.2585	2	12.9250
2.020	14.48	Sıçramalı	3	2.9928	3	0.2400
0.600	18.74	Nap	1	1.0670	1	6.7000
1.540	18.74	Sıçramalı	3	3.0122	3	0.4067
2.820	18.74	Sıçramalı	3	3.1594	3	5.3133
1.260	22.55	Sıçramalı	3	2.8854	3	3.8200
2.440	22.55	Sıçramalı	3	2.9654	3	1.1533
0.960	30.00	Sıçramalı	3	2.8511	3	4.9633
2.020	30.00	Sıçramalı	3	3.0531	3	1.7700
0.600	40.00	Geçiş	2	1.4657	1	46.5700
1.540	40.00	Sıçramalı	3	3.0196	3	0.6533
2.820	40.00	Sıçramalı	3	2.9737	3	0.8767
1.260	50.00	Sıçramalı	3	3.0539	3	1.7967
2.440	50.00	Sıçramalı	3	2.9654	3	1.1533
0.480	14.48	Nap	1	1.0142	1	1.4200
1.010	14.48	Geçiş	2	2.4281	2	21.4050
0.300	18.74	Nap	1	0.9513	1	4.8700
0.770	18.74	Geçiş	2	1.4971	1	49.7100
1.410	18.74	Sıçramalı	3	2.9742	3	0.8600
0.630	22.55	Nap	1	1.1473	1	14.7300
1.220	22.55	Sıçramalı	3	2.8626	3	4.5800
0.480	30.00	Nap	1	0.9100	1	9.0000
1.010	30.00	Sıçramalı	3	2.9849	3	0.5033
0.300	40.00	Nap	1	1.0433	1	4.3300
0.770	40.00	Geçiş	2	2.1442	2	7.2100
1.410	40.00	Sıçramalı	3	2.9828	3	0.5733
0.630	50.00	Geçiş	2	2.0776	2	3.8800
1.220	50.00	Sıçramalı	3	3.0504	3	1.6800
0.320	14.48	Nap	1	0.9874	1	1.2600
0.673	14.48	Nap	1	1.2924	1	29.2400
0.200	18.74	Nap	1	1.0168	1	1.6800
0.513	18.74	Nap	1	0.9667	1	3.3300
0.940	18.74	Geçiş	2	2.1103	2	5.5150
0.420	22.55	Nap	1	0.9218	1	7.8200
0.813	22.55	Geçiş	2	1.8099	2	9.5050
0.320	30.00	Nap	1	0.9260	1	7.4000
0.673	30.00	Nap	1	1.3815	1	38.1500
0.200	40.00	Nap	1	0.9901	1	0.9900
0.513	40.00	Nap	1	1.2656	1	26.5600
0.940	40.00	Sıçramalı	3	2.8379	3	5.4033
0.420	50.00	Nap	1	1.4913	1	49.1300
0.813	50.00	Sıçramalı	3	2.5796	3	14.0133



Şekil 3.5. UATBÇS' in test performansı

Sayısal hatalar, matematiksel işlemler ve değerlerin yaklaşık kullanımlarından ortaya çıkan farklar olarak tanımlanabilir. Bu hataların bir kısmı kullanıcıların kendisinden, bir kısmı bilgisayarda kullanılan yazılımlardan ve bir kısmı da bilgisayarların doğal olarak sayıları belirli bir uzunlukta depolayabilme, yuvarlatma ve kesmelerinden kaynaklanır.

- a) Mutlak Hata:** Doğru olarak kabul edilen bir büyüklüğün değeri (analitik olarak bilinen) ile sayısal hesaplamalar sırasında elde edilen değer arasındaki fark mutlak hata olarak tanımlanır:

$$\epsilon_{\text{mutlak}} = |f_{\text{gerçek}} - f_{\text{hesaplanan}}|$$

- b) Bağıl Hata: Mutlak hatanın gerçek değere bölünmesiyle elde edilen hatadır. Fakat her problem için gerçek değeri bilme olanağı olmadığı için bağıl hata genel olarak mutlak hatanın yaklaşık değere bölünmesiyle elde edilir.

$$\varepsilon_{\text{bağıl}} = \varepsilon_{\text{mutlak}} / f_{\text{gerçek}}$$

Mutlak hata ve bağıl hata 100 ile çarpılarak çoğu zaman hata yüzdesi olarak gösterilir. Yüzde değerlerin negatif çıkmaması için farklar mutlak değer olarak alınabilir.

UATBÇS yapısı Tablo 3.2’de verilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının farklı tipleri kullanılmış ve Tablo 3.3’de de görüldüğü gibi en iyi performans gbellmf ile elde edilmiştir. Her bir girdinin 3 üyelik fonksiyonu vardır. Tüm üyelik için öğrenme devri 100’dür.

Tablo 3.2. UATBÇS yapısı

Düğümlerin sayısı:	35
Doğrusal parametrelerin sayısı:	27
Doğrusal olmayan parametrelerin sayısı:	18
Toplam parametre sayısı:	45
Eğitim veri çiftlerinin sayısı:	84
Test veri çiftlerinin sayısı:	42
Bulanık kurallarının sayısı:	9

Tablo 3.3. Farklı tipte üyelik fonksiyonlarının performansı

Üyelik fonksiyonları	Sınıflandırma doğruluğu (%)			Ortalama sınıflandırma doğruluğu (%)
	Test veri seti-1	Test veri seti-2	Test veri seti-3	
Dsigmf	98.84	99.08	98.68	98.8667
Gauss2mf	98.99	98.82	98.87	98.8933
Gbellmf	98.97	99.16	98.91	99.0133
Pimf	98.90	98.05	98.05	98.3333
Psigmf	98.83	99.08	98.68	98.8633
Trapmf	98.81	98.94	97.75	98.5000
Trimf	98.63	99.07	99.03	98.9100

3.2. UATBÇS Kullanarak Basamaklı Savakların Havalandırma Veriminin Modellenmesi

Günümüzde basamaklı savaklar havalandırması, oksijen ve nitrojen gibi atmosferik gazlara yaptığı ciddi oranlardaki hava-su transferiyle bilinmektedir. Basamaklı savaklar, güçlü türbülanslı karışımları, büyük çapta hava kabarcığı sürüklenmesi sayesinde çok verimli havalandırma yöntemidir. Basamaklı savaklar su arıtımında çözünmüş oksijen konsantrasyonunun uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılmasında kullanılır. Ayrıca içme suyu arıtımında, basamaklı savak havalandırması kloru ayırmak ve rahatsız edici tat veya kokuyu azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Yüksek oksijen transfer verimine sahip olmaları nedeniyle basamaklı savaklar ırmaklarda, nehirlerde, kanallarda, balık üretim alanlarında, su arıtma tesislerinde vs. oldukça verimli havalandırıcılar olarak kullanılabilir [28].

Suyla ilgili araştırmaların çeşitli alanlarında akıllı sistemler kullanılmaktadır. Son günlerde Hanbay ve diğerleri UATBÇS ve sinir ağı kullanarak ince kenarlı savakların havalandırma verimini modellemiştir. Bu çalışmada basamaklı savak havalandırıcıların havalandırma verimi UATBÇS kullanılarak modellenmiştir [29-31].

3.2.1. Havalandırma Verimi

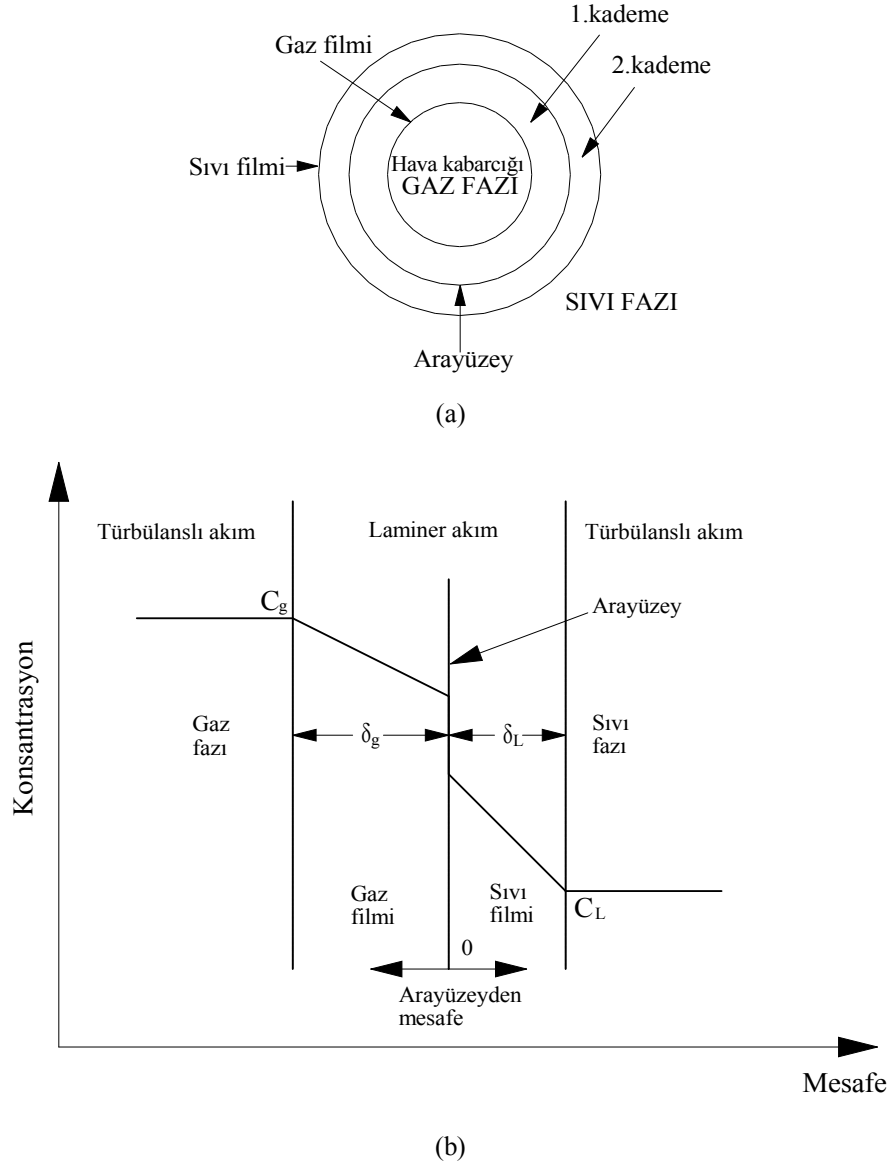
Sularda gaz transferi; suya klor, çözünmüş oksijen vb. gazları vermek veya CO_2 , H_2S gibi gazları sulardan uzaklaştırmak amacıyla yapılır. Bir gazın sudaki çözünürlüğü, gazın cinsine, suyun sıcaklığına ve sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Eğer bir sıvı ortam bir gaz veya gaz karışımlarıyla temas halinde ise gaz molekülleri, gaz ortamdan sıvıya veya sıvıdan gaz ortamına transfer olurlar. Bu durum gaz ile sıvı arasında bir denge hali meydana gelinceye kadar devam eder. Denge durumunda sıvı içindeki gaz konsantrasyonu doygun durumdadır.

Sıvıların havalandırılması gaz ile sıvı arasındaki bir kütle transferi işlemidir. Burada itici kuvvet, gaz fazda genellikle kısmi basınç farkı, sıvı fazda ise konsantrasyon farkı ($C_s - C$) ile ifade edilir. Kütle transfer işlemi gaz ile sıvının temas ettiği ara yüzeyin her iki tarafından film içerisinde gerçekleşir.

Gaz transferinin mekanizmasını izah için çift film teorisi, penetrasyon teorisi ve yüzey yenilenme teorisi gibi teoriler geliştirilmiştir. Gaz-sıvı işlemlerinde ara yüzeyin her iki tarafındaki direnci hesaba katmak için çift film teorisi kullanılır. Aşağıdaki kısımda bu teori incelenmiştir.

3.2.1.1. Çift Film Teorisi

Bu teoriye göre gaz-sıvı ara yüzeyinde Şekil 3.6.b' de görüldüğü gibi iki tabaka mevcuttur. Bunların dışında sıvı ve gaz fazları yer alır. Bu ince tabakalar, gaz moleküllerinin, gaz ve sıvı fazları arasındaki hareketine karşı direnç gösterirler. Gaz moleküllerinin gaz fazından sıvı fazına geçmesinde, sıvıda çözünürlüğü az olan gazlar esas direnci sıvı tabakasından, çözünürlüğü çok olan gazlar ise esas direnci gaz filminden görürler. Sıvı içinde çözünürlüğü orta şiddette olan gazlar ise her iki tabakada da önemli ölçüde geçiş direnci ile karşılaşılır [22].



Şekil 3.6. Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) grafiksel gösterilişi

Suların havalandırılmasında karşılaşılan sistemlerde genel olarak suda az çözünen gazlar söz konusu olup gaz transfer hızı, gazın denge halindeki konsantrasyonu ve mevcut konsantrasyonu arasındaki farkla orantılıdır. Bu tür sistemler için gaz transfer hızı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_s - C) \quad (3.1)$$

Burada; $\frac{dm}{dt}$ = kütle transfer hızı (g/s), t = kütle transferinin meydana gelme süresi (s), K_g = kütle transfer katsayısı, A = kütle transfer alanı (m^2), C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

Kütle transfer hızı, konsantrasyon değişim hızı cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} \quad (3.2)$$

Burada; V = transfer olunan gaz hacmidir (m^3). Bu ifade Denklem(3.1) 'de yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dC}{dt} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (3.3)$$

elde edilir. Suların havalandırılması işlemlerinde gaz transferine esas direnç sıvı tarafı filmi içerisindedir. Bu nedenle $\frac{A}{V}$ yerine özgül ara kesit yüzeyini gösteren "a" ve K_g yerine ise sıvı film katsayısını gösteren " K_L " kütle transfer katsayısı kullanılır. Böylece Denklem (3.3),

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (3.4)$$

şeklinde yazılır. Burada; $\frac{dC}{dt}$ = konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s), $K_L a$ = kütle transfer katsayısı, C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. $K_L a$ zamanın fonksiyonu olup Denklem (3.4.) hidrolik yapının membasındaki bir noktadan mansaba doğru integre edilmesinden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a dt \right] \quad (3.5)$$

Burada; C_u ve C_d = sırasıyla memba ve mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), r = oksijen eksiklik oranı ve t_u ile t_d = sırasıyla kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği sürelerdir (s). C_u ile C_d deneysel olarak ölçülür ve C_s ise literatürdeki denklemler veya tablolar yardımıyla bulunur.

3.2.1.2. Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun doyumluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneği olarak tanımlanır. Denklem (3.5) oksijen transfer verimi olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir [32].

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} = 1 - \frac{1}{r} \quad (3.6)$$

Burada; E = oksijen transfer verimidir. $E = 0$ değeri yapıda oksijen transferinin olmadığını ve $E = 1$ değeri mansap suyunun doyumluğa ulaştığını gösterir. $E > 1$ değerleri ise mansap suyunun aşırı doyumluğa sahip olduğunu ifade eder ($C_d > C_s$).

15 °C' deki oksijen eksiklik oranını (r_{15}) kullanarak 20 °C' deki oksijen transfer verimini (E_{20}) ifade edebilmek için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$E_{20} = 1 - \frac{1}{r_{15}^{1.115}} \quad (3.7)$$

3.2.1.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi

Gameson ve diğerleri [20], küçük bir savak modeli üzerinde deneysel çalışmalar yürüterek oksijen transferinin su sıcaklığı ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalara göre aşağıdaki ampirik denklemleri geliştirmişlerdir.

15 °C referans sıcaklıkta;

$$\ln(1 - E_{15}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.018(T - 15)} \quad (3.8)$$

ve 20 °C sıcaklıkta;

$$\ln(1 - E_{20}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.0165(T - 20)} \quad (3.9)$$

Burada; E_{15} ve E_{20} = sırasıyla 15 °C ve 20 °C deki oksijen transfer verimlerini, $E = T$ °C deki oksijen transfer verimini ve T = su sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Holler oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini tanımlamak için aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$\ln(1 - E) = \ln(1 - E_{20})\alpha_t^{(T-20)} \quad (3.10)$$

Burada; α_t = bir katsayıdır (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha_t = 1.0241$). Bu denklemin hidrolik yapılar için uygun olmadığı ve Gameson ve diğerleri [33] tarafından geliştirilen denklem kadar iyi sonuçlar vermediği anlaşılmıştır [34].

Tebbutt ve diğerleri [35], kaskat dolu savaklar üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$\frac{(r - 1)}{(r_{20} - 1)} = \frac{E(1 - E_{20})}{E_{20}(1 - E)} = (1 + 0.0335(T - 20)) \quad (3.11)$$

Burada; $r = T$ °C deki oksijen eksiklik oranı ve $r_{20} = 20$ °C deki oksijen eksiklik oranıdır.

Gulliver ve diğerleri [36], oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini (3.12) nolu denklem ile ifade etmişlerdir.

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/f} \quad (3.12)$$

veya

$$E_{20} = 1 - (1 - E)^{1/f} \quad (3.13)$$

şeklinde yazılabilir. Burada " f " değeri aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T-20)^2 \quad (3.14)$$

(3.12) nolu denklemde, 0°C - 40°C arasındaki sıcaklıklarda % 0.03 gibi oldukça küçük bir maksimum hata meydana geldiğinden kullanılması önerilmektedir.

3.2.1.4. Oksijen Transfer Veriminin Belirlenmesinde Gerekli Olan Bilgiler

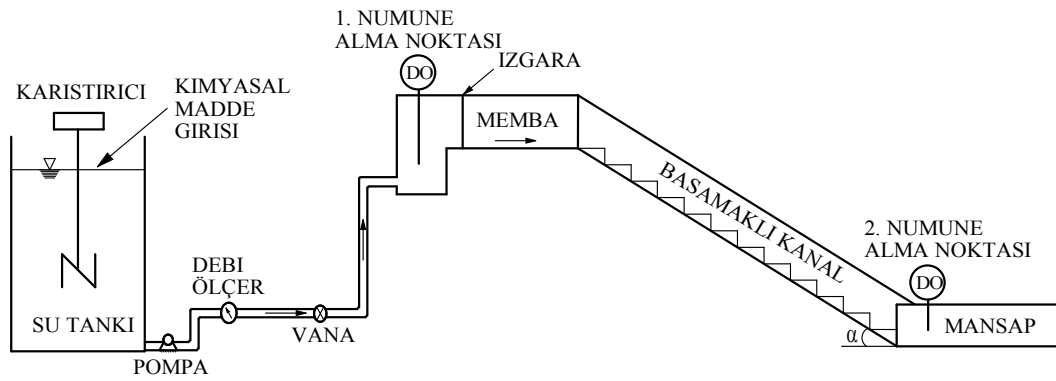
Hidrolik yapılardaki oksijen transfer verimini belirlemek için genellikle aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

- Hidrolik yapının yeri ve tipi
- Numunenin alındığı tarih
- Yapıdan geçen birim debi
- Yapının memba ve mansabı arasındaki yükseklik farkı
- Mansap su derinliği
- Eğer mevcutsa kapak açıklığı
- Ölçüm yapılan yerdeki barometrik basınç ve nisbi nem
- Yapının memba ve mansabındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu
- Sudaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu
- Su sıcaklığı

3.2.2. Deneyisel Çalışma

3.2.2.1. Deney Düzenegi

Bu çalışmada kullanılan veriler, Baylar ve Emiroğlu ve Baylar ve diğerlerinin [22-27,29] basamaklı savaklar üzerinde yaptıkları çalışmalardan alınmıştır (Şekil 3.7). Deney düzeneğinin ayrıntıları Bölüm 3.1.2.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.7. Basamaklı savakların havalandırma verimini belirlemede kullanılan deney düzeneği

Deneylerde musluk suyu kullanılmıştır. Her deneyde su değiştirilmiştir. Tanktaki suyun oksijeni sodyum sülfat yöntemiyle azaltılmıştır. Teorik olarak 7.9 g/m^3 sodyum sülfat 1 g/m^3 çözünmüş oksijeni azaltmak için gerekmektedir. Test edilen musluk suyunun çözünmüş oksijenine bağlı olarak, yaklaşık olarak gereken sodyum sülfat oranları tahmin edildi. Kobalt II klorür oksijensizleşme reaksiyonunun katalizörü olarak kullanıldı.

Her deneye, Na_2SO_3 ve CoCl_2 ün eklenerek su tankının doldurulmasıyla başlanmıştır. Deneyler esnasında basamaklı savağın memba ve mansap kısımlarındaki çözünmüş oksijen ölçümleri, Şekil 3.7’de belirtilen yerlerde HANNA Model HI 9142 oksijen metreler kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler, örnekleme noktalarından yaklaşık 0.20 m derinliğe bastırılarak yapılmıştır. Oksijen metreler hava kalibrasyon yöntemiyle, kullanımdan önce lokal atmosferik basınca göre günlük olarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemleri üreticinin tavsiye ettiği yöntemler izlenerek yapılmıştır.

Kalibrasyon nemli havada yapılmıştır. Bu çalışmada doyma konsantrasyonları McGhee [37] tarafından verilen tablo kullanılarak yapılmıştır.

3.2.2.2. Deneysel Sonuçlar

Basamaklı savaklardaki havalandırma verimi deney sonuçları aşağıdaki Tablo 3.4, 3.5, 3.6. 'da verilmiştir.

Tablo 3.4. Basamaklı savak deney sonuçları (h = 0.05 m)

q (m²/s x 10⁻³)	h (m)	α (der.)	L (m)	N	E₂₀ (-)	Akım Rejimi
16.67	0.05	14.48	5.00	25	0.60	Nap
33.33	0.05	14.48	5.00	25	0.58	Geçiş
50.00	0.05	14.48	5.00	25	0.55	Sıçramalı
66.67	0.05	14.48	5.00	25	0.45	Sıçramalı
100.00	0.05	14.48	5.00	25	0.30	Sıçramalı
133.33	0.05	14.48	5.00	25	0.26	Sıçramalı
166.67	0.05	14.48	5.00	25	0.23	Sıçramalı
16.67	0.05	30.00	5.00	50	0.81	Nap
33.33	0.05	30.00	5.00	50	0.82	Sıçramalı
50.00	0.05	30.00	5.00	50	0.74	Sıçramalı
66.67	0.05	30.00	5.00	50	0.70	Sıçramalı
100.00	0.05	30.00	5.00	50	0.62	Sıçramalı
133.33	0.05	30.00	5.00	50	0.59	Sıçramalı
166.67	0.05	30.00	5.00	50	0.57	Sıçramalı
16.67	0.05	18.74	3.89	25	0.60	Nap
33.33	0.05	18.74	3.89	25	0.57	Geçiş
50.00	0.05	18.74	3.89	25	0.52	Sıçramalı
66.67	0.05	18.74	3.89	25	0.44	Sıçramalı
100.00	0.05	18.74	3.89	25	0.28	Sıçramalı
133.33	0.05	18.74	3.89	25	0.22	Sıçramalı
166.67	0.05	18.74	3.89	25	0.16	Sıçramalı
16.67	0.05	40.00	3.89	50	0.74	Geçiş
33.33	0.05	40.00	3.89	50	0.75	Sıçramalı
50.00	0.05	40.00	3.89	50	0.72	Sıçramalı
66.67	0.05	40.00	3.89	50	0.70	Sıçramalı
100.00	0.05	40.00	3.89	50	0.63	Sıçramalı
133.33	0.05	40.00	3.89	50	0.59	Sıçramalı
166.67	0.05	40.00	3.89	50	0.56	Sıçramalı
16.67	0.05	22.55	3.26	25	0.68	Nap
33.33	0.05	22.55	3.26	25	0.61	Geçiş
50.00	0.05	22.55	3.26	25	0.53	Sıçramalı
66.67	0.05	22.55	3.26	25	0.42	Sıçramalı
100.00	0.05	22.55	3.26	25	0.32	Sıçramalı
133.33	0.05	22.55	3.26	25	0.29	Sıçramalı
166.67	0.05	22.55	3.26	25	0.24	Sıçramalı
16.67	0.05	50.00	3.26	50	0.79	Geçiş
33.33	0.05	50.00	3.26	50	0.77	Sıçramalı
50.00	0.05	50.00	3.26	50	0.75	Sıçramalı
66.67	0.05	50.00	3.26	50	0.74	Sıçramalı
100.00	0.05	50.00	3.26	50	0.72	Sıçramalı
133.33	0.05	50.00	3.26	50	0.66	Sıçramalı
166.67	0.05	50.00	3.26	50	0.64	Sıçramalı

Tablo 3. 5. Basamaklı savak deney sonuçları ($h = 0.10$ m)

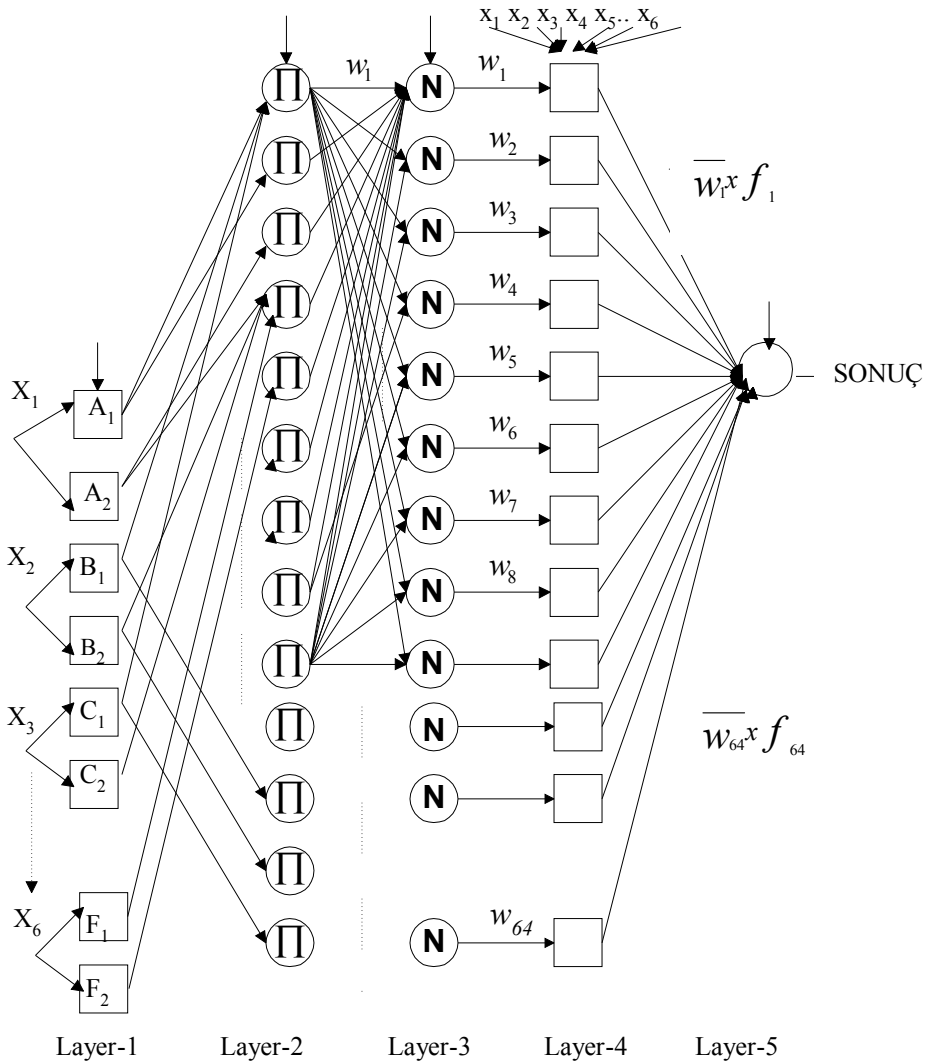
q (m²/s x 10⁻³)	h (m)	α (der.)	L (m)	N	E₂₀ (-)	Akım Rejimi
16.67	0.10	14.48	5.00	12	0.55	Nap
33.33	0.10	14.48	5.00	12	0.54	Nap
50.00	0.10	14.48	5.00	12	0.54	Nap
66.67	0.10	14.48	5.00	12	0.52	Geçiş
100.00	0.10	14.48	5.00	12	0.44	Geçiş
133.33	0.10	14.48	5.00	12	0.41	Sıçramalı
166.67	0.10	14.48	5.00	12	0.34	Sıçramalı
16.67	0.10	30.00	5.00	25	0.80	Nap
33.33	0.10	30.00	5.00	25	0.79	Nap
50.00	0.10	30.00	5.00	25	0.77	Nap
66.67	0.10	30.00	5.00	25	0.75	Geçiş
100.00	0.10	30.00	5.00	25	0.72	Sıçramalı
133.33	0.10	30.00	5.00	25	0.67	Sıçramalı
166.67	0.10	30.00	5.00	25	0.60	Sıçramalı
16.67	0.10	18.74	3.89	12	0.58	Nap
33.33	0.10	18.74	3.89	12	0.58	Nap
50.00	0.10	18.74	3.89	12	0.55	Nap
66.67	0.10	18.74	3.89	12	0.55	Geçiş
100.00	0.10	18.74	3.89	12	0.47	Geçiş
133.33	0.10	18.74	3.89	12	0.41	Sıçramalı
166.67	0.10	18.74	3.89	12	0.37	Sıçramalı
16.67	0.10	40.00	3.89	25	0.74	Nap
33.33	0.10	40.00	3.89	25	0.76	Nap
50.00	0.10	40.00	3.89	25	0.77	Geçiş
66.67	0.10	40.00	3.89	25	0.76	Geçiş
100.00	0.10	40.00	3.89	25	0.70	Sıçramalı
133.33	0.10	40.00	3.89	25	0.66	Sıçramalı
166.67	0.10	40.00	3.89	25	0.63	Sıçramalı
16.67	0.10	22.55	3.26	12	0.62	Nap
33.33	0.10	22.55	3.26	12	0.59	Nap
50.00	0.10	22.55	3.26	12	0.57	Nap
66.67	0.10	22.55	3.26	12	0.55	Geçiş
100.00	0.10	22.55	3.26	12	0.46	Sıçramalı
133.33	0.10	22.55	3.26	12	0.39	Sıçramalı
166.67	0.10	22.55	3.26	12	0.30	Sıçramalı
16.67	0.10	50.00	3.26	25	0.77	Nap
33.33	0.10	50.00	3.26	25	0.74	Geçiş
50.00	0.10	50.00	3.26	25	0.74	Geçiş
66.67	0.10	50.00	3.26	25	0.73	Geçiş
100.00	0.10	50.00	3.26	25	0.71	Sıçramalı
133.33	0.10	50.00	3.26	25	0.68	Sıçramalı
166.67	0.10	50.00	3.26	25	0.65	Sıçramalı

Tablo 3. 6. Basamaklı savak deney sonuçları (h = 0.15 m)

q (m²/s x 10⁻³)	h (m)	α (der.)	L (m)	N	E₂₀ (-)	Akım Rejimi
16.67	0.15	14.48	5.00	8	0.49	Nap
33.33	0.15	14.48	5.00	8	0.50	Nap
50.00	0.15	14.48	5.00	8	0.48	Nap
66.67	0.15	14.48	5.00	8	0.46	Nap
100.00	0.15	14.48	5.00	8	0.43	Nap
133.33	0.15	14.48	5.00	8	0.40	Geçiş
166.67	0.15	14.48	5.00	8	0.40	Geçiş
16.67	0.15	30.00	5.00	16	0.78	Nap
33.33	0.15	30.00	5.00	16	0.76	Nap
50.00	0.15	30.00	5.00	16	0.75	Nap
66.67	0.15	30.00	5.00	16	0.75	Nap
100.00	0.15	30.00	5.00	16	0.73	Nap
133.33	0.15	30.00	5.00	16	0.72	Geçiş
166.67	0.15	30.00	5.00	16	0.71	Sıçramalı
16.67	0.15	18.74	3.89	8	0.57	Nap
33.33	0.15	18.74	3.89	8	0.58	Nap
50.00	0.15	18.74	3.89	8	0.53	Nap
66.67	0.15	18.74	3.89	8	0.52	Nap
100.00	0.15	18.74	3.89	8	0.47	Nap
133.33	0.15	18.74	3.89	8	0.43	Geçiş
166.67	0.15	18.74	3.89	8	0.39	Geçiş
16.67	0.15	40.00	3.89	16	0.76	Nap
33.33	0.15	40.00	3.89	16	0.76	Nap
50.00	0.15	40.00	3.89	16	0.77	Nap
66.67	0.15	40.00	3.89	16	0.76	Nap
100.00	0.15	40.00	3.89	16	0.71	Geçiş
133.33	0.15	40.00	3.89	16	0.69	Geçiş
166.67	0.15	40.00	3.89	16	0.68	Sıçramalı
16.67	0.15	22.55	3.26	8	0.56	Nap
33.33	0.15	22.55	3.26	8	0.56	Nap
50.00	0.15	22.55	3.26	8	0.53	Nap
66.67	0.15	22.55	3.26	8	0.52	Nap
100.00	0.15	22.55	3.26	8	0.51	Nap
133.33	0.15	22.55	3.26	8	0.47	Geçiş
166.67	0.15	22.55	3.26	8	0.41	Geçiş
16.67	0.15	50.00	3.26	16	0.77	Nap
33.33	0.15	50.00	3.26	16	0.75	Nap
50.00	0.15	50.00	3.26	16	0.74	Nap
66.67	0.15	50.00	3.26	16	0.74	Geçiş
100.00	0.15	50.00	3.26	16	0.72	Geçiş
133.33	0.15	50.00	3.26	16	0.70	Sıçramalı
166.67	0.15	50.00	3.26	16	0.69	Sıçramalı

3.2.3. UATBÇS Modelleme Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan UATBÇS modeli Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan parametreler birim debi (q), basamak yüksekliği (h), kanal eğimi (α), kanal uzunluğu (L), toplam basamak sayısı (N), akım rejimi bilgisi ve 20° C ’deki havalandırma verimidir (E_{20}). q , h , α , L , N parametreleri ve akım rejim bilgisi E_{20} tahmini için UATBÇS girdileri olarak kullanılmıştır. Yedinci sütunda 1, 2 ve 3 rakamları sırasıyla nap, geçiş ve sıçramalı akımlarını temsil etmektedir. 126 adet deneysel veri setinden 100 adet UATBÇS modelini geliştirmek için, 26 adet deney veri seti ise sağlama testi için kullanılmıştır. 26 adet test verisi tüm veriler arasından rastgele seçilmiştir.



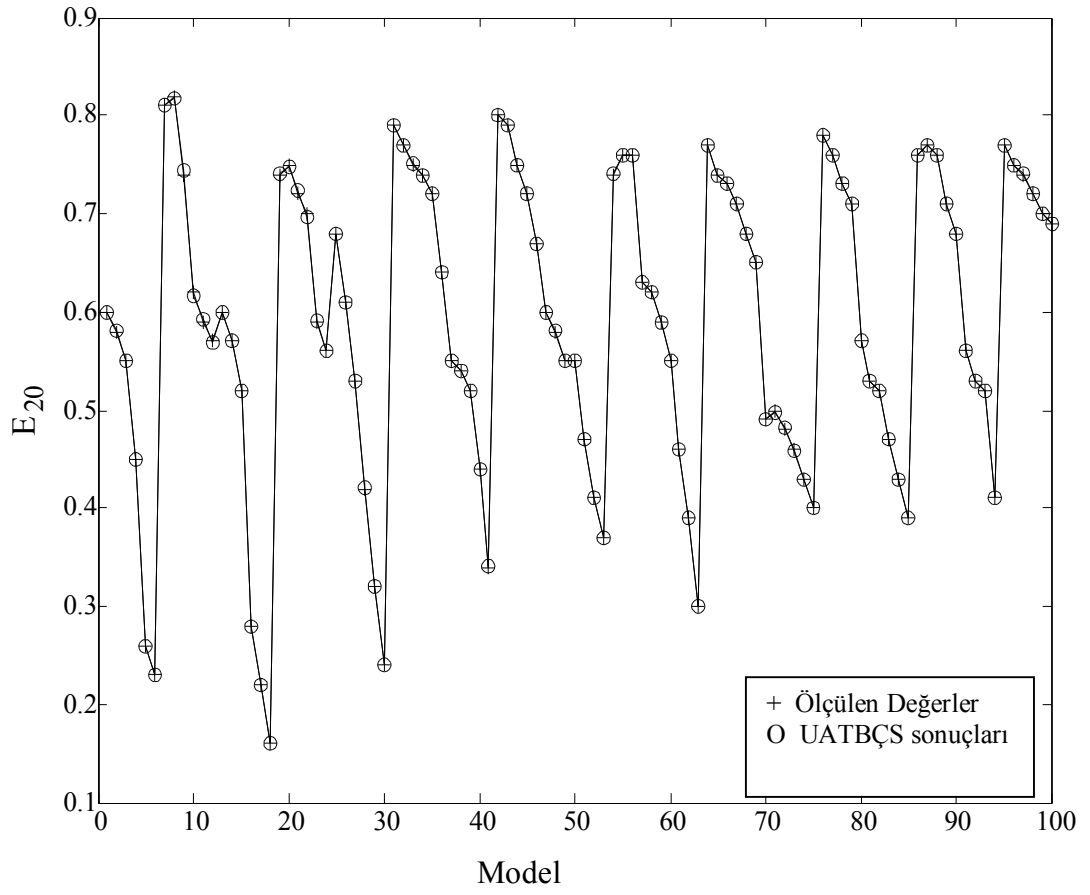
Şekil 3 8. UATBÇS sistem yapısı

Eğitime ve teste başlamadan önce, UATBÇS' ini eğitmek için giriş ve çıkış değerleri Denklem 3.15 kullanılarak denkleştirilmiştir.

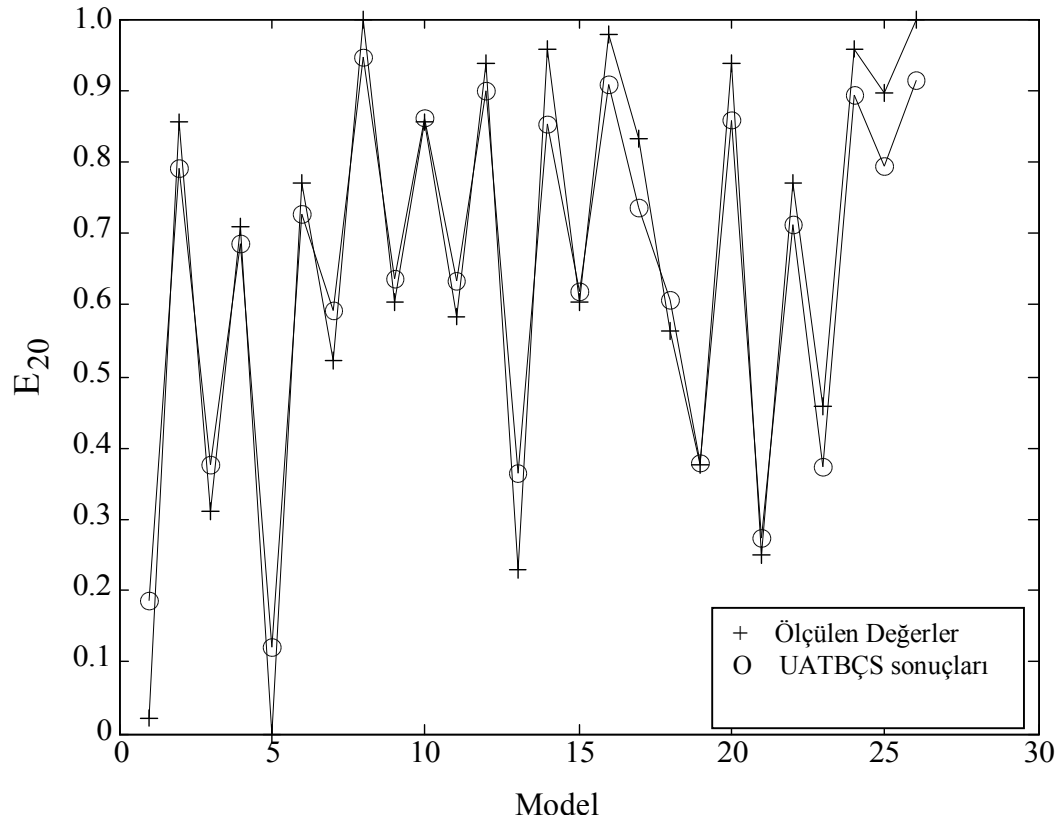
$$x_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.15)$$

Burada x_{min} ve x_{max} derece ve debi verilerinin minimum ve maksimumlarını göstermektedir. Her girdinin iki adet an eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonu vardır. İstenen toplam hata değeri 0.0001 olarak seçilmiştir. UATBÇS model, bu değeri 300 denemede gerçekleştirmiştir.

UATBÇS modelin öğrenme performansı şekil 3.9 'da grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca UATBÇS model test performansı şekil 3.10 'da grafiksel olarak verilmiştir. şekil 3.9 'dan görülebileceği gibi, UATBÇS modelin ölçüm sonuçlarını yüksek bir doğrulukla tahmin eder. Regresyon katsayısı (R^2), UATBÇS modelin geliştirme performansı için $R^2=0.999$ olarak ve test performansı için ise $R^2=0.985$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.9. UATBÇS modelinin öğrenme performansı

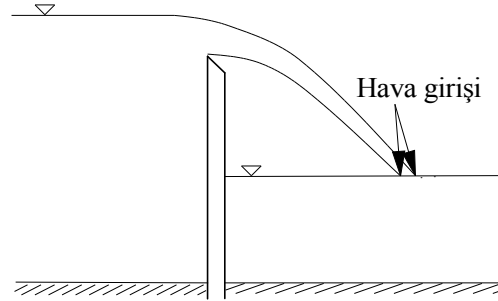


Şekil 3. 10. UATBÇS modelinin test performansı

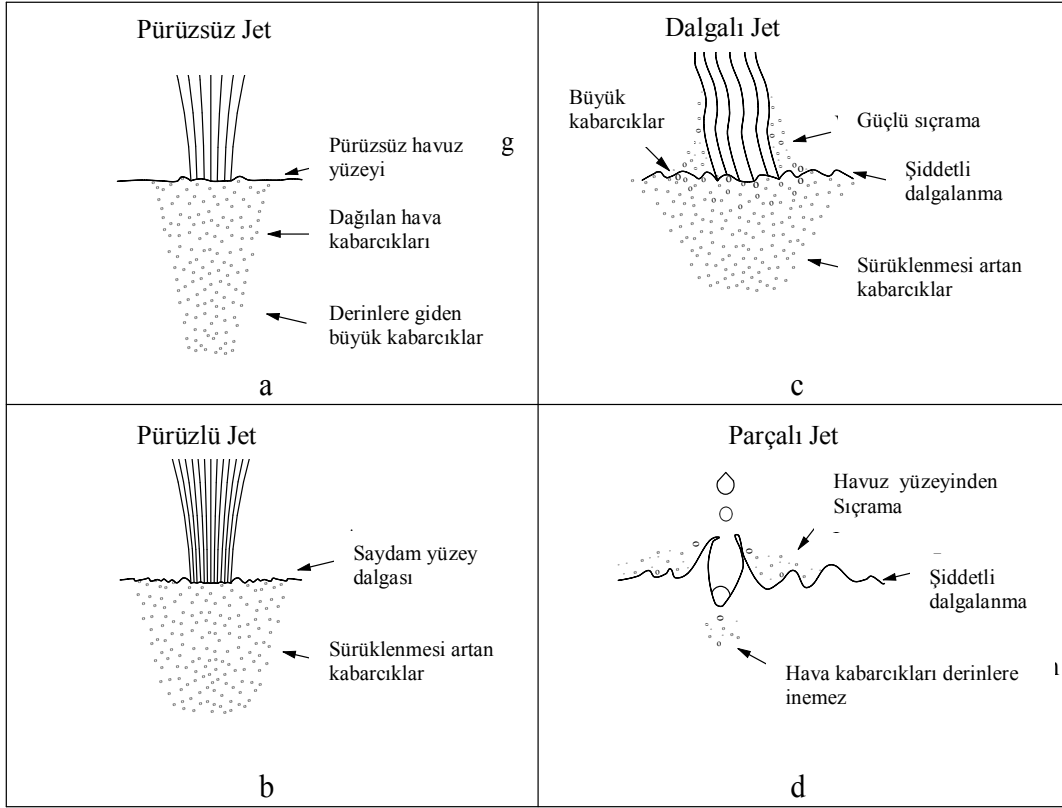
3.3. UATBÇS kullanarak İnce Kenarlı Savakların Havalandırma Veriminin Modellenmesi

3.3.1. Savak Havalandırması

Havalandırma ile sulardaki çözünmüş oksijen miktarını arttıracak hidrolik yapılara ince kenarlı savak örnek olarak verilmiştir.(Şekil 3.11).Bu hidrolik yapıda, akarsu şartları (büyüklüğü, yeri, vs.) ve akım tipine bağlı olarak yapılmalıdır. Şekil 3.11’de görülen savakta, suyun mambadan mansaba düşme yüksekliğinin belirli bir kritik değeri aşması sonucu, serbest düşen su jeti parçacıklar haline gelmekte ve mansapta küçük bir penetrasyon derinliği oluşturmaktadır. Dolayısıyla hava kabarcıkları ile mansap suyu daha az temas halinde olduğundan, oksijen transfer veriminin artış oranı azalmaktadır. Bu nedenle büyük düşme yüksekliğine sahip yerlerde bu tip savak yapılması uygun değildir. Ayrıca, batmış akım durumunun olduğu bir kapaklı eşikte hava girişi, dolayısıyla oksijen transferi az olacağından bu akım şartını oluşturacak bir yapı yapılması uygun değildir (Şekil 3.12.) [22].



Şekil 3.11. İnce kenarlı üçgen savak



Şekil 3.12. Savaklarda hava girişi mekanizması

3.3.2. DeneySEL Çalışma

3.3.2.1. Deney Düzenegi

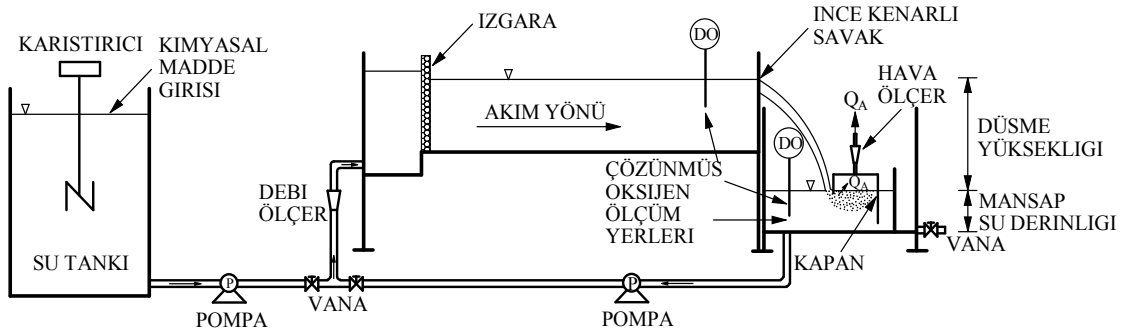
Bu çalışmada kullanılan veriler Baylar ve Bagatur [14] ve Baylar ve Emiroğlu [25] 'nın yaptığı deneysel çalışmalardan alınmıştır.

İnce kenarlı savakların havalandırma verimini tayin etmek amacıyla Şekil 3.13 'de gösterilmiş olan deney düzenegi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan savak tipleri; 45° üçgen, 90° üçgen ve 135° üçgendir. Tablo 3.7 'de bu savakların boyutları verilmiştir.

Tablo 3.7. Deneylerde kullanılan savakların boyutları

Savak tipi	L_s (cm)	b_s (cm)	s_s (cm)	W_s (cm)
45° Üçgen savak	60.0	14.5	17.5	32.5
90° Üçgen savak	60.0	20.0	10.0	40.0
135° Üçgen savak	60.0	48.3	10.0	40.0

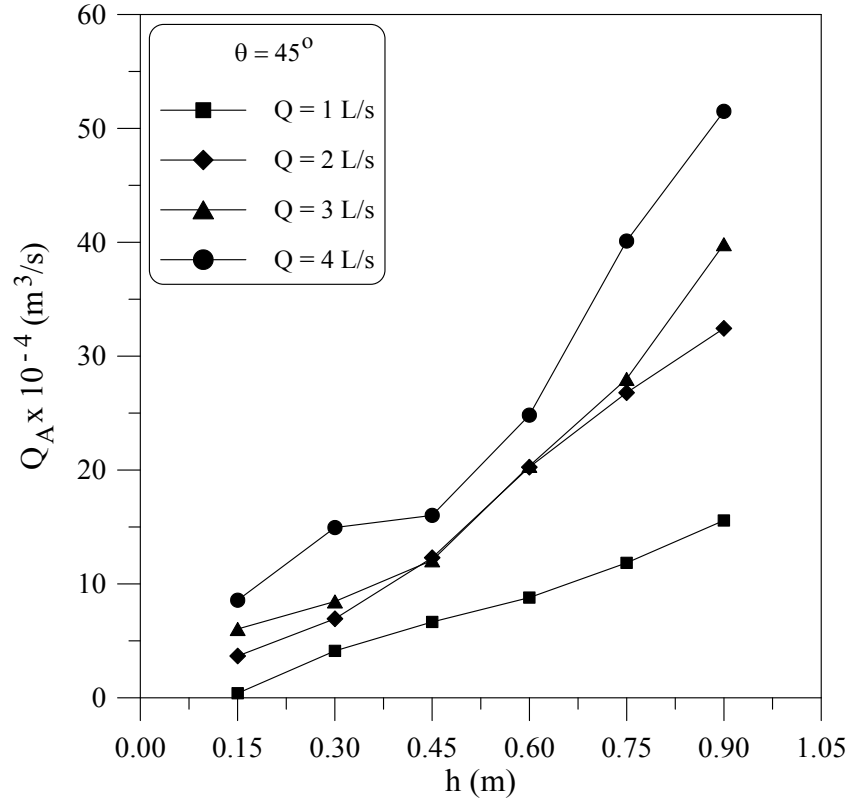
Bu sistemde deneylerde kullanılacak suyu temin etmek için, su tankına dışarıdan sürekli su girişi sağlanmış ve bu su savaktan geçirilecek debi değeri ayarlanıncaya kadar su pompasıyla su kanalına verilmiştir. Savaktan geçirilecek debi değeri ayarlandıktan sonra su tankına su girişi kesilmiş ve sistem içerisindeki su devir ettirilmiştir.



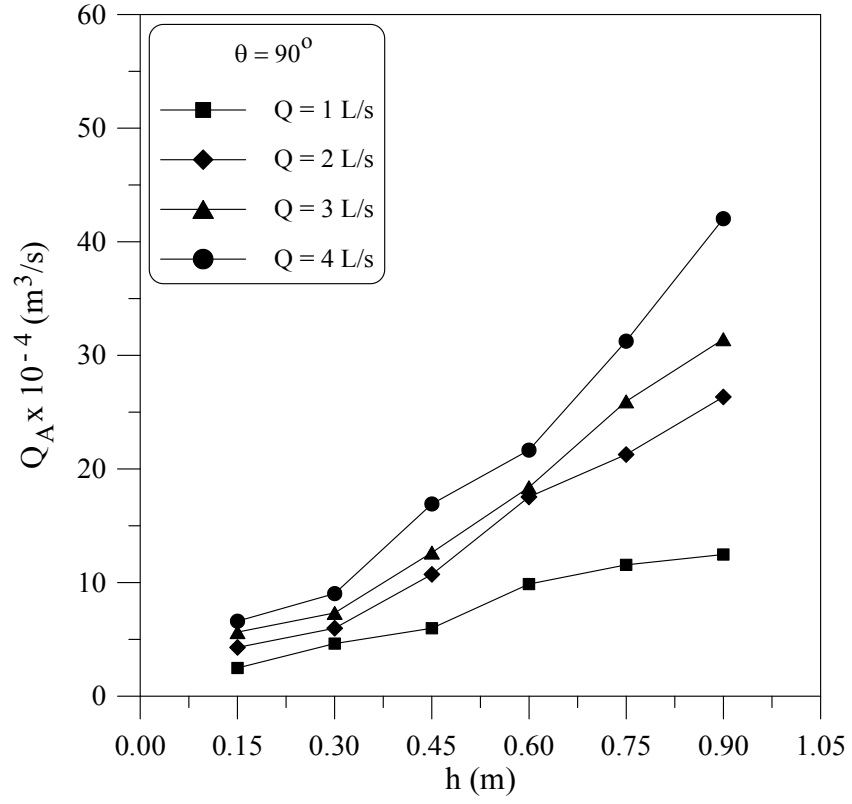
Şekil 3.13. İnce kenarlı savakların havalandırma veriminin belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği

3.3.2.2. Deneysel Sonuçlar

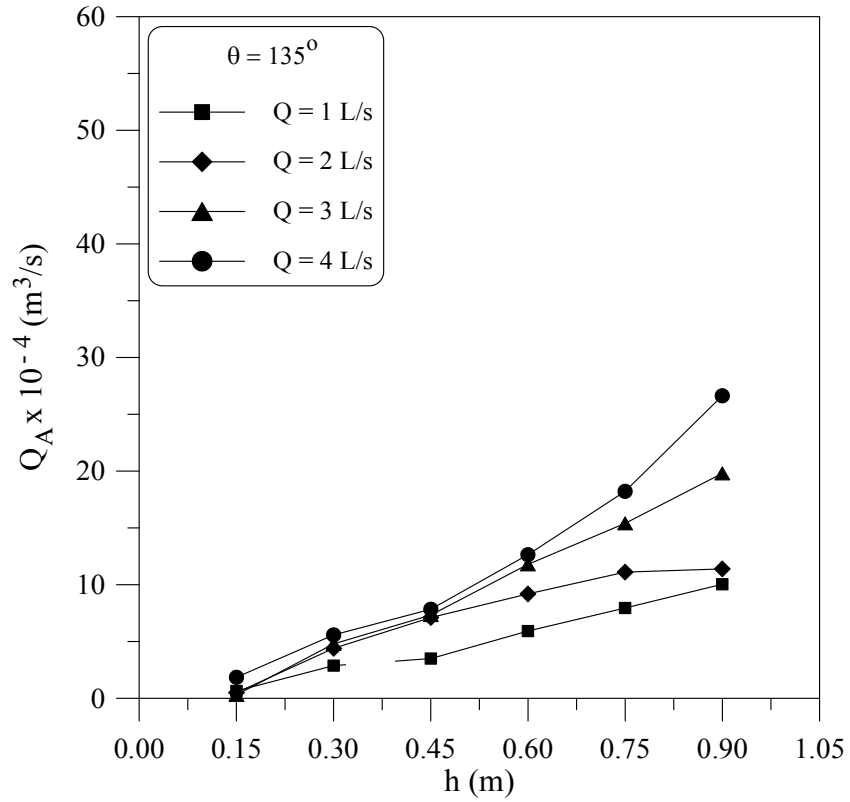
Baylar ve Bagatur [14] ve Baylar ve diğerlerinin [24,38]' un ince kenarlı üçgen savaklar üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalardan elde ettikleri sonuçlar aşağıdaki Şekil 3.14 - 3.19 'da verilmiştir.



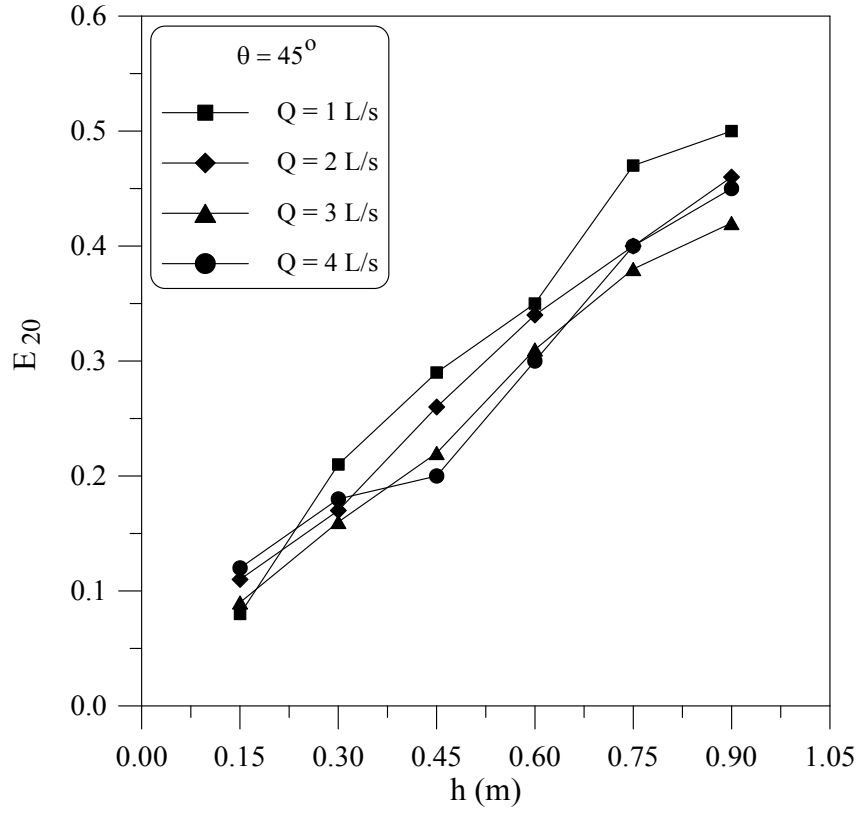
Şekil 3.14. 45° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi.



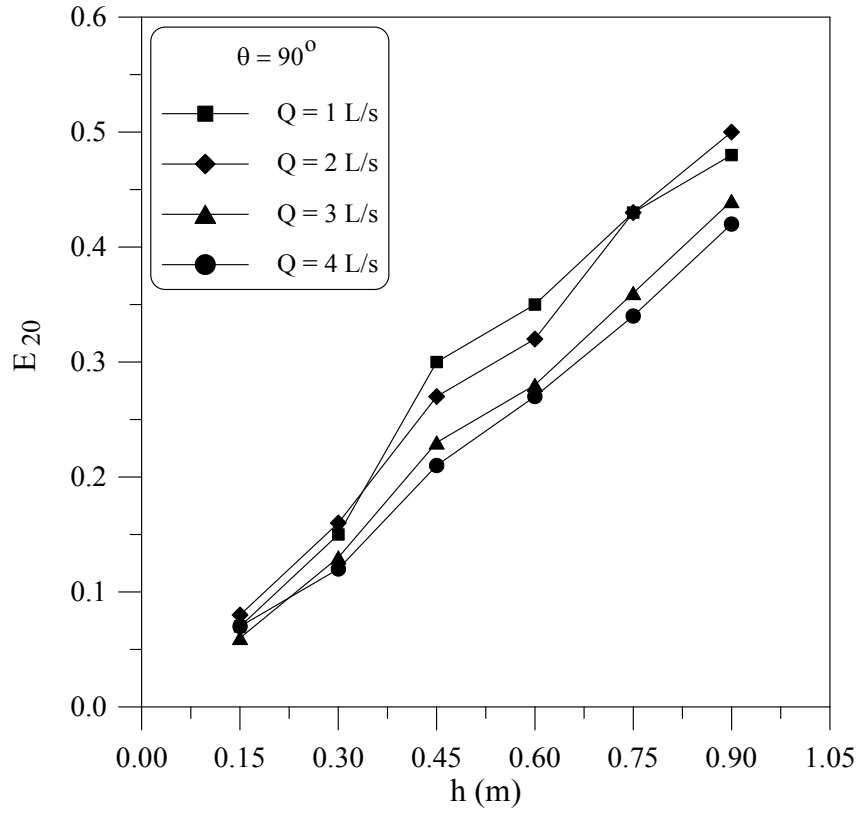
Şekil 3.15. 90° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



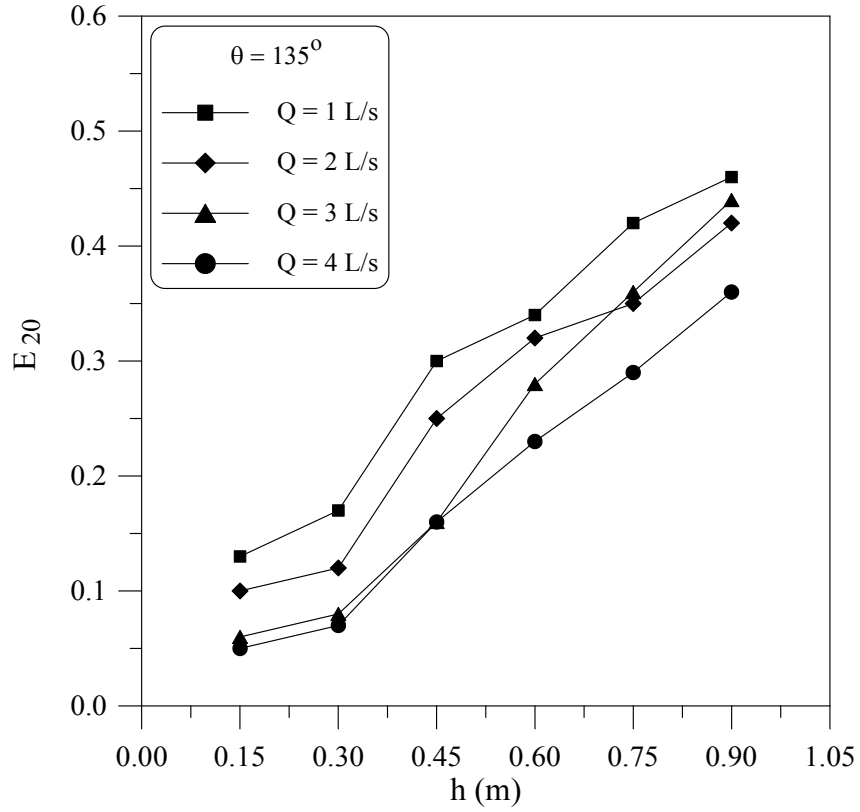
Şekil 3.16. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi.



Şekil 3.17. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi.



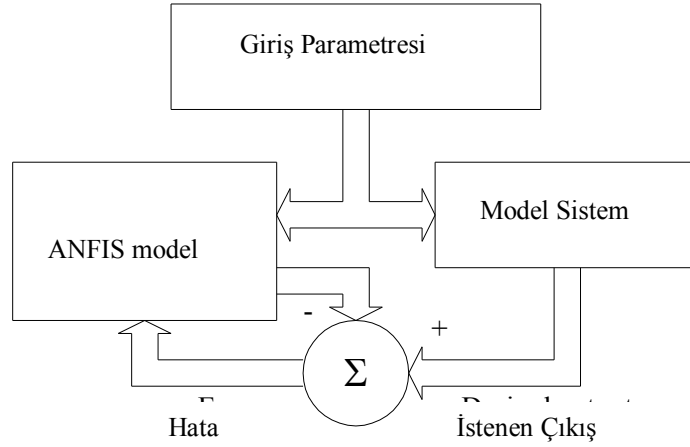
Şekil 3.18. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi.



Şekil 3.19. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi.

3.3.3. UATBÇS Modelleme Sonuçları

Kullanılan UATBÇS model yapısı Şekil 3.20.'de verilmektedir. Tüm program kodları MATLAB dilinde yazılmıştır. Bu çalışmada dikkat edilen parametreler debi Q , düşme yüksekliği h , ince kenarlı üçgen savak tepe açısı θ , hava sürüklenme oranı Q_A ve havalandırma verimi E_{20} . Q , h , ve θ parametreleri sırasıyla Q_A ve E_{20} yi tahmin etmek için UATBÇS model girdileri olarak kullanılmıştır. UATBÇS modelini test etmek için 72 adet deneysel veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3. 20. UATBÇS model yapısı

Regresyon analizleri doğrusal olmayan regresyon modülü kullanılarak Baylar ve Bagatur [2] tarafından gerçekleştirilmiştir. İnce kenarlı üçgen savak hava sürüklenme oranı Q_A ve havalandırma verimi E_{20} tahmin eden Denklemler (3.16) ve (3.17)'de verilmiştir.

$$Q_A = \left[0.171 h_s^{-0.293} Q^{-0.158} \left(\cos \frac{\theta}{2} \right)^{-0.172} \right]^{-4.598} \quad (3.16)$$

$$E_{20} = 1 - \left[1 + 0.149 h_s^{1.341} Q^{-0.280} \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{-0.206} \right]^{-1} \quad (3.17)$$

Bu çalışmanın ilk bölümünde ölçülen hava sürüklenme oranları Q_A , Tablo 3.8'de gösterildiği gibi, doğrusal olmayan regresyon tekniği (NLR) ve doğrusal regresyon tekniği (LR) kullanılarak elde edilen oranlarla karşılaştırılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) istatistikleri UATBÇS modeli için $R^2=0.999$ olarak, NLR için $R^2=0.973$ ve LR için $R^2=0.830$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.8'de de açık olarak görüldüğü üzere UATBÇS modeli Q_A değerlerini oldukça yüksek bir doğrulukla tahmin eder. UATBÇS modelin doğruluğu regresyon analizlerinden anlaşılmaktadır. NLR, LR 'den daha iyi performans göstermektedir.

Tablo 3.8. UATBÇS, NLR ve LR modelleri kullanarak bulunan Q_A ve regresyon değerleri

Giriş			Q_A ($m^3/s \times 10^{-4}$)				ARE (%)		
Q (m^3/s)	h_s (m)	θ (der.)	Ölçülen	UATBÇS	NLR	LR	UATBÇS	NLR	LR
0.001	0.15	45	0.40	0.33	1.62	0.36	16.6624	305.4	10.1
0.001	0.30	45	4.12	4.17	4.13	5.04	1.1657	0.1	22.3
0.001	0.45	45	6.66	6.79	7.12	9.72	1.9387	7.0	45.9
0.001	0.60	45	8.80	9.03	10.50	14.40	2.6657	19.3	63.6
0.001	0.75	45	11.85	12.27	14.18	19.08	3.5152	19.6	61.0
0.001	0.90	45	15.57	15.53	18.13	23.76	0.2454	16.4	52.6
0.002	0.15	45	3.67	3.98	2.68	4.45	8.4614	26.9	21.2
0.002	0.30	45	6.94	6.72	6.83	9.13	3.2374	1.6	31.5
0.002	0.45	45	12.30	11.70	11.79	13.81	4.8623	4.2	12.3
0.002	0.60	45	20.25	19.16	17.37	18.49	5.3866	14.2	8.7
0.002	0.75	45	26.79	24.86	23.46	23.17	7.2172	12.4	13.5
0.002	0.90	45	32.44	32.62	29.99	27.85	0.5452	7.6	14.2
0.003	0.15	45	6.04	5.73	3.60	8.54	5.1366	40.4	41.3
0.003	0.30	45	8.46	8.68	9.16	13.22	2.6488	8.3	56.2
0.003	0.45	45	12.07	12.67	15.83	17.90	4.9669	31.1	48.3
0.003	0.60	45	20.36	21.45	23.32	22.58	5.3492	14.5	10.9
0.003	0.75	45	28.00	29.93	31.49	27.26	6.9102	12.5	2.7
0.003	0.90	45	39.83	39.65	40.26	31.94	0.4461	1.1	19.8
0.004	0.15	45	8.57	8.64	4.44	12.63	0.7882	48.2	47.3
0.004	0.30	45	14.95	14.90	11.30	17.31	0.3311	24.4	15.8
0.004	0.45	45	16.02	15.89	19.50	21.99	0.7959	21.7	37.2
0.004	0.60	45	24.82	24.58	28.74	26.67	0.9509	15.8	7.4
0.004	0.75	45	40.11	39.69	38.81	31.35	1.0362	3.2	21.8
0.004	0.90	45	51.50	51.54	49.62	36.03	0.0732	3.6	30.0
0.001	0.15	90	2.48	2.44	1.31	-4.09	1.5158	47.1	265.0
0.001	0.30	90	4.63	4.59	3.34	0.59	0.9589	27.9	87.3
0.001	0.45	90	5.98	6.00	5.77	5.27	0.2703	3.6	11.9
0.001	0.60	90	9.87	10.01	8.50	9.95	1.4358	13.9	0.8
0.001	0.75	90	11.56	11.49	11.48	14.63	0.5646	0.7	26.5
0.001	0.90	90	12.47	12.59	14.67	19.31	0.9408	17.6	54.8
0.002	0.15	90	4.29	4.47	2.17	0.00	4.0963	49.4	100.1
0.002	0.30	90	5.98	6.18	5.53	4.68	3.4154	7.6	21.8
0.002	0.45	90	10.72	10.65	9.54	9.36	0.6733	11.0	12.7
0.002	0.60	90	17.54	16.88	14.06	14.04	3.7675	19.9	20.0
0.002	0.75	90	21.27	21.57	18.99	18.72	1.4313	10.7	12.0
0.002	0.90	90	26.34	25.79	24.27	23.40	2.0710	7.8	11.2
0.003	0.15	90	5.64	5.46	5.64	4.08	3.1136	0.0	27.6
0.003	0.30	90	7.33	7.13	7.33	8.76	2.7902	0.0	19.6
0.003	0.45	90	12.64	12.71	12.64	13.44	0.5775	0.0	6.4
0.003	0.60	90	18.39	19.05	18.39	18.12	3.5883	0.0	1.4
0.003	0.75	90	25.95	25.64	25.95	22.80	1.1706	0.0	12.1
0.003	0.90	90	31.42	31.97	31.42	27.48	1.7350	0.0	12.5
0.004	0.15	90	6.60	6.64	3.59	8.17	0.5710	45.6	23.8
0.004	0.30	90	9.03	9.07	9.14	12.85	0.4894	1.2	42.3
0.004	0.45	90	16.92	16.90	15.79	17.53	0.0920	6.7	3.6
0.004	0.60	90	21.66	21.52	23.26	22.21	0.6579	7.4	2.6
0.004	0.75	90	31.25	31.32	31.42	26.89	0.2114	0.5	13.9
0.004	0.90	90	42.03	41.91	40.16	31.57	0.2803	4.4	24.9
0.001	0.15	135	0.65	0.69	0.81	-8.54	5.7983	24.3	1414.6
0.001	0.30	135	2.88	2.90	2.05	-3.86	0.5725	28.7	234.2
0.001	0.45	135	3.50	3.59	3.55	0.82	2.4494	1.4	76.7
0.001	0.60	135	5.92	5.82	5.23	5.50	1.6152	11.7	7.2
0.001	0.75	135	7.95	7.82	7.06	10.18	1.6604	11.2	28.0

0.001	0.90	135	10.04	9.65	9.03	14.86	3.8767	10.1	48.0
0.002	0.15	135	0.50	0.33	1.34	-4.46	34.8425	167.3	991.2
0.002	0.30	135	4.40	4.32	3.40	0.22	1.7713	22.7	94.9
0.002	0.45	135	7.11	6.71	5.87	4.90	5.5756	17.4	31.0
0.002	0.60	135	9.19	9.63	8.65	9.58	4.8146	5.9	4.3
0.002	0.75	135	11.11	11.72	11.68	14.26	5.5273	5.2	28.4
0.002	0.90	135	11.39	13.20	14.94	18.94	15.8646	31.1	66.3
0.003	0.15	135	0.30	0.47	1.79	-0.37	58.1888	498.0	222.4
0.003	0.30	135	4.79	4.87	4.56	4.31	1.6151	4.7	10.0
0.003	0.45	135	7.33	7.73	7.88	8.99	5.4157	7.5	22.7
0.003	0.60	135	11.79	11.35	11.61	13.67	3.7563	1.5	16.0
0.003	0.75	135	15.40	14.79	15.69	18.35	3.9867	1.9	19.2
0.003	0.90	135	19.80	17.99	20.05	23.03	9.1264	1.3	16.3
0.004	0.15	135	1.85	1.81	2.21	3.72	2.0105	19.5	101.2
0.004	0.30	135	5.58	5.56	5.63	8.40	0.3110	0.8	50.6
0.004	0.45	135	7.84	7.76	9.71	13.08	1.0768	23.9	66.9
0.004	0.60	135	12.64	12.73	14.31	17.76	0.7453	13.2	40.5
0.004	0.75	135	18.22	18.35	19.33	22.44	0.7310	6.1	23.2
0.004	0.90	135	26.63	27.02	24.71	27.12	1.4589	7.2	1.8

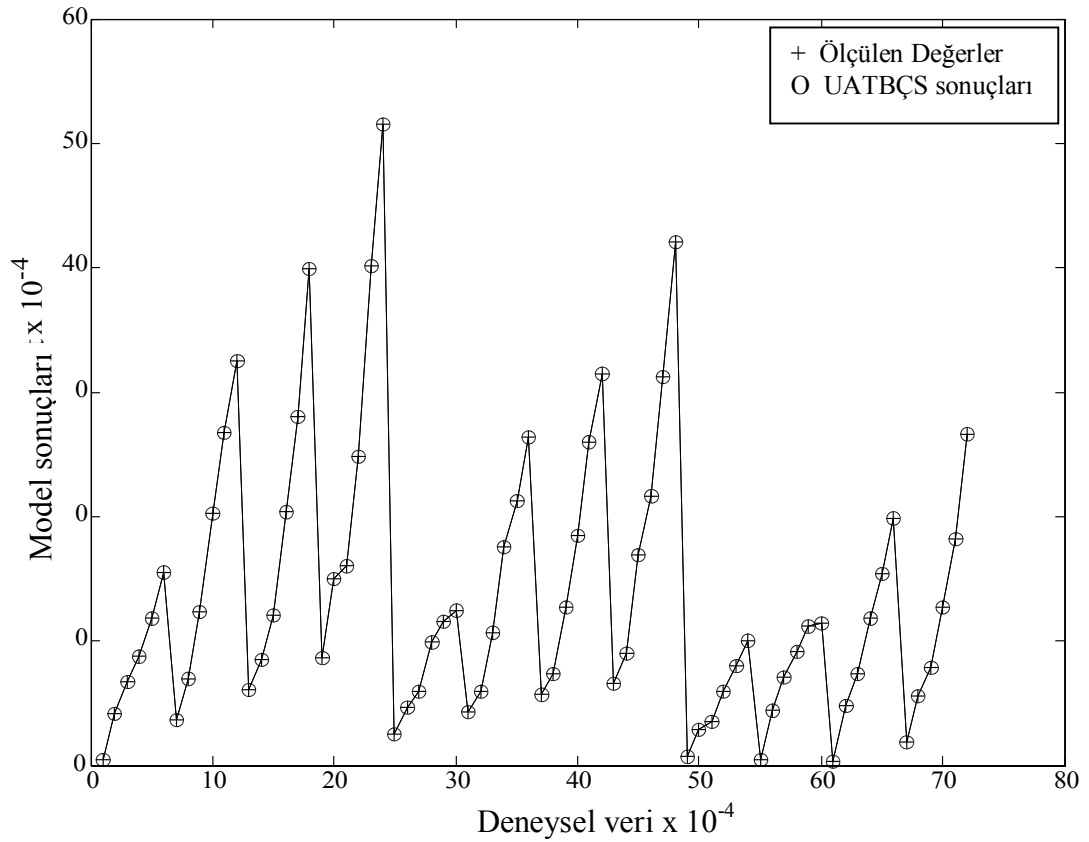
Bu çalışmanın ikinci bölümünde ölçülen havalandırma verimlilikleri E₂₀ Tablo 3.9 'da gösterildiği gibi, doğrusal olmayan regresyon (NLR) ve doğrusal regresyon (LR) teknikleri ile elde edilen oranlarla kıyaslanmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) istatistikleri UATBÇS modeli için $R^2=0.999$, NLR için $R^2=0.965$ ve LR için $R^2=0.967$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.9 'da açık bir şekilde görüldüğü gibi UATBÇS modeli E₂₀ değerlerini oldukça yüksek bir doğrulukla tahmin etmektedir. UATBÇS modelin doğruluğunun regresyon tekniklerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 3.9. UATBÇS, NLR ve LR modelleri kullanarak bulunan E_{20} ve regresyon değerleri.

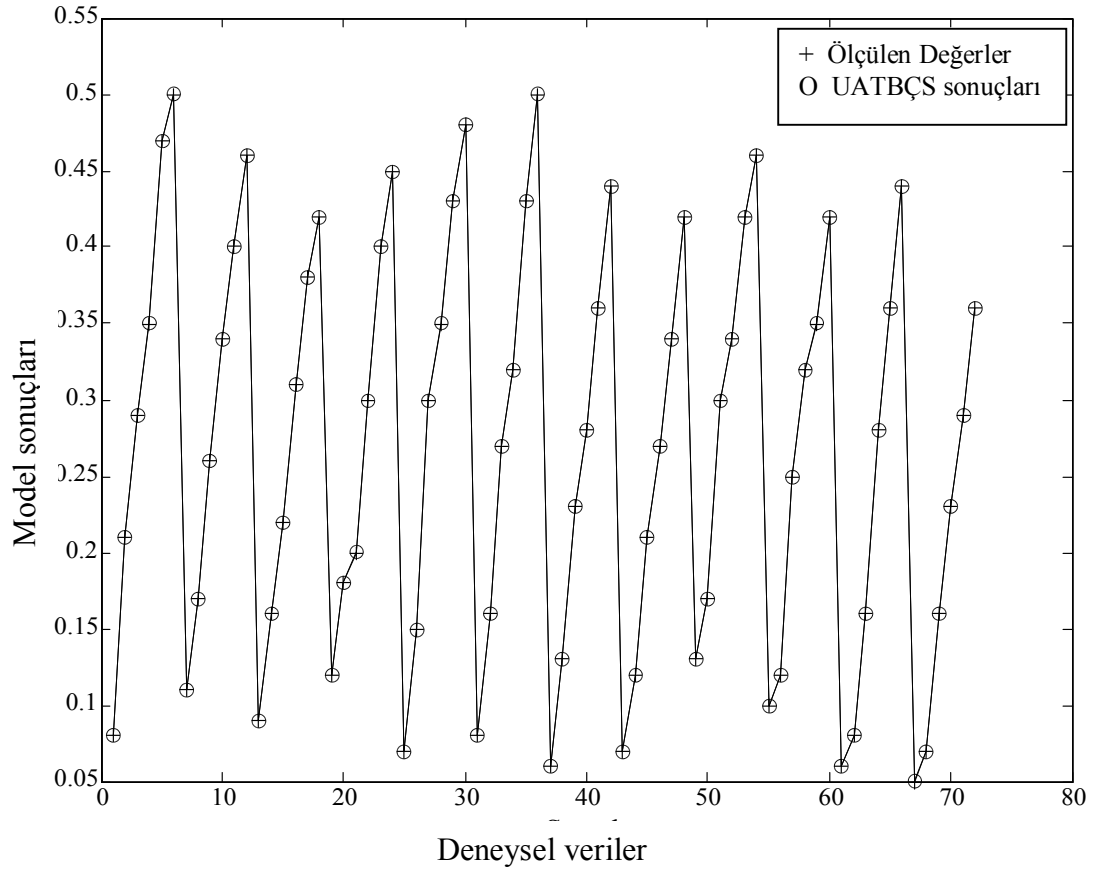
Veriler			E ₂₀				ARE (%)		
Q (m ³ /s)	h _s (m)	θ (der.)	Ölçülen	UATBÇS	NLR	LR	UATBÇS	NLR	LR
0.001	0.15	45	0.08	0.08	0.09	0.14	2.8935	12.4	72.4
0.001	0.30	45	0.21	0.21	0.20	0.21	0.1470	4.7	1.1
0.001	0.45	45	0.29	0.29	0.30	0.29	0.4876	3.9	1.2
0.001	0.60	45	0.35	0.35	0.39	0.36	0.3573	10.8	3.1
0.001	0.75	45	0.47	0.47	0.46	0.44	0.0456	1.9	7.4
0.001	0.90	45	0.50	0.50	0.52	0.51	0.4581	4.4	1.9
0.002	0.15	45	0.11	0.10	0.08	0.11	9.7415	31.6	3.3
0.002	0.30	45	0.17	0.17	0.17	0.19	0.8105	0.5	10.6
0.002	0.45	45	0.26	0.25	0.26	0.26	2.5083	0.8	0.9
0.002	0.60	45	0.34	0.33	0.34	0.34	1.7159	0.9	1.0
0.002	0.75	45	0.40	0.40	0.41	0.41	0.2491	3.3	2.7
0.002	0.90	45	0.46	0.45	0.47	0.49	2.3117	2.9	5.5
0.003	0.15	45	0.09	0.10	0.07	0.09	11.9102	24.8	0.8
0.003	0.30	45	0.16	0.16	0.16	0.16	0.8654	2.9	2.3
0.003	0.45	45	0.22	0.23	0.24	0.24	2.9703	9.4	8.2
0.003	0.60	45	0.31	0.32	0.32	0.31	1.8774	2.5	0.7
0.003	0.75	45	0.38	0.38	0.39	0.39	0.2596	1.6	1.7
0.003	0.90	45	0.42	0.43	0.45	0.46	2.5305	6.0	9.8
0.004	0.15	45	0.12	0.12	0.06	0.06	1.9174	47.7	45.9
0.004	0.30	45	0.18	0.18	0.15	0.14	0.1588	19.4	22.6
0.004	0.45	45	0.20	0.20	0.23	0.21	0.6957	13.1	6.8
0.004	0.60	45	0.30	0.30	0.30	0.29	0.4223	0.2	4.0
0.004	0.75	45	0.40	0.40	0.37	0.36	0.0546	8.2	9.4
0.004	0.90	45	0.45	0.45	0.43	0.44	0.5092	5.5	3.0
0.001	0.15	90	0.07	0.07	0.08	0.12	1.8809	14.4	68.8
0.001	0.30	90	0.15	0.15	0.18	0.19	1.0529	20.4	28.3
0.001	0.45	90	0.30	0.30	0.28	0.27	0.3550	8.3	11.1
0.001	0.60	90	0.35	0.35	0.36	0.34	0.3501	2.4	2.5
0.001	0.75	90	0.43	0.43	0.43	0.42	0.9192	0.1	3.4
0.001	0.90	90	0.48	0.48	0.49	0.49	0.7332	2.2	2.0
0.002	0.15	90	0.08	0.07	0.07	0.09	7.6378	16.4	17.3
0.002	0.30	90	0.16	0.15	0.15	0.17	4.5880	4.0	5.1
0.002	0.45	90	0.27	0.27	0.24	0.24	1.8271	11.8	10.2
0.002	0.60	90	0.32	0.31	0.32	0.32	1.7825	1.5	1.0
0.002	0.75	90	0.43	0.41	0.38	0.39	4.2661	11.0	9.0
0.002	0.90	90	0.50	0.48	0.44	0.47	3.2701	11.6	6.9
0.003	0.15	90	0.06	0.07	0.06	0.07	10.1899	0.2	15.8
0.003	0.30	90	0.13	0.14	0.14	0.14	5.6423	7.3	10.6
0.003	0.45	90	0.23	0.23	0.22	0.22	2.1469	5.1	5.1
0.003	0.60	90	0.28	0.29	0.29	0.29	2.0357	4.0	4.5
0.003	0.75	90	0.36	0.38	0.36	0.37	5.0966	1.0	1.9
0.003	0.90	90	0.44	0.46	0.41	0.44	3.7155	5.8	0.3
0.004	0.15	90	0.07	0.07	0.06	0.05	1.8786	20.4	35.5
0.004	0.30	90	0.12	0.12	0.13	0.12	1.3186	8.4	0.4
0.004	0.45	90	0.21	0.21	0.20	0.19	0.5033	2.5	7.7
0.004	0.60	90	0.27	0.27	0.27	0.27	0.4575	1.8	0.7
0.004	0.75	90	0.34	0.34	0.34	0.34	1.1597	0.5	0.7
0.004	0.90	90	0.42	0.42	0.39	0.42	0.8393	6.0	0.8
0.001	0.15	135	0.13	0.13	0.08	0.10	1.1971	41.5	24.3
0.001	0.30	135	0.17	0.17	0.17	0.17	0.6023	1.6	1.6
0.001	0.45	135	0.30	0.31	0.26	0.25	1.6948	11.9	17.7
0.001	0.60	135	0.34	0.34	0.35	0.32	0.2312	1.7	5.5
0.001	0.75	135	0.42	0.42	0.42	0.40	0.8353	0.9	5.8
0.001	0.90	135	0.46	0.46	0.48	0.47	0.7096	3.6	2.2
0.002	0.15	135	0.10	0.09	0.06	0.07	7.2327	36.5	26.0
0.002	0.30	135	0.12	0.12	0.15	0.15	3.9506	22.2	23.6

0.002	0.45	135	0.25	0.23	0.23	0.22	9.4502	8.6	10.9
0.002	0.60	135	0.32	0.32	0.30	0.30	1.1379	5.2	7.2
0.002	0.75	135	0.35	0.37	0.37	0.37	4.6542	5.7	6.1
0.002	0.90	135	0.42	0.44	0.43	0.45	3.6100	2.0	6.1
0.003	0.15	135	0.06	0.07	0.06	0.05	12.0570	4.8	17.2
0.003	0.30	135	0.08	0.08	0.13	0.12	5.9208	66.3	55.1
0.003	0.45	135	0.16	0.18	0.21	0.20	14.7754	30.6	24.0
0.003	0.60	135	0.28	0.28	0.28	0.27	1.2938	0.0	2.6
0.003	0.75	135	0.36	0.34	0.34	0.35	4.5208	4.5	3.6
0.003	0.90	135	0.44	0.42	0.40	0.42	3.4479	8.9	4.2
0.004	0.15	135	0.05	0.05	0.05	0.03	3.1142	5.8	49.2
0.004	0.30	135	0.07	0.07	0.12	0.10	1.4595	77.1	42.4
0.004	0.45	135	0.16	0.15	0.20	0.17	3.1774	22.5	8.8
0.004	0.60	135	0.23	0.23	0.26	0.25	0.3427	14.7	8.0
0.004	0.75	135	0.29	0.29	0.33	0.32	1.2107	12.4	11.3
0.004	0.90	135	0.36	0.36	0.38	0.40	0.9063	6.1	10.3

UATBÇS modelin çıkış değerleri grafiksel olarak da gösterilebilir. UATBÇS modelin, hava sürüklenme oranı Q_A ve havalandırma verimi E_{20} Şekil 3.21 ve 3.22’de gösterilmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, UATBÇS modeli ölçülen değerleri oldukça yüksek bir doğrulukla tahmin eder.



Şekil 3. 21. UATBÇS modelin Q_A değerlerini tahmin etme performansı



Şekil 3.22. UATBÇS modelin E_{20} değerlerini tahmin etme performansı

4. SONUÇLAR

Basamaklı savak akımları yüksek seviyede türbülansla ve yüksek oranlarda sürüklenmiş hava ile karakterize edilir. Bir basamaklı savak yüzünden havanın suya sürüklendiği mekanizmalar çok sayıdadır ve karmaşıktır. Ana hava sürüklenme mekanizmaları nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimlerinde gerçekleşir. Basamaklı bir kanalın tüm hidrolik dizaynında akım rejimlerini tahmin etmek önemlidir.

UATBÇS mimarisinde hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır. UATBÇS modelleme, kontrol veya parametre tahminleri için karmaşık sistem araştırmalarında yaygın şekilde kullanılır. Bu çalışmada üç farklı UATBÇS modellemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

İlk uygulama basamaklı savaklar üzerindeki akım rejimini tahmin etmek için bir UATBÇS modeli kullanılmıştır. Bu akıllı modelin en önemli özelliği programlama şartları olmadan UATBÇS' in kendi organizasyonunu yapabilme yetisi ve de gerçek zamanlı uygulamalarda geliştirilmiş bir şebekenin anında yanıt verebilmesidir. Bu özellikler UATBÇS modeli, kompleks sistem modellemeleri için uygun kılar. Bu çalışmanın modelleme performansı UATBÇS modelin avantajlarını gösterir. Hızlıdır ve çalıştırılması kolaydır. Bu model ticari uygulamalarda da hız ve performansından dolayı avantaj sağlar.

Hidrolik yapılar, küçük hava kabarcıklarının akım yığına taşındığı türbülanslı şartlar yaratarak çözülen oksijen seviyelerini arttırabilir. Basamaklı savak havalandırma buna özgü bir örnektir. İkinci UATBÇS modeli, basamaklı savakların havalandırma veriminin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Ölçülen havalandırma verimlilikleri ile UATBÇS modelinden hesaplanan değerler arasında büyük bir uyum vardır. Bunun kanıtı elde edilen yüksek regresyon katsayısıdır $R^2 = 0.985$. Buna göre UATBÇS, basamaklı savakların havalandırma veriminin tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Sularda ve nehirlerde havalandırma, sudaki yaşamın kalitesi ve var olması için oldukça gereklidir. İnce kenarlı savaklardan düşen jet alt akıntısı bir dalış havuzuna saplanırsa sürüklenen hava kabarcıkları havalandırmaya eklenecektir. Son olarak, UATBÇS modele bağlı bir uzman sistem, üçgen sivri tepeli ince kenarlı savakların hava sürüklenme oranı ve havalandırma verimini tespit etmek için geliştirilmiştir. Bu uzman model, regresyon modelleriyle karşılaştırılmıştır. UATBÇS modelin performansının regresyon modellerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple UATBÇS model, ince kenarlı üçgen savakların hava sürüklenme oranı ve havalandırma verimliliklerinin hesaplanmasında başarılı bir şekilde kullanılabilir.

UATBÇS ile modelleme yapabilmek için, öncelikle modelleme yapılacak alan ile ilgili yapılmış ve doğruluğu kanıtlanmış deneysel verilerin elimizde bulunması gerekmektedir. Bu verilerden büyük çoğunluğu UATBÇS modeli eğitmek için kullanılır. Geriye kalan deneysel veriler de UATBÇS modelin doğruluğunu denetlemek için kullanılır. Bu çalışmada kullandığım modellemeler hidrolik sistemlerde uygulanmış olsa da, biyomedikal, biyolojik ve endüstriyel sistemlerde de benzer sonuçlar alınacağı beklenebilir.

KAYNAKLAR

1. **Demir, Y.K.**, “Yapay Sinir Ağları ile Ulaştırma Taleplerinin Modellenmesi”, İTÜ FenBilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul, 1997
2. **Civalek, Ö.**, “Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği ile Analizi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt. 1, Sayı 2, 13-31, 1999
3. **Kurt, A.**, “Uzman Sistem Nedir?”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bülteni, Cilt:8, Sayı:3, 5-7, 1995.
4. **Türker, E.S. ve Taşkın, H.**, “Endüstriyel Sistemlerde Yapay Zeka ve Uzman Sistemler Uygulamaları”, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Yıl:3, Sayı:14, 1991.
5. **Mitchell, M.** “An introduction to Genetic Algorithm Cambridge” MA: MIT Press 1996.
6. **Hanbay D., Turkoglu I. and Demir Y.**, “A Wavelet Neural Network for Intelligent Modeling. International Fifteenth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks”, 2006, Turkey, 2006b, 175-182.
7. **Seiler, H.B., Seiler, K.E.** “Process Control and monitoring using micro computer based expert ystems”, Proc Second Annual AI And Advanced Computer Technology, 1986.
8. **Vural, İ.** “Kalite Kontrolünde Uzman Sistemler”, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1998.
9. **Goldberg, D.E.**, “Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning”, Addison-Wesley, A, 1989
10. **Chanson, H.**, “Comparison of Energy Dissipation between Nappe and Skimming Flow Regimes on Stepped Chutes”. J. Hydr. Res., 1994a, 32, (2), 213-218.
11. **Kosko, B.**, “Neural Networks and Fuzzy Systems, A Dynamical Systems Approach”, Englewood Cliffs., NJ: Prentice Hall, 1991.
12. **Jang, J. S. R., Sun, C. T.**, ”Neuro-Fuzzy modeling and control. Proceedings of the IEEE”, Vol. 3, No. 3., 1995.
13. **Chattaraj, B., Yagoub, M. C. E., Ding, X., and Zhang Q. J.**, “EM Based Optimization of Microwave Circuits by Neural Models and Their Application to Power Distribution and Decoupling Optimization.” Proc. 31. European Microwave Conf., London, England.,2001.

14. **Baylar, A. and Bagatur, T.** “Experimental Studies on Air Entrainment and Oxygen Content Downstream of Sharp-Crested Weirs. *Water and Environment Journal*”, 20 (4), 210-216, 2006.
15. **Chamani, M. R. and Rajaratnam, N.**, “Onset of Skimming Flow on Stepped Spillways ”, *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 1999b, 125, (9), 969-971.
16. **Baylar, A. and Emiroglu, M.E.**, “Study of Aeration Efficiency at Stepped Channels”, *Proc., Inst. Civ. Engrs-Water and Marit. Engrg.*, 2003, 156 (WM3), 257-263.
17. **Baylar, A., Bagatur, T. and Emiroglu, M. E.**, “Prediction of Oxygen Content of Nappe, Transition and Skimming Flow Regimes in Stepped-Channel Chutes.” *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2007b, (in press).
18. **Hanbay D., Turkoglu I. and Demir Y.**, “Complex Systems Modeling by Using ANFIS. *International Fifteenth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks*”, 2006, Turkey, 2006a, 83-90.
19. **Kisi, O.**, “River Flow Modeling Using Artificial Neural Networks. *J. of Hydrologic Engineering*”, *ASCE*, 2004a, 9 (1), 60-63.
20. **Yasuda, Y., Takahashi, M.**, “Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways” *Discussion, Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, 126,11,869-871.
21. **Hanbay D, Baylar A and Ozpolat E**, “Predicting Flow Conditions over Stepped Chutes Based on ANFIS”, *Soft Computing*, in press, 2008. DOI: 10.1007/s00500-008-0343-7
22. **Baylar, A.**, “Savak Havalandırıcılarda Tip Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2002.
23. **Baylar, A., Bagatur, T. and Emiroglu, M. E.**, “Aeration Efficiency with Nappe Flows over Stepped Cascades. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*”- *Water Management*, 2007a, (in press).
24. **Baylar, A. and Emiroglu, M.E.**, “The Effect os Sharp-Crested Weir Shape on Air Entrainment”, *Canadian Journal of civil Engineering*,29 (3),375-383,2002.
25. **Baylar, A., Emiroglu, M.E. and Bagatur T.**, “An Experimental Investigation of Aeration Performance in Stepped Spillways. *Water and Environment Journal*”, 2006, 20 (1), 35-42.

26. **Baylar, A., Emiroglu, M. E. and Bagatur, T.,** “Influence of Chute Slope on Oxygen Content in Stepped Waterways. *International Journal of Science and Technology*”, 2007c, (in press).
27. **Baylar, A. and Kisi, O.,** “Aeration Efficiency Estimation in Stepped Cascade Aerators Using Neural Network Approach. *Journal of Hydraulic Engineering*”, ASCE, 2007, (in review).
28. **Chanson, H. and Toombes, L.,** “Experimental Study of Gas-Liquid Interfacial Properties in a Stepped Cascade Flow. *Envir”. Fluid Mech.*, 2002, 2 (3), 241-263.
29. **Baylar, A., Hanbay, D. and Ozpolat, E.,** “Modeling Aeration Efficiency of Stepped Cascades by Using ANFIS. *CLEAN – Soil*”, *Air, Water*, 2007c, 35 (2), 186-192.
30. **Emiroglu, M. E. and Baylar, A.,** “An Investigation of Effect of Stepped Chutes with End Sill on Aeration Performance.” *Water Quality Research Journal of Canada*, 2003, 38 (3), 527-539.
31. **Emiroglu, M. E. and Baylar, A.,** “Self-Aeration in Smooth and Stepped Chutes.” *International Journal of Science and Technology*, 2006, 1 (2), 105-113.
32. **Gameson, A. L. H.,** “ Weirs and Aeration of Rivers”, *Journal of the Institution of Water Engineers*, Vol. 11, 1957.
33. **Gameson, A. L. H., Vandyke, K. G., and Ogden, C. G.,** “ The Effect of Temperature on Aeration”, *Water and Water Engineering*, November, 1958.
34. **Gulliver, J. S., Thene, J. R., and Rindels, A. J.,** “Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows”, *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 3, March, 1990, pp. 503-523.
35. **Tebbutts, T. H. Y., Rajaratnam, S. K., and Essery, I. T. S.,** “Reaeration Performance of Stepped Cascades”, *J. Inst. of Water Engrs. and Sci.*, 31, 1977, pp. 285-297.
36. **Gulliver, J. S., and Wilhelms, S. C., and Parkhill, K. L.,** “Predictive Capabilities in Oxygen Transfer at Hydraulics Structures”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 7, July, 1998, pp. 664-671.
37. **McGhee, T. J.** “*Water Supply and Sewerage*”, McGraw-Hill International Editions, (6th ed.), 1991.

38. **Baylar A, Hanbay D. And Ozpolat E.**, "An Expert System for Predicting Aeration Performance of Weirs by Using ANFIS", Expert Systems with Applications, 35 (3), 1214-1222, 2008.
39. **MATLAB® Documentation Neural Network Toolbox Help**, Version 7.0, Release 14, The MathWorks, Inc., 2004.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ’ da doğdu. İlk öğrenimini Evren Paşa İlkokulu’nda, orta öğrenimini Elazığ Anadolu Lisesi’nde, lise öğrenimini Elazığ Balakgazi Lisesi’nde tamamladı. 2005 yılı Ocak ayında Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2005 yılı Eylül ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı ’nda yüksek lisans programına başladı. 2007 Ocak ayından itibaren Antalya Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğünde inşaat mühendisi olarak görev yapmakta olup, evlidir.