

T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EN KÜÇÜK KARELER DESTEK VEKTÖR
MAKİNELERİYLE SERBEST YÜZEYLİ AKIMLARIN
HAVALANDIRMA VERİMİNİN MODELLENMESİ**

HAZIRLAYAN

Murat BATAN

Tez Yöneticisi

Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ - 2009

T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EN KÜÇÜK KARELER DESTEK VEKTÖR
MAKİNELERİYLE SERBEST YÜZEYLİ AKIMLARIN
HAVALANDIRMA VERİMİNİN MODELLENMESİ**

Murat BATAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

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

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Davut HANBAY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR

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

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarında bana her türlü desteği veren hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet BAYLAR'a, modelleme konusunda yardımlarını esirgemeyen, Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Davut HANBAY'a teşekkür ederim. Çalışmalarım gereği Elazığ'da bulunduğum zamanlarda yardımsever ve cana yakın davranışlarıyla takdir ettiğim değerli Elazığ halkına içtenlikle teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca beni her zaman destekleyen aileme de teşekkürlerimi bir borç biliyorum.

Murat BATAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ	3
2.1. Uzman Sistemler	3
2.1.1. Uzman Sistemin Yapısı	4
2.1.2. Bilgi Tabanı	4
2.1.3. Çıkarım Mekanizması	4
2.1.4. Ara Yüzler	5
2.1.5. Bilgi Gösterimi	5
2.1.6. Uzman Sistemlerin Geleneksel Bilgisayar Programlarıyla Karşılaştırılması	7
2.1.7. Uzman Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	8
2.1.8. Uzman Sistemlerin Uygulama Alanları	10
2.2. Bulanık Mantık	11
2.2.1. Bulanık Mantık Aşamaları	11
2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)	13
2.3.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi	16
2.3.2. Aktivasyon Fonksiyonları	17
2.3.3. Yapay Sinir Ağları Modelleri	19
2.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Mühendislik Alanında Kullanılması	20
2.4. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UBSA)	21
2.4.1. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Modelleme	23
2.4.2. UBSA Yapılarında Kullanılan Melez Öğrenme Algoritması	24
2.5. Destek Vektör Makineleri	26
2.5.1. İkili DVM Sınıflandırma Algoritması	27
2.5.2. Çok Sınıflı DVM Sınıflandırma Algoritması	31

2.5.3. DVM Yönteminin Regresyon için Kullanılması	32
3. SERBEST YÜZEYLİ AKIMLARDA HAVALANDIRMA	35
3.1. Suların Havalandırılması	35
3.2. Gaz Transferi	36
3.3. Çift Film Teorisi	37
3.4. Oksijen Transfer Verimi	42
3.5. Savak Havalandırıcılar	43
3.6. Basamaklı Kaskat Havalandırıcılar	47
3.7. Serbest Yüzeyle Kapaklı Konduit Havalandırıcılar	49
4. DESTEK VEKTÖR MAKİNALARI UYGULAMALARI	52
4.1. Savaklardan Savaklanan Su Jetlerinin Hava Giriş Debisi ve Havalandırma Veriminin Tahmininde En Küçük Kare Destek Vektör Makinelerinin (EKK-DVM) Uygulanması	52
4.1.1. Deneyler	53
4.1.1.1. Hava Giriş Debisi ve Havalandırma Verimini Belirlemede Kullanılan Deney Düzenegi	53
4.1.1.2. Deneysel Süreç	54
4.1.2. Deneysel Sonuçlar	54
4.1.3. En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri (EKK-DVM)	58
4.1.4. EKK-DVM ile Modelleme	60
4.1.5. Üçgen Savak Havalandırıcılarda EKK-DVM Model Sonuçları	64
4.2. Basamaklı Kaskatlarda, Akım Durumu ve Havalandırma Veriminin Tahmininde En Küçük Kareler Destek Vektör Makinelerinin (EKK-DVM) Uygulanması	64
4.2.1. Deneyler	65
4.2.1.1. Akım durumunun Belirlenmesindeki Deneysel Süreç	65
4.2.1.2. Havalandırma Veriminin Belirlenmesindeki Deneysel Süreç	66
4.2.2. Deneysel Sonuçlar	67
4.2.3. Uygulamalar	71
4.2.3.1. EKK-DVM İle Akım Durumu Tahmini	71
4.2.3.2. EKK-DVM ile Havalandırma Verimi Tahmini	72
4.2.4. Basamaklı Kaskatlarda EKK-DVM Model Sonuçları	73
4.3. Serbest Yüzeyle Kapaklı Konduitlerde Havalandırma Veriminin Tahmininde En Küçük Kareler Destek Vektör Makinelerinin (EKK-DVM) Uygulanması	73
4.3.1. Deneyler	74
4.3.1.1. Serbest Yüzeyle Konduitlerin Havalandırma Veriminin Belirlenmesinde Kullanılan Deney Düzenegi	74

4.3.1.2. Deneysel Süreç ve Deneyin Yapılışı	75
4.3.2. Deneysel Sonuçlar	76
4.3.3. Uygulama	77
4.3.3.1. EKK-DVM ile Havalandırma Verimi Tahmini	77
4.3.3.2. Serbest Yüzeyle Kapaklı Konduitte EKK-DVM Modelleme Sonuçları	80
5. SERBEST YÜZEYLİ KAPAKLI KONDUİTLERİN HAVALANDIRMA VERİMİNİN TAHMİNİNDE EKK–DVM SONUÇLARININ, DİĞER YAPAY ZEKA YAKLAŞIMLARI SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI	81
5.1. YSA (Yapay Sinir Ağları) Uygulaması	81
5.2. UBSA (Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) Uygulamaları	83
5.3. Serbest Yüzeyle Kapaklı Konduitlerde Modelleme Sonuçları ve EKK-DVM Uygulama Sonuçlarının Diğer Yapay Zeka Yaklaşımları (YSA ve UBSA) Uygulama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması	87
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Tipik bir uzman sistem yapısı	4
Şekil 2.2. Uzman sistem oluşturulurken izlenecek prosedür	6
Şekil 2.3. BMD' nin temel yapısı	11
Şekil 2.4. Tipik bir biyolojik sinir hücresi	14
Şekil 2.5. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	14
Şekil 2.6. Bir biyolojik sinir hücresinin matematiksel modellenmesi	15
Şekil 2.7. Sinir sisteminde bilgi akışı	16
Şekil 2.8. Temel yapay sinir ağı hücresi	17
Şekil 2.9. Aktivasyon fonksiyonları	18
Şekil 2.10. İleri beslemeli yapı	19
Şekil 2.11. Geri beslemeli yapı	20
Şekil 2.12. 2 girişli 9 kurallı bir uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi yapısı	22
Şekil 2.13. UBSA ile düz ve ters modelleme blok diyagramları	24
Şekil 2.14. En uygun ayrıştırıcı düzlem	28
Şekil 2.15. Giriş uzayının özellik uzayına taşınması	30
Şekil 2.16. 5 farklı sınıfın BKB ayrışımı kullanan çoklu—sınıf DVM ile sınıflandırılması	32
Şekil 3.1. Gaz transferine ait çift film teorisinin mekanizması ve grafiksel gösterilişi	38
Şekil 3.2. Bir savağın hidrolik boyutları	43
Şekil 3.3. Savak üzerindeki su napının değişimi	44
Şekil 3.4. Kalın kenarlı savak	44
Şekil 3.5. İnce kenarlı savak	45
Şekil 3.6. Savaklarda hava girişi mekanizması	46
Şekil 3.7. Nap akımı	47
Şekil 3.8. Nap akımdan sıçramalı akıma geçiş rejimi	47
Şekil 3.9. Sıçramalı akım	48
Şekil 3.10. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım	49
Şekil 3.11. Kapaklı konduit içerisindeki akış tiplerinin sınıflandırılması a) sprey (püskürme şeklinde) akım; b) serbest yüzeyli akım; c) köpüklü akım; d) hidrolik sıçrama-1; e) hidrolik sıçrama-2; f) sadece su akışı	50
Şekil 3.12. Serbest yüzeyli kapaklı konduit	51
Şekil 4.1. İnce kenarlı üçgen savakların hava giriş debisi ve havalandırma verimini belirlemede kullanılan deney düzeneği	53

Şekil 4.2. $\theta=45^\circ$ için düşüm yüksekliği ile hava giriş debisi arasındaki değişim	55
Şekil 4.3. $\theta=90^\circ$ için düşüm yüksekliği ile hava giriş debisi arasındaki değişim	55
Şekil 4.4. $\theta=135^\circ$ için düşüm yüksekliği ile hava giriş debisi arasındaki değişim	56
Şekil 4.5. $\theta=45^\circ$ için düşüm yüksekliği ile havalandırma verimi arasındaki değişim	56
Şekil 4.6. $\theta=90^\circ$ için düşüm yüksekliği ile havalandırma verimi arasındaki değişim	57
Şekil 4.7. $\theta=135^\circ$ için düşüm yüksekliği ile havalandırma verimi arasındaki değişim	57
Şekil 4.8. EKK–DVM modelin, Q_h performansı	61
Şekil 4.9. EKK–DVM modelin E_{20} performansı	63
Şekil 4.10. Basamaklı kaskatlarda akım durumunun ve havalandırma veriminin belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği	66
Şekil 4.11. Basamaklı kaskatlarda akım durumunun sınıflandırılması	68
Şekil 4.12. Kaskat açıları için h_c / h_b 'ye karşı gelen E_{20} değerleri	69
Şekil 4.13. EKK–DVM modelin akım durumu test performansı	72
Şekil 4.14. EKK–DVM'nin havalandırma verimi test performansı	73
Şekil 4.15. Serbest yüzeyli kapaklı konduite ait deney düzeneği	74
Şekil 4.16. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB'da EKK-DVM ile modellenmesinin yazılımı	79
Şekil 4.17. Tahmin edilen ve ölçülen E_{20} değerleri (X_3 test grubu ile RTF'li EKK-DVM modeli)	80
Şekil 5.1. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB'da YSA ile modellenmesinin yazılımı	82
Şekil 5.2. Tahmin edilen ve ölçülen E_{20} değerleri (X_2 test grubu, (3–9–1) YSA model ile)	83
Şekil 5.3. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB'da UBSA ile modellenmesinin yazılımı	86
Şekil 5.4. Tahmin edilen ve ölçülen E_{20} değerleri (X_2 test grubu ile, Pi şekilli üyelik fonksiyonlu UBSA modeli)	86

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Uzman sistemler ve geleneksel bilgisayar programları arasındaki genel farklar	7
Tablo 2.2. Uzman sistemlerin kullanıldığı bazı alanlar	10
Tablo 2.3. Bulanık mantık yaklaşımının endüstriyel uygulamaları	13
Tablo 2.4. Yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları	30
Tablo 3.1. 760 mm Hg basıncında ve % 20.90 nispetinde oksijen ihtiva eden kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları (<i>mg/l</i>)	40
Tablo 3.2. Deniz seviyesinden yükseklerde Ç.O. doygunluk konsantrasyonunun değişimi	41
Tablo 3.3. Deniz seviyesinde tuzluluğun çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi	41
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan savakların boyutları	53
Tablo 4.2. EKK–DVM, DOR ve DR modellerinin kullanımıyla Q_h 'yi hesaplamak için mutlak göreceli hata (MGH) istatistikleri	61
Tablo 4.3. EKK–DVM, DOR ve DR modellerinin kullanımıyla E_{20} 'yi hesaplamak için mutlak göreceli hata (MGH) istatistikleri	63
Tablo 4.4. Basamaklı kaskatın akım durumları deneysel sonuçlarından bir kısmı	69
Tablo 4.5. Basamaklı kaskatın havalandırma verimi deneysel sonuçları	70
Tablo 4.6. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin deneysel sonuçları	76
Tablo 4.7. EKK-DVM modellerinin R^2 değerleri	78
Tablo 5.1. YSA modelin R^2 değerleri	81
Tablo 5.2. UBSA modellerinin R^2 değerleri	84

SEMBOLLER LİSTESİ

$\frac{dC}{dt}$	: Konsantrasyon değişim hızı ($mg/l/s$)
$\frac{A}{V}$	: Özgül ara kesit yüzeyi ($1/m$)
$\frac{dm}{dt}$	: Madde transfer hızı (g/s)
A	: Oksijen transferinin meydana geldiği yerdeki alan (m^2)
β	: Eğim sabiti
b	: Bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri
b_s	: Savak kret 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
f	: Aktivasyon fonksiyonu
Fr	: Froude sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H_s	: Mansap su derinliği (m)
h_s	: Suyun düşme yüksekliği (m)
h_c/h_b	: Kritik akım derinliği ile basamak yüksekliği arasındaki oran
h_k/L_k	: Kapak açma yüksekliğinin konduit mansabının uzunluğuna oranı
K_g	: Oksijen için difüzyon katsayısı
K_L	: a ve K_g yerine sıvı film katsayısını gösteren bir sembol
L_k	: Konduit boyu (m)
L_s	: Toplam savak genişliği (m)
q_s	: Birim genişlikten geçen debi ($m^3/sn.m$)
Q_h	: Hava debisi (m^3/s)
Q_s	: Su debisi (m^3/s)
R^2	: Regresyon katsayısı
r	: T °C’deki oksijen eksiklik oranı

r_{15}	: 15 °C'deki oksijen eksiklik oranı
S	: Toplam parametre kümesi
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	: Ağırlıklar matrisi
W_s	: Toplam üçgen savak derinliği (m)
X	: Girişler matrisi
γ	: Düzenleme sabiti
σ	: RTF'nin genişliği
α	: Basamaklı kanal açısı (<i>derece</i>)
α_t	: Hidrolik yapılarda oksijen transferi için bir katsayı
θ	: Üçgen savaklarda tepe açısı (<i>derece</i>)
η	: Öğrenme oranı

KISALTMALAR LİSTESİ

BKB	: Bire karşı bir
BKD	: Bire karşı diğer
BMD	: Bulanık mantık denetleyicisi
ÇO	: Çözülmüş oksijen
Dsgmf	: Sigmoid üyelik fonksiyonu
DVM	: Destek Vektör Makineleri
EKK–DVM	: En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri
Gauss2mf	: Gauss kombinasyon üyelik fonksiyonu
gbellmf	: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu
DOR	: Doğrusal olmayan regresyon
DR	: Doğrusal regresyon
MATLAB	: Matris laboratuvarı
MGH	: Mutlak göreceli hata
Pimf	: Π –eğrisi üyelik fonksiyonu
Psigmf	: İki sigmoidli üyelik fonksiyonu
RCC	: Sıkıştırılmış beton barajlar
RTF	: Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu
Trimf	: Üçgen üyelik fonksiyonu
UBSA	: Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi
UOB	: Uçucu organik bileşik
YSA	: Yapay sinir ağları

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EN KÜÇÜK KARELER DESTEK VEKTÖR MAKİNALARIYLA SERBEST YÜZEYLİ AKIMLARIN HAVALANDIRMA VERİMİNİN MODELLENMESİ

Murat BATAN

T.C. Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2009, Sayfa: 95

Su kalitesini belirleyen en önemli parametre çözünmüş oksijen miktarıdır. Çözünmüş oksijen miktarı suda yaşayan canlı yaşamı için hayati öneme sahiptir. Su içerisinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltıcı birçok doğal, biyolojik ve kimyasal olay meydana gelir. Bu biyolojik olay ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle sudaki çözünmüş oksijen miktarı azalır. Normal şartlar altında akarsularda birkaç kilometrede meydana gelebilecek oksijen transferi, hidrolik yapılarla hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Hidrolik yapılarla akım içerisine çok sayıda hava kabarcığı aktarılır. Bu hava kabarcıkları sayesinde oksijen transferi için yüzey alanı artar ve oksijen transferi kolaylıkla gerçekleşir.

Son yıllarda, inşaat mühendisliğindeki bilgisayarlı hesaplamalarda yapay zeka uygulamaları ilk sırayı almıştır. Bu uygulamalar genellikle Uzman Sistemleri içermektedir. Bu çalışmada yapay zeka yaklaşımlarından biri olan, En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri incelenmiş ve üç uygulama sunulmuştur. Yapılan En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri uygulamaları ile ince kenarlı üçgen savaklarda hava giriş ve havalandırma verimi, basamaklı kaskatlarda akım durumu ve havalandırma verimi ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde havalandırma verimi modellenmiştir. Ayrıca, serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde havalandırma verimi, Yapay Sinir Ağları ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile modellenip, elde edilen sonuçlar En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri hesaplamalarının inşaat mühendisliğinde karar verme ve tasarım için alternatif bir çözüm olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri, havalandırma verimi, serbest yüzeyli akım, ince kenarlı savak, basamaklı kaskat, serbest yüzeyli konduit

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODELLING AERATION EFFICIENCY OF FREE SURFACE FLOWS BY USING LEAST SQUARE SUPPORT VECTOR MACHINES

Murat BATAN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2009, Page: 95

Most important water quality parameter is amount of dissolved oxygen. Amount of dissolved oxygen is vital importance for aquatic life. Concentration of dissolved oxygen is decreased with a lot of natural, biological and chemical events. In this biological events and chemical reactions oxygen is used. Therefore, amount of dissolved oxygen is decreased. The same quantity of oxygen transfer that normally would occur over several kilometers in rivers can occur quickly with hydraulic structures. A lot of air bubbles are entrained into the flow by means of hydraulic structures. This air bubbles greatly increases the surface area for oxygen transfer and so oxygen transfer occurs easily.

Computation on civil engineering has concentrated primarily on artificial intelligence applications in the past few years. These applications generally involve Expert Systems. This work deals with a different artificial intelligence approach involving Least Square Support Vector Machines and three applications are presented. In these applications of Least Square Support Vector Machines, air entrainment and aeration efficiency in sharp-crested weirs, flow conditions and aeration efficiency in stepped cascades and aeration efficiency in free surface gated conduits are modeled. Moreover, aeration efficiency in free surface gated conduits are modeled with Artificial Neural Networks and Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System and compared with the results of Least Square Support Vector Machines. It has been shown that the Least Square Support Vector Machines computation is an alternative solution for decision and design in civil engineering.

Keywords: Least Square Support Vector Machines, aeration efficiency, free surface flow, sharp-crested weir, stepped cascade, free surface conduit

1. GİRİŞ

“Yapay zeka nedir?” sorusuna ancak zekanın ne olduğu açıklanarak cevap verilebilir. Zeka; öğrenme, anlama ve düşünme yeteneğidir şeklinde tanımlanabilir. Yapay zeka kavramını da; kısaca bilgisayarların öğrenme, anlama ve düşünme yeteneği şeklinde tanımlayabiliriz. Yani canlılardaki zekanın yapay hali denebilir.

İnsanoğlu, kendisi gibi akıllı, ama insan yapımı yapay aletlerin üretilmesi konusunda çok uzun yıllardır çeşitli buluşlar üzerinde çalışıyor. Gelişen teknolojiyi “akıllı” hale getirmek araştırmacıların en önemli amaçlarından biridir. Ancak yapay zeka çalışmalarının temelinde insan zekasının çalışma biçiminin veya beyin fonksiyonlarının açıklanması yatmaktadır. Bu açıdan bakıldığında yapay zeka teknolojisi; insanın zihinsel becerilerini, bilgi kazanımı, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji ve yöntemleri araştırarak, insana özgü bu özelliklere sahip yapıları üretmeye çalışmak olarak tanımlanabilir [1].

Günümüzde kısıtlı da olsa bağımsız ve kendine özgü hareketler sergileyebilen yapay zeka örnekleri üretilmektedir. Ancak, bilgisayarların yapabileceği tek şey, kendilerine verilen algoritmaları uygulamaktır. Algoritma, her biri açık bir şekilde tanımlanmış işlemler dizisidir. Bir bilgisayarın bir şeyi yapıp yapamayacağı, o şeyin algoritmaya indirgenip indirgenemeyeceğine bağlıdır denilebilir. Dolayısıyla bilgisayar sadece belirlenmiş davranışları gerçekleştirebilir. Ancak, sadece davranışı gerçekleştirmek gerçekten öğrenme anlamına gelmeyebilir.

Yapay zekanın amacı; insan zekasını bilgisayar aracılığı ile taklit etmek, bu anlamda belli sınırlar içinde bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırmaktır. Bu açıdan yapay zeka, insanın düşünme becerisini, beyin çalışma sistemini veya doğanın biyolojik evrimini taklit eden yöntemlerden oluşur.

Yapay zeka üzerine yapılan çalışmalar, yazılım ve donanım üzerine sürmektedir. Günümüzde yapay zeka; tıp, endüstri mühendisliği, otomasyon, ekonomi, elektronik mühendisliği, elektronik devre tasarımı, bilgisayar mühendisliği, inşaat ve çevre mühendisliği, çeşitli zeka problemlerinin çözümü, optik algılama, nesne tanımlama ve daha sayamadığımız birçok konuda uygulama alanına sahiptir[2].

Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler göz önüne alındığında, özellikle son yirmi yılda ulaşım alanında ve sezgisel olarak çözülebilen ya da çözülmesi matematiksel yöntemler ile mümkün olmayan gerçek hayat problemlerini (Gezgin Satıcı, Çizelgeleme vb.) çözmeye yönelik gelişmiş teknikler, yapay zeka teknikleri olarak adlandırılır [2]. Bunların başlıcaları:

- a-)** Yapay sinir ağıları,
- b-)** Bilgi tabanlı uzman sistemler,
- c-)** Bulanık mantık,
- 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[2].

Bu çalışmada, serbest yüzeyli akımların havalandırma verimleri “En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri” (EKK-DVM) metoduyla modellenerek, modelin performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca serbest yüzeyli konduitlerin havalandırma verimleri; Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UBSA) ve En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri (EKK-DVM) ile ayrı ayrı modellenerek karşılaştırılmıştır.

2. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

2.1. Uzman Sistemler

Uzman sistemler, yapay zekanın yönetim bilimi için en gözde konusunu oluşturmaktadır. Yapay zekanın en geniş dalı olan uzman sistemler konusunda özellikle 1965'ten sonra dikkat çekici ilerlemeler yaşanmıştır. Yapay zekanın bu alanı, uzmanlığın söz konusu olduğu bir konuda yüksek performans gösteren programlar oluşturmak üzerinedir. Uzman sistemlerin konuya bağımlı olarak problem çözmesi; kendine has prensip, araç ve tekniklerle, bilgi mühendisliğinin esasını oluşturan yeni bir yazılım türünü ortaya çıkarmıştır. Uzman sistemler için değişik kaynaklardan alınan tanımlar şöyledir:

“Gerçekleşmekte olan bir durum veya olay hakkında zeki kararlar alan veya zeki öneriler sunabilen sistemlerin oluşturulması ve uzmanların yetenekleri sayesinde bilgi tabanlı elemanların bilgisayar içinde düzenlenmesidir” [3].

“İnsan bilgisi ve tecrübelerine dayalı olan bilgilerin, bir bilgisayar ortamına aktararak, tasarlanmış sistemlerde karşılaşılan 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 önemli özelliği, oldukça büyük bir bilgi tabanına sahip olmasıdır. Bu konuda dikkat edilmesi gereken husus ise; değişime 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 bilgilerden oluşur. Gerçekler; genel kabul görmüş ve söz konusu alandaki uzmanların üzerinde karar kıldıkları 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].

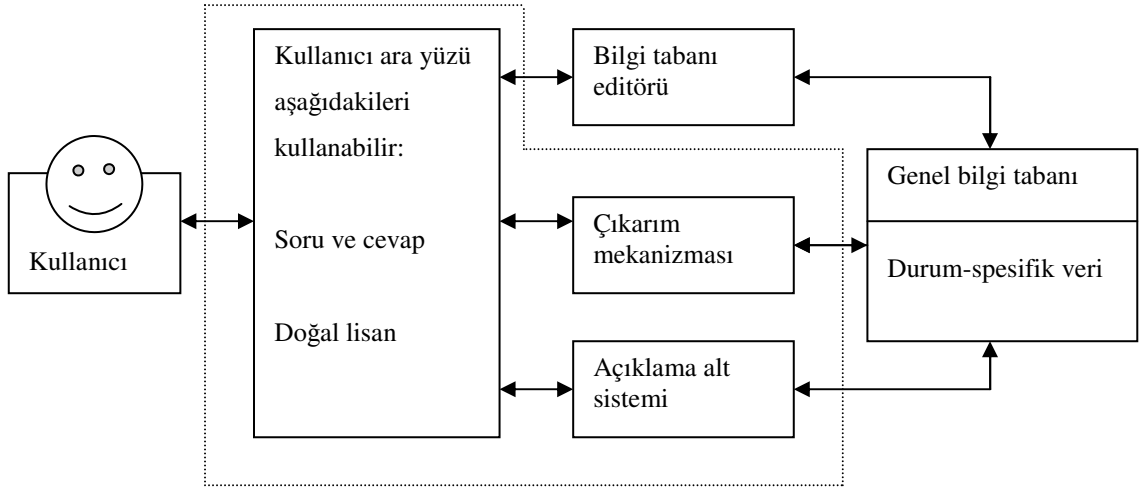
Uzman sistemlerde olması istenen diğer bir özellik ise, sorgulayan kişiye mantıklı bir şekilde sonuçlara ulaşmada izlediği yolu anlatabilmesi ve kendini haklı çıkarmasıdır [6].

2.1.1. Uzman Sistemin Yapısı

Uzman sistemler genellikle aşağıdaki bölümlerden oluşur.

- Belirli bir problem hakkındaki gerçekler, kurallar ve bilgileri içeren; Bilgi Tabanı,
- Problemlere çözümler üretmek için depolanan bilgiyi ustalıkla kullanan; Çıkarım Mekanizması,
- Kullanıcı ile iletişimi sağlamak üzere; Kullanıcı Ara Yüzü,
- Bilgi tabanını geliştirmeye yardımcı olmak üzere; Bilgi Edinim Modülünden oluşmaktadır.

Şekil 2.1’de temel bileşenlerden oluşan tipik bir uzman sistem gösterilmiştir[2].



Şekil 2.1. Tipik bir uzman sistem yapısı

2.1.2. Bilgi Tabanı

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

2.1.3. Çıkarım Mekanizması

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

2.1.4. Ara Yüzler

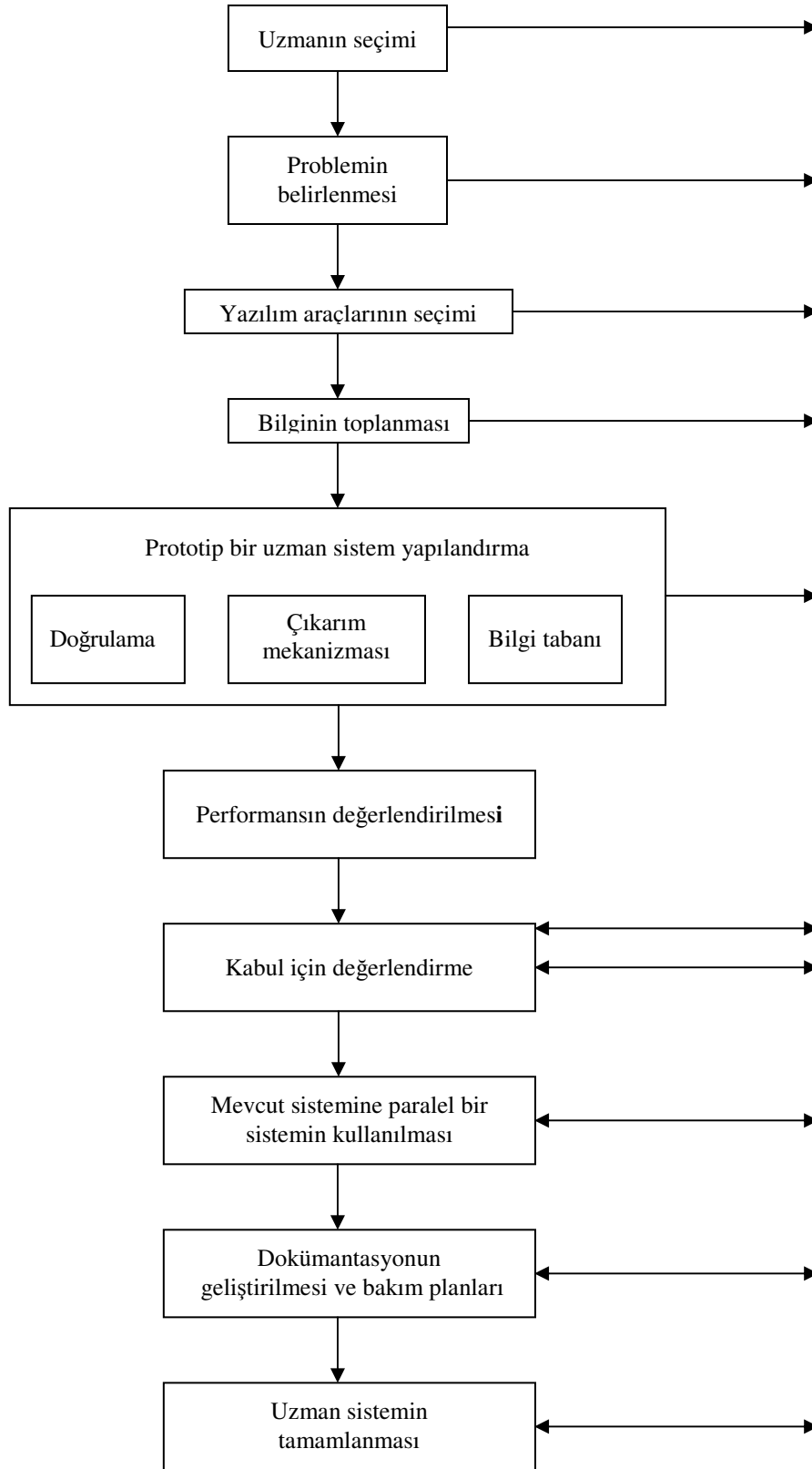
Genel veri tabanından bilgi elde edilmesi ara yüzler ile gerçekleşir. Uzman sistemler, günümüzde kullanıcılar için üretilmektedir. Yakın bir gelecekte uzman sistemlerin başka uzman sistemler tarafından kullanılması da beklenmektedir. Bazı ara yüzler donanım, bazı ara yüzler de yazılım ara yüzleridir. 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 kullanıcıya iletmektedir [8].

2.1.5. Bilgi Gösterimi

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

- Üretim kuralları,
- Çatılar,
- Semantik ağlar,

Şekil 2.2’de uzman sistem oluşturulurken izlenecek prosedür gösterilmiştir [2].



Şekil 2.2. Uzman sistem oluşturulurken izlenecek prosedür

2.1.6. Uzman Sistemlerin Geleneksel Bilgisayar Programlarıyla Karşılaştırılması

Uzman sistemler, geleneksel bilgisayar programlarından ayrılan çeşitli yeteneklere ve özelliklere sahiptirler. Bir uzman sistemin temel amacı, uzmanların sezgisel uzmanlıklarına sahip olmak ve bunu yaygınlaştırmak, geleneksel bir programın hedefi ise bir algoritma setini tamamlamaktır.

Uzman sistemler, geleneksel yaklaşımlarla ele alınmasının çok zor veya mümkün olmadığı durumlarda kullanılabilir. Ayrıca uzman sistemler, ihtiyaç duyulan bilginin eksik veya ulaşılabilen bilginin tutarsız olduğu durumlarda çözüm üretme yeteneğine sahiptir. Uzman sistemler, belirsiz durumları ve belirsiz verileri analiz ederler. Bazı uzman sistemler yeni bilgilere ulaşıldığında yargılarını değiştirebilirler. Bunlara ilaveten, çoğu kez bir uzman sistem aldığı kararlara ve sorduğu sorulara bir açıklama da getirebilir.

Uzman sistemler, sayısal hesaplamalardan çok kavramlar hakkında sembolik muhakeme yaparlar. Bu sistemler çoğunlukla işleme ait yaklaşımlardan çok açıklayıcı yaklaşımlar kullanılarak programlanırlar ve programlama teknikleri, program kontrolünün alan bilgisinden geniş ölçüde ayrılmasını sağlar. Program kontrolünden ayrılmış açıklayıcı bilginin kullanımı, çoğu kez uzman sistemlerin, geleneksel programlara göre daha esnek ve tekrar gözden geçirilip düzeltilebilme ve güncellenebilmesinin daha kolay olmasını sağlar[2].

Geleneksel bir programın bu özelliklere sahip olması çok zordur. Tablo (2.1)' de uzman sistemlerle geleneksel bilgisayar programları karşılaştırılmaktadır [2].

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

2.1.7. 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 kopyasını alabilir ve kopyaya her zaman ulaşılabilir. İnsanların aksine bilgisayar programları; yorulmaz, hasta olmaz, sinirlenmez, tatile çıkmaz 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 halinde, daima doğru sonuçlar verecektir.

Geniş Kapsamlılık: Birden fazla uzmanın ortak fikrini almak çok zordur ve bir grup uzmanı bir konuda ortak bir yargıya varmak üzere bir araya getirmek neredeyse imkansızdır. Bir uzman yalnızca kendi bilgi ve deneyimlerini kullanabilir. 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 alternatifler sunabilirler.

Alan Seçimi: Uzman sistem uygulamalarının bazıları iyi çalışırken bazıları iyi çalışmaz. Bu sebeple belirli bir alanda belirli bir teknoloji kullanma veya kullanmama kararı bilgisayar sistemlerinde 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 ilişkinin olduğu ya da uzaysal 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 önemli bir gereksinimdir. Bir uzman sistemi test etmede pek çok sorunla karşılaşılabilir. Programı oluşturanlar, sistemin nasıl davranması gerektiği konusunda her zaman emin değildirler ve bu yüzden sistemi tam anlamıyla test edemezler. Bir uzman sistemin izleyeceği yolu belirlemek kolay değildir. Bu durum çok fazla risk içeren problemlerde önemli bir sorundur (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 diğer etkileri

hesaba katmak zorundadır. Sistemin doğruluğunun ve yeterliliğinin test edilmesi çok zordur. Bununla birlikte, bu bir sorumluluk sorunudur: Kim sorumlu? Uzman sistemi kullanan, yazan, bilgisi uzman sistemde kullanılan veya bu sistemin kullanım hakkına sahip olan kişi mi?

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

Sınırlamalar: Uzman sınırlarını bilir; bilgisayar tabanlı bir sistem özellikle programlanmamışsa bilemez. Bu bakımdan, uzman sistemler pek o kadar iyi sonuç veremezler. Her zaman bir cevap üretmeye yöneliktirler. Bu durum problem olabilir ve uzman sistemlerin uzmanlara tercih edilmesi yerine yardımcı bir araç olarak kullanılmalarının daha uygun olacağını gösterir.

Kabul Edilebilirlik: Uzman sistem teknolojisine giriş, kullanıcı firma içerisinde, firmanın organizase 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 hakkında kuşkuyla yaklaşır. Hatta sistemler iyi çalıştığı ve uzmanlarla hemfikir olduğu zamanlarda bile kendileriyle aynı tip karar alma yöntemini kullanmadıklarını düşündükleri için uzman sistemlere güvenmezler. Bu faktörler uzman sistem kullanımı düşünüldüğünde göz önünde bulundurulmalıdır. Yoksa sistem, firma içinde aktif bir muhalefet ile karşılaşabilir.

Bilgi Edinme: Uzman sistem geliştirmek için karşılaşılan en önemli sorun, bilgi edinmenin yol açtığı “dar boğaz ”dır. Uzmanın bilgisini saklama ve ortaya çıkarma süreci çoğunlukla uzun ve yavaş bir süreçtir.

Güncelleme: Bilgilerin sık sık değiştiği alanlar uzman sistemlerin geliştirilmesine pek uygun değildir. Uzman sistemin uzmanlığını kaybetmemesi için bilgi tabanını sürekli yenilemesi gerekir. Bilgi tabanının yenilenmesi için gerekli şartlar sağlanmalıdır.

Davranış: Uzman sistemlerin amacı, uzmanları taklit etmek olmasına rağmen bunu yapabilen çok az uzman sistem vardır. Sistemle kullanıcı arasındaki diyaloglar genellikle program tarafından yönlendirilir ve genellikle tanımlamaları anlamak zordur. İncelemeler

kullanıcının değil bilgisayar programının güdümünde olma eğilimindedir ve kullanıcı cevabı elde edebilmek için sık sık gereksiz açıklamalarla uğraşmak zorunda kalmaktadır [2].

2.1.8. Uzman Sistemlerin Uygulama Alanları

Uzman sistemlere ilgi arttıkça, uygulandığı problem tiplerinin sayısı sürekli artmaktadır. Uzman sistemler şu amaçlarla geliştirilebilir [2]:

- Teşhis
- Çizelgeleme
- Planlama
- İzleme
- Süreç kontrol
- Tasarım
- Tahmin
- Sinyal yorumlama
- Biçimlendirme
- Eğitim

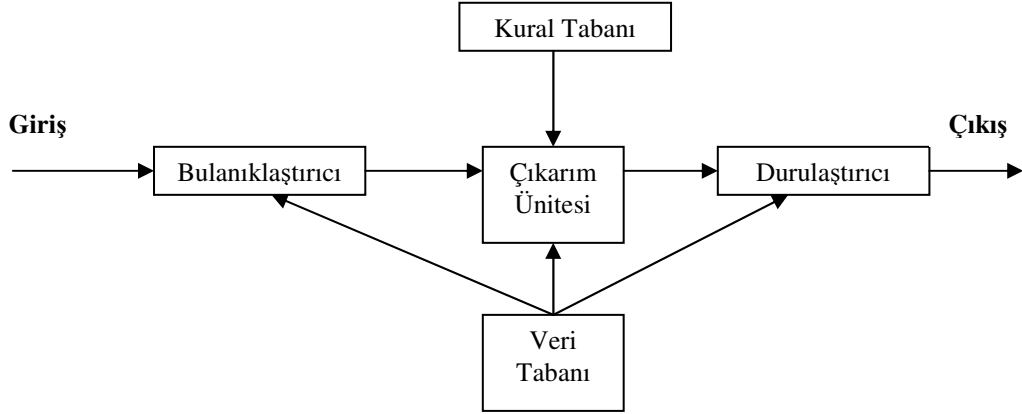
Uzman sistemlerin kullanıldığı endüstriyel alanların sayısı da artmaktadır. Tablo 2.2 uzman sistemlerin kullanıldığı çeşitli alanları göstermektedir.

Tablo 2.2. Uzman sistemlerin kullanıldığı 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 elektronik	Sigorta	Eğitim
Elektrik kurumları	İmalat	Taşıma

2.2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık denetleyicisi (BMD) ilk kez 1965 yılında ortaya atılmıştır. Bulanık küme kavramını klasik küme kavramından ayıran en önemli özellik, sayısal değişkenlerin yerine sözel değişkenlerin kullanılmasıdır. Şekil 2.3’ de bulanık mantık denetleyicisinin temel yapısını gösteren blok diyagram verilmektedir.



Şekil 2.3. BMD'nin temel yapısı

Bulanıklaştırma ünitesi, sayısal veriler üzerinde değişiklik yaparak bunu bulanık veriler biçimine dönüştürmektedir. Bu ünite görevini 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 [9].

2.2.1. Bulanık Mantık Aşamaları

a) Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olayın etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel bilgi tabanı denilmesinin 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, s

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 bağlamların 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 girdileri 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 ;

- ✓ Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır. Bulanık mantığın dayandığı matematiksel teori basittir. Bulanık mantığı çekici kılan, yaklaşımının doğallığı ve kompleks ya da karmaşıklıktan uzak olmasıdır.
- ✓ Bulanık mantık, esnektir.
- ✓ Eksik ya da yetersiz bilgilerle işlemler yapılabilir.
- ✓ Bulanık mantık, karmaşık doğrusal olmayan fonksiyonları modelleyebilir. UBSA gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdi ve çıktı veri kümelerini eşleştirerek bulanık modeller oluşturulabilir.
- ✓ Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve deneyimlerinden yararlanılır.
- ✓ Bulanık mantık, sıradan insanların günlük yaşantılarında kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır [10].

Bugün elektronik pazarında, pek çok üretim bulanık mantık temeline dayanmaktadır. Tablo (2.3)'te, bulanık mantık yaklaşımının kullanıldığı birkaç örnek görülmektedir. Bulanık mantık uygulamaları; ısı, elektrik akımı, sıvı gaz akımı denetimi, kimyasal ve fiziksel süreç denetimlerinde kullanılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımlarının kullanıldığı sistemler, klasik sistemlere göre daha etkin ısı ve hız denetimi yapabilmektedir. Ayrıca enerji tasarrufu sağlanmakta ve aygıt ömrü uzamaktadır [11].

Tablo 2.3. Bulanık mantık yaklaşımının endüstriyel uygulamaları

ÜRÜN	ŞİRKET
Çamaşır Makinesi	AEG, Sharp, Goldstar
Pirinç Fırını	Goldstar
Fırın/Kızartıcı	Tefal
Mikrodalga Fırın	Sharp
Elektrikli Tıraş Makinesi	Sharp
Buzdolabı	Whirlpool
Batarya Şarj Cihazı	Bosch
Elektrikli Süpürge	Philips, Siemens
Camcorder	Canon, Sanyo, JVC
Klima Denetimi	Ford
Isı Denetimi	NASA İnspace shuttle
Kredi Kartı	GE Corporation

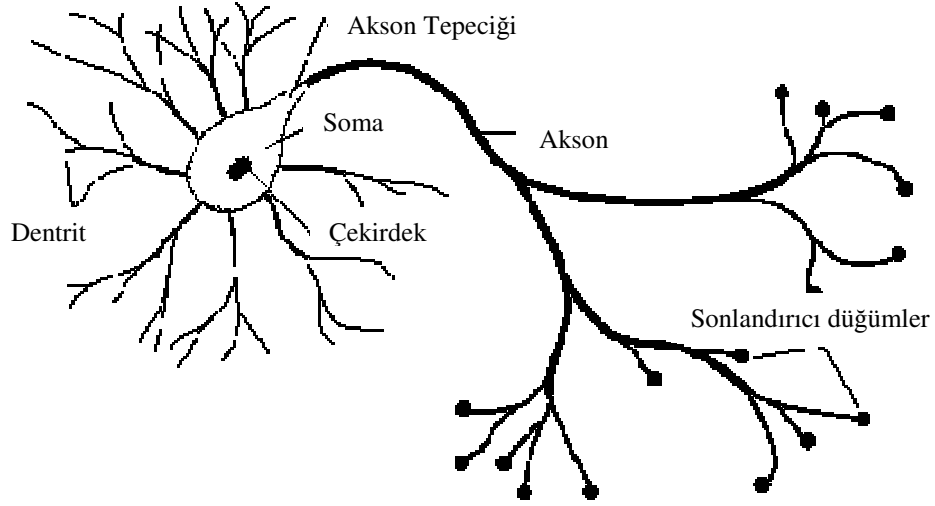
2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

En genel tanımlamayla sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karışık sistemlerdir. Şekil 2.4’ de bir biyolojik sinir hücresi görülmektedir. Biyolojik sinir hücresi, 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 [12].

Yapay Sinir Ağları (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 üzerinden ağırlık değerleri ile ağ üzerine dağıtarak saklarlar.

Bu tür sinir hücreleri Mc Culloch - Pits nöronu olarak bilinirler. Bunlar ağı her bir işlem birimini temsil ederler ve birbirleriyle bağlanarak ağı oluştururlar. Her bir sinir hücresi,

basit bir anahtar görevi yapar ve şiddetine göre gelen sinyali ya sönümlendirir ya da iletir. Böylece ağ içerisindeki her bir sinir hücresinin belli bir yükü olur [13].

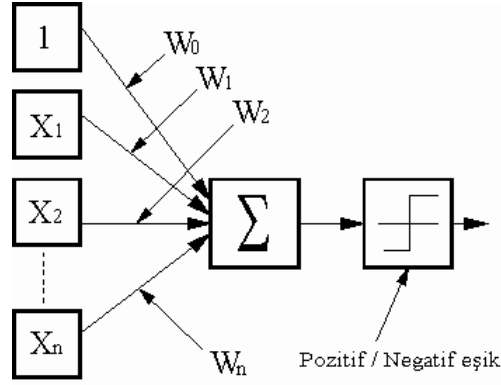


Şekil 2.4. Tipik bir biyolojik sinir hücresi

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyinin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler organizma içerisinde ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyine bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise, beyinin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 2.5'te bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

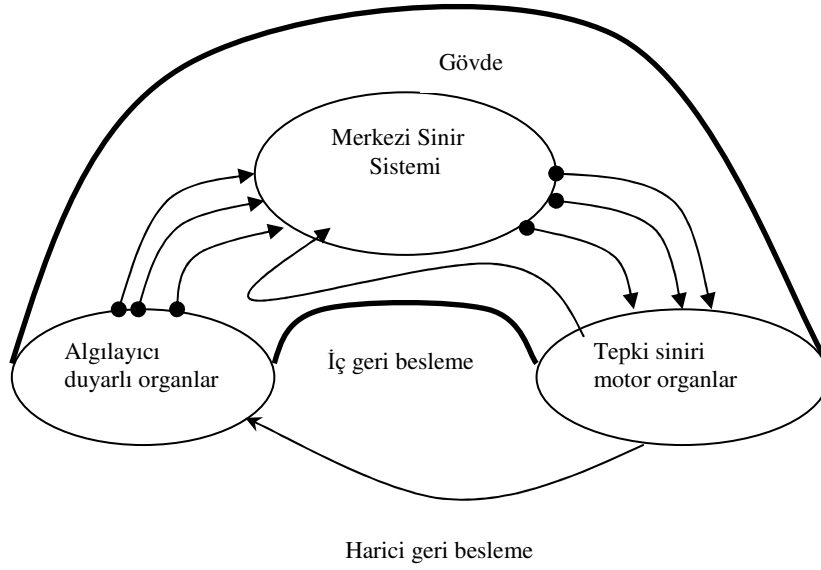


Şekil 2.6. Bir biyolojik sinir hücresinin matematiksel modellenmesi

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

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

Bir hipoteze göre sinir hücreleri, birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca sinir hücreleri, kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyini, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebilir. Büyük sinir ağları çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla bir birine bağlıdır. Ağa giriş, duyarlı algılayıcılar ile sağlanır. Alıcılar, uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarım elektriksel sinyaller biçimindedir. Sinir hücresi 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.

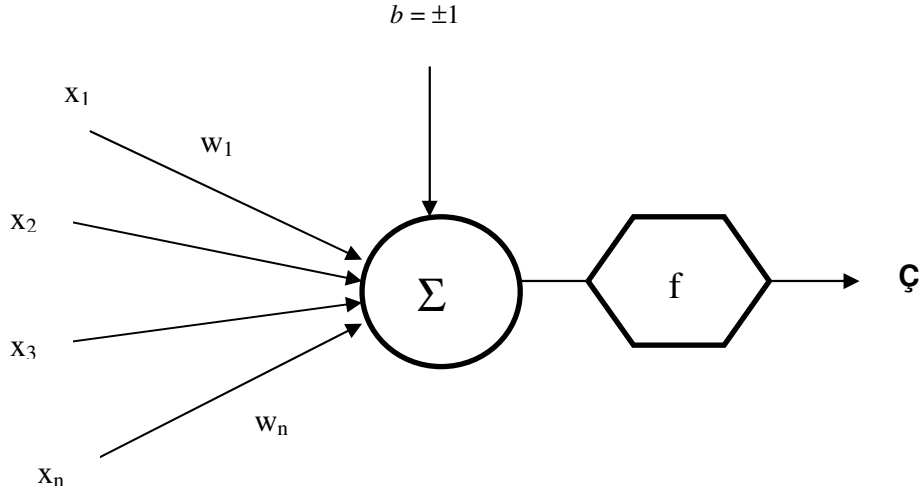


Şekil 2.7. Sinir sisteminde bilgi akışı

Şekil 2.7’de 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 gibi tüm sinir sisteminin yapısı, kapalı-çevrim bir kontrol sistemini andırmaktadır [2].

2.3.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi, biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel sinir hücresi modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer sinir hücrelerinden alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri, ağırlıklar aracılığıyla sinir hücresine bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar. Net giriş; girişler ve bu 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 bir fonksiyondur. Şekil 2.8’de görülen b bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Sinir hücresinin matematiksel modeli şöyledir [2]:



Şekil 2.8. Temel yapay sinir ağı hücresi

Çıkış, $\zeta = f(WX + b)$

şeklinde sinir hücresi 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. Formülize edersek;

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

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

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

2.3.2. Aktivasyon Fonksiyonları

Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir (Şekil 2.9a) [16]. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1

ile +1 arasında değişeni ise işaret aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. İşaret aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyük ise +1, sıfırdan küçük ise -1, sıfıra eşit ise sıfır değerini verir (Şekil 2.9d) [14].

Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun çıkışı, girişine eşittir (Şekil 2.9c) [14]. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman, çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun doğrusal aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir.

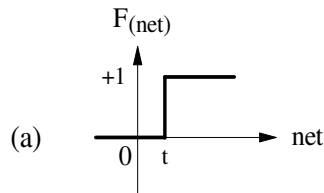
$f(x) = x$, şeklinde ifade edilir.

Logaritma sigmoid aktivasyon fonksiyonu, lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır (Şekil 2.9b) [14]. Bu fonksiyonun doğrusal olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir. Böylece daha sonraki bölümlerde görülecek olan geri yayımlı ağırlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.

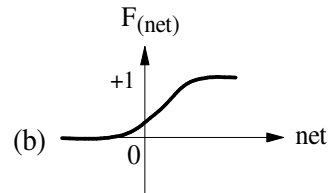
Lojistik fonksiyonu,

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

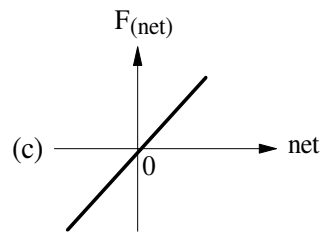
şeklinde ifade edilir. Buradaki β eğim sabiti olup genelde 1 olarak seçilmektedir.



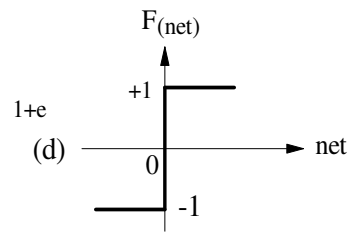
Eşik aktivasyon fonksiyonu



Logaritma sigmoid aktivasyon fonksiyonu



Doğal aktivasyon fonksiyonu



İşaret aktivasyon fonksiyonu

Şekil 2.9. Aktivasyon fonksiyonları

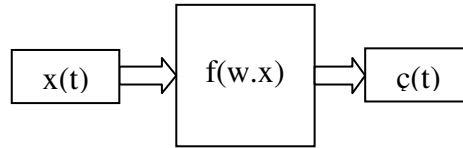
Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da, doğrusal olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon, lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.

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

Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağına hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı, probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır [2].

2.3.3. Yapay Sinir Ağları Modelleri

En temel ve en yaygın 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 edilip ağı ağırlıkları güncellenir [2].

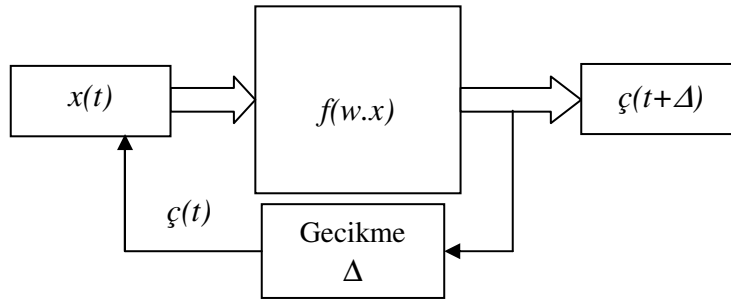


Şekil 2.10. İleri beslemeli yapı

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 $c(t)$ ise, $(t+\Delta)$ anındaki çıkışı ise $c(t+\Delta)$ 'dir. Buradaki Δ sabiti, sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları notasyonu kullanılarak $c(t+\Delta)$ aşağıdaki gibi yazılabilir.

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

Bu formül aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [2]. Dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ 'ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $c(0) = x(0)$ 'dir.



Şekil 2.11. Geri beslemeli yapı

2.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Mühendislik Alanında Kullanılması

İnsan beyni, doğumdan sonraki süreçte çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübe kazanır. 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 ağının 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 ulaşılan kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilir, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımları incelenir. Eğer yeni verilen veri örneklerine yakın sonuçlar elde ediyorsa 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 verilir ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilir ağın davranışı incelenir. Diğer bir deyişle ağ böylece test edilir [2].

Mühendislik problemlerindeki belirsizliklerin kaynağı, model ve modelin içerdiği parametreler olup söz konusu belirsizlikler genellikle olasılık teorisi ve istatistiki 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

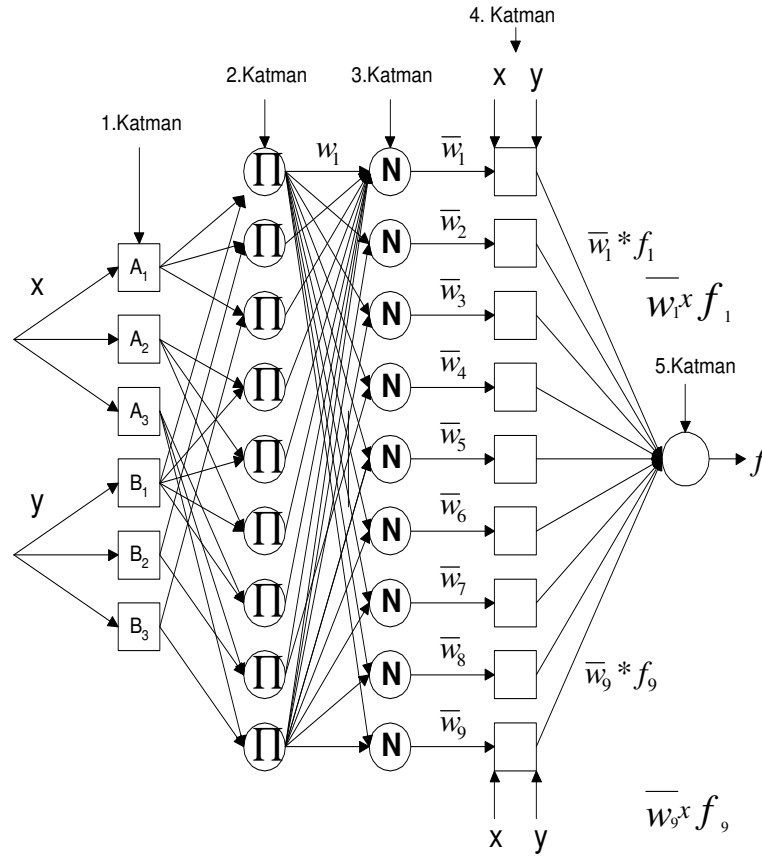
yetersiz olması önemli bir belirsizlik nedeni olmakla birlikte, çözüm sırasında yapılacak kabuller veya sadeleştirmeler de belirsizliği arttıran faktörlerdir. Bir mühendislik yapısının tasarımında karşılaşılan belirsizlikler, istatistiksel yöntemler yardımıyla göz önüne alınmasına karşılık modelin içerdiği parametrelerin rassal değişken(rasgele seçilmiş değişken) olması da başka bir belirsizlik kaynağı olarak verilebilir: Bu tür yöntemlerde, tasarım değişkenleri belirli olasılık dağılımları ile ifade edilmesine karşın değişkenlere ait istatistiksel 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 ağı eğitilmesi yoluyla problemlere çözüm getirebilmesidir. Bu nedenle yapay zeka tekniklerinin, belirsizlikler göz önüne alındığında, klasik yöntemlerin sağlayamayacağı avantajlara sahip olduğu söylenebilir [2].

2.4. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UBSA)

Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin yapısında, hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık vardır. 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 geçerlidir. X ve Y giriş, Z ise çıkış olarak alınırsa temel kural yapısı şu şekilde yazılabilir [15]

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

Burada, p ve q doğrusal çıkış parametreleridir. İki girişli ve bir çıkışlı ve her bir girişe ait üç üyeli fonksiyonuna sahip bir uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı Şekil 2.12’de görülmektedir. Bu yapı, 5 katman ve 9 adet eğer-ise kuralı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 2.12. 2 girişli 9 kuralı 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,

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

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.

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

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

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

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:

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

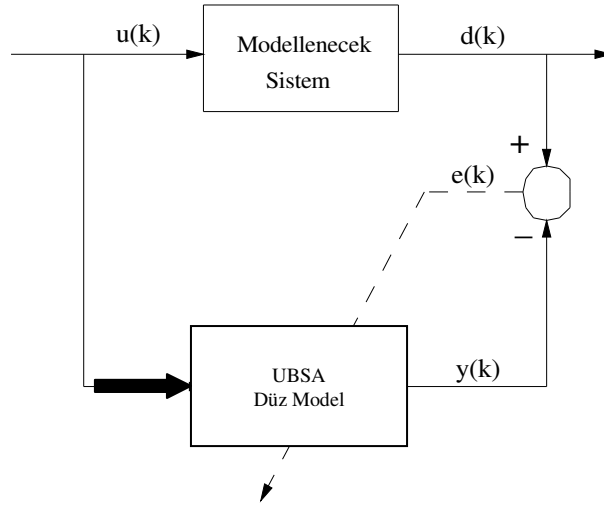
Buradaki p , q ve r lineer parametreleri sonuç parametreleri olarak adlandırılır.

5. Katman: 4. Katman çıkışlarının toplanarak UBSA'nın çıkışının sayısal değerinin bulunduğu kısımdır.

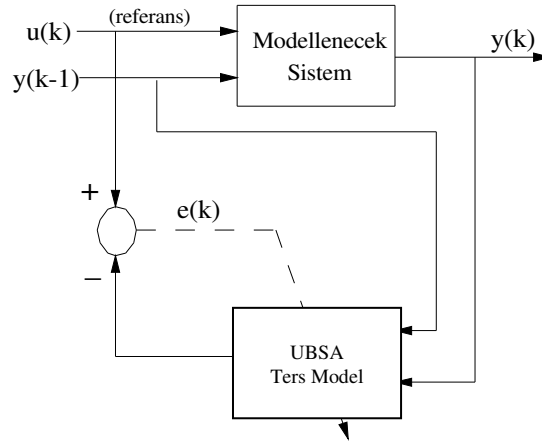
$$O_{5,i} = \text{toplam çıkış} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \quad (2.11)$$

2.4.1. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Modelleme

Sistem modellemenin yapılmasındaki temel amaç, gerçek uygulamalarda kullanılan fiziksel sistemlerin yerine bilgisayarla yapılan benzetim çalışmalarında modellerinin kullanılarak çalışmaları daha pratik ve kolay hale getirmektir. Böylelikle boyut, enerji ve maliyet açısından kullanılması çok zor olan birçok fiziksel sistem yerine, bu sistemlerin kendilerini doğru bir şekilde temsil edecek modelleri daha kolay bir şekilde kullanılabilir. Aşağıda Şekil 2.13a ve Şekil 2.13b' de bir sistemin uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile düz ve ters modellenmesi blok diyagramları verilmiştir [8].



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

Şekil 2.13. UBSA ile düz ve ters modelleme blok diyagramları

UBSA ile sistem modellemede genellikle yukarıdaki iki modelleme tekniğinden uygun olanı seçilir. Bu çalışmada, Şekil 2.13a'daki düz modelleme tekniğini kullanacağız [8].

2.4.2. UBSA Yapılarında Kullanılan Melez Öğrenme Algoritması

Kimliklendirmede kullanılan UBSA yapısına ait parametrelerin güncellenmesinde, iki aşamalı bir öğrenme algoritması olan, melez öğrenme algoritması kullanılmıştır. Melez öğrenme algoritmasında, UBSA 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 UBSA yapısına 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, doğrusal bir kombinasyonu haline gelir. Modellenecek sisteme ait P tane giriş-çıkış verisi ya da eğitim verisi ile $S1$ giriş parametrelerinin verilen değerleri kullanılarak, ağın çıkışı, matrisel formda [10],

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

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

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

Burada $A^T A$ matrisinin transpozunu ise ve eğer $A^T A$ singular değilse, $(A^T A)^{-1} A^T A$ 'nın sahte tersidir. Bunun yerine, yinelemeli olarak en küçük kareler formülü de kullanılabilir. Özel olarak, Denklem (2.13)'teki A matrisinin i . satırı a_i^T ile B matrisinin i . elemanı b_i ile gösterilsin. Bu taktirde θ vektörü, yinelemeli olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir [10].

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

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

Burada en küçük kareler tahmini θ^* , θP '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, $S2$ çıkış parametreleri sabit tutulur ve ağın çıkışındaki hata sinyali geriye doğru yayılarak, eğitim düşümü 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 ağıın çıkışındaki hata değerini göstermektedir [10].

2.5. Destek Vektör Makineleri (DVM)

Destek Vektör Makineleri (DVM), Vapnik tarafından geliştirilen ve istatistiki öğrenme teorisine dayanan yeni bir yöntemdir. İlk olarak optik karakter tanıma alanına uygulanan DVM, son otuz yılda Vapnik ve çalışma arkadaşları (Chervonenkis, Boser, Guyon, Cortes, Schölkopf) tarafından bugünkü halini almıştır. DVM yönteminde orijinal giriş uzayı, özellik uzayı olarak adlandırılan ve içerisinde sınıflandırıcının genelleme kabiliyetini arttırmak için en uygun aşırı düzlemlerin belirlendiği yüksek boyutlu bir iç çarpım uzayı üzerinde haritalandırılır. En uygun ayrıştırıcı düzlemler, matematiğin bir dalı olan optimizasyon teorisi ve bununla ilişkili olan istatistiki öğrenme teorisi kullanılarak bulunur. DVM yöntemi son yıllarda birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. El yazımı rakamların tanınması, nesne tanıma, resim ve ses tanımlama ve zaman serilerinin tahmin edilmesi DVM'nin kullanıldığı bazı alanlardır. Bu uygulama alanlarının yanı sıra, özellikle son yıllarda arıza tipi ve yerinin bulunması için de kullanılmıştır.

DVM yönteminin YSA'ya göre bazı üstün yönleri aşağıda belirtilmiştir [17].

- ✓ DVM çok az girişle öğrenebilir. YSA'da ise giriş boyutunun fazla olması öğrenmeyi olanaksız kılar ya da yavaşlatır. Çoğu DVM uygulamasında veri sayısını azaltmak için özellik çıkarma işlemine gerek duyulmaz.
- ✓ DVM'de YSA'da bulunan yerel minimum noktaları bulunmaz .
- ✓ DVM yapısal hatalı sınıflandırma riski olarak adlandırılan hatayı minimuma indirmeye çalıştığı için YSA'ya göre daha iyi bir genelleme özelliğine sahiptir.

DVM temelde ikili sınıflandırma için geliştirilen bir yöntem olmasına rağmen, arıza tipi belirlemede olduğu gibi çoğu uygulamada birden fazla sınıf mevcuttur. İki'den fazla farklı kümeyi sınıflandırmak için, birden fazla ikili DVM kullanan çok sınıflı DVM yöntemi geliştirilmiştir [17].

2.5.1.İkili DVM Sınıflandırma Algoritması

N adet gözlemden oluşan ve her biri bir bilgi çiftinden oluşan veri vektörü n - boyutlu uzayda $x_i \in R^n$ ve $i=1,2,\dots,N$ olmak üzere, veri vektörlerine karşılık gelen sınıf etiketi $y_i \in \{+1, -1\}$ olsun. Bu durumda $y_i = +1$ ise x_i I. sınıfa, $y_i = -1$ ise x_i II. sınıfa dahil edilir. Bu bilgi çiftleri eğitim grubunu oluşturmaktadır. Doğrusal olarak birbirlerinden ayrılabilen veriler için, bu verileri birbirinden ayıran bir $f(x)$ aşırı düzlemi tanımlanabilir. Bu aşırı düzlemi tanımlamak için, x_i pozitif sınıfa ait ise $f(x) \geq 0$ ve x_i negatif sınıfa ait ise $f(x) < 0$ şartı uygulanır.

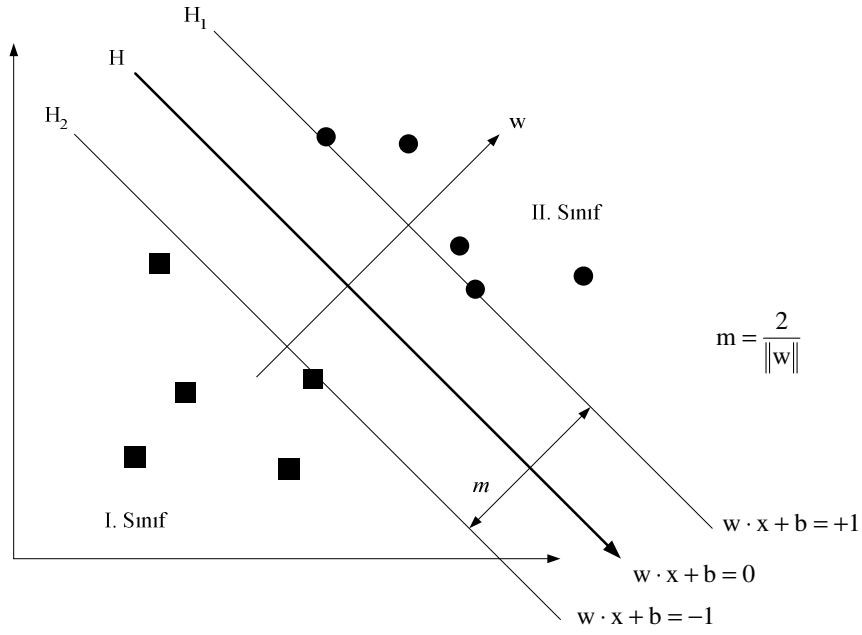
$$f(x) = w^T x + b = \sum_{j=1}^n w_j x_j + b \quad (2.17)$$

$$y_i f(x_i) = y_i (w^T x_i + b) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.18)$$

Buradaki w ; n - boyutlu bir vektör, b ise eşik değeridir. Buna ilave olarak w ve x 'in $1/|w|$ mesafesindeki aşırı düzleme en yakın nokta olma şartı getirilirse, Denklem (2.18) aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$y_i (w^T x + b) \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.19)$$

Aşırı düzlem ile en yakın noktaya mesafesi en fazla olan düzlem (maksimum aralıktaki), en uygun ayırıştırıcı aşırı düzlem olarak adlandırılır. DVM'nin genelleme kabiliyeti bu ayırıştırıcı düzlemi maksimize etmekle sağlanır. Şekil 2.14'te en uygun ayırıştırıcı düzlem görülmektedir. Buradaki m maksimum aralık, H ise en uygun ayırıştırıcı düzlemdir.



Şekil 2.14. En uygun ayırıştırıcı düzlem

En uygun ayırıştırıcı düzlem, arttırıcı yapay değişken (ζ_i) ve düzenleştirme katsayısı (C) ilave edilerek [17],

$$\text{minimize } \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^N \zeta_i \quad (2.20)$$

$$y_i (w^T x_i + b) \geq 1 - \zeta_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \text{ ve } \zeta_i \geq 0 \quad (2.21)$$

elde edilir [17]. Bu problem aşağıdaki gibi Lagrange ikilik problemine dönüştürülebilir:

$$\text{maksimize } Q(\alpha) = \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^N \alpha_i \alpha_k y_i y_k x_i x_k \quad (2.22)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i \alpha_i = 0, \quad \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.23)$$

Buradaki $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i)$ Lagrange çarpanlarıdır. Her bir örnek α_i 'ye karşılık gelmektedir. Karush-Kuhn-Tucker teoremine göre, Denklem (2.20)'deki eşitlik, giriş-çıkış çifti (x_i, y_i) için sadece $\alpha_i \geq 0$ olmak şartıyla devam ettirilir. Bu koşula uyan giriş verileri (x_i)

destek vektör olarak adlandırılır. Diğer tüm eğitim verileri ($\alpha_i = 0$) en uygun aşırı düzlemi etkilemeksizin eğitim grubundan çıkarılır. α 'nın ikili problem için en uygun çözümünün α^* olduğu varsayılırsa w ve b 'nin en uygun çözümleri [17],

$$w^* = \sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i x_i = \sum_{\text{destek vektörler}} \alpha_i^* y_i x_i \quad (2.24)$$

$$b^* = 1 - w^* x_i, \quad x_i \text{ ve } y_i = 1 \text{ için} \quad (2.25)$$

olur. Sınıflandırıcı, eğitimden sonra herhangi bir bilinmeyen x örneğini aşağıdaki karar fonksiyonu ile [17];

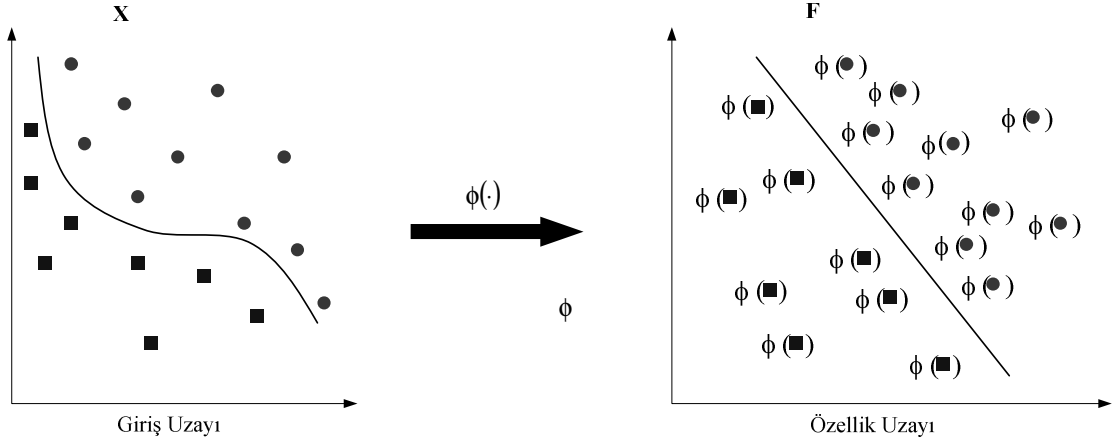
$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{j=1}^N \alpha_j^* y_j x_j + b^* \right) \quad (2.26)$$

$$x \in \begin{cases} I. \text{ sınıf} \Rightarrow f(x) = +1 \\ II. \text{ sınıf} \Rightarrow f(x) = -1 \end{cases} \quad (2.27)$$

elde edilir. DVM, doğrusal olmayan çekirdek fonksiyon tabanlı bir sınıflandırıcıdır. DVM yöntemi, daha önce de belirtildiği gibi orijinal R^n uzayındaki verileri, özellik uzayı olarak adlandırılan ve verilerin doğrusal olarak sınıflandırılabilirdiği yeni bir uzaya taşır. Şekil 2.15'te orijinal uzayın, özellik uzayına dönüştürülmesi gösterilmiştir. Doğrusal olmayan bir vektör fonksiyonu ($\phi(x) = \phi_1(x), \dots, \phi_L(x)$) kullanarak n -boyutlu giriş vektörü x 'i L -boyutlu F özellik uzayına taşıyan ikili formdaki doğrusal karar fonksiyonu [17],

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i \phi^T(x_i) \phi(x) + b^* \right) \quad (2.28)$$

yazılır. Denklem (2.21) ve (2.27)'deki optimizasyon problemleri iç çarpım kullanmaktadır. F özellik uzayında ise $\phi^T(x) \phi(z)$ iç çarpımıyla ilgilenilir. Bu iç çarpımlar, özellik uzayındaki veri sayısının çok fazla olması halinde hesaplama işlemini zorlaştırır. Bu problemin üstesinden gelmek için $\phi^T(x) \phi(z)$ iç çarpımının yerine, $K(x, z) = \phi^T(x) \phi(z)$ gibi bir çekirdek fonksiyonu kullanılır [17].



Şekil 2.15. Giriş uzayının özellik uzayına taşınması

Çok kullanılan önemli bazı çekirdek fonksiyonları Tablo (2.4)'de verilmiştir [17]. Çekirdek fonksiyonunu kullanarak, Denklem (2.27)'deki karar fonksiyonu,

$$f(x) = \text{sign} \sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i K(x_i, x) + b^* \quad (2.29)$$

olur. Doğrusal olmayan bir çekirdek fonksiyonu kullanılarak çözülen, Denklem (2.28) eşitliği sonucunda, x eğitim örneğinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için sınır şartları [17];

$$x \in \begin{cases} I. \text{ sınıf} \Rightarrow f(x) = +1 \\ II. \text{ sınıf} \Rightarrow f(x) = -1 \end{cases} \quad (2.30)$$

olarak yazılır.

Tablo 2.4. Yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları

Polinomial	$K(x, z) = (x^T z + 1)^m$
Radyal tabanlı	$K(x, z) = \exp \left(-\frac{\ x - z\ ^2}{2\sigma^2} \right)$
Sigmoid	$K(x, z) = \tanh [b(x, z) - c]$

Tablo (2.4)'deki

- m ; polinomial çekirdek fonksiyonunun derecesi,
- σ ; radyal tabanlı fonksiyonun genişliği
- c ; kullanıcı tarafından belirlenen sabit bir değerdir[17].

2.5.2. Çok Sınıflı DVM Sınıflandırma Algoritması

DVM yöntemi, önce ikili sınıflandırma için geliştirilmiştir. Uygulamalardaki sınıflandırma problemlerinin büyük çoğunluğu ikiden fazla sınıftan oluştuğu için, çok sınıflı bir DVM sınıflandırıcısına ihtiyaç duyulmuştur. Çok sınıflı sınıflandırma, ikili sınıflandırıcıların birleştirilmesiyle elde edilebilir. Sınıflandırılabilir k -sınıflı bir problem ikili sınıflandırıcılar kullanılarak sınıflandırılabilir. Çok sınıflı sınıflandırma için tavsiye edilen pek çok DVM sınıflandırma yöntemi vardır. Bunlardan en önemlileri, bire-karşı-diğer (BKD) ve bire-karşı-bir (BKB) yöntemleridir [17].

BKD yönteminde, eğitim verisini ikili DVM ile ayırabilen k adet sınıflandırıcı oluşturur. Bu sınıflandırıcılardan her biri; bir grubu, geriye kalan diğer sınıflardan ayırır. Bu işlem, tüm sınıflandırıcılar kullanılana kadar devam ettirilir ve tüm sınıflandırıcıların ikili sınıflandırma sonuçları birleştirilerek karar işlemi yerine getirilir.

BKB yönteminde ise, k -sınıflı bir sınıflandırma problemi için $M = k(k-1)/2$ adet sınıflandırıcı oluşturulur. Bu sınıflandırıcılar i . ve j . sınıflara ait veriler ile eğitilir. BKB yönteminde ikili sınıflandırma problemi [17],

$$\min_{w^{ij}, b^{ij}, \xi_n^{ij}} \frac{1}{2} (w^{ij})^T w^{ij} + C \sum_t \xi_n^{ij} (w^{ij})^T$$

$$(w^{ij})^T K(x, z) + b^{ij} \geq 1 - \xi_n^{ij}, \quad y_n = i \text{ ise}, \quad (2.31)$$

$$(w^{ij})^T K(x, z) + b^{ij} \leq 1 - \xi_n^{ij}, \quad y_n = j \text{ ise},$$

$$\xi_n^{ij} \geq 0$$

çözülerek elde edilir. Buradaki:

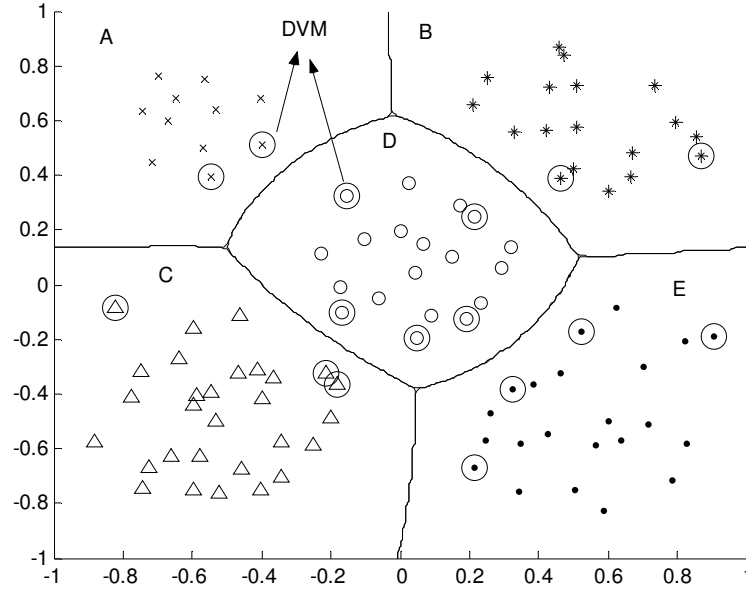
$K(x, z)$: Çekirdek fonksiyonu,

(x_n, y_n) : i . ya da j . eğitim örneği,

b : Eşik değeri,

C : Düzenleştirme faktörüdür.

Eğitim örneklerinin hangi sınıfa ait olduğunu bulmak için bir yarışma stratejisi uygulanır. Eğer bir x eğitim örneğinin i . sınıfa ait olduğuna karar verilirse, i . sınıfın puanı 1 artırılır. Aksi durumda j . sınıfın puan hanesine 1 eklenir. Bu yarışma stratejisi sonucunda, hangi sınıfın puanı daha fazla ise x eğitim örneğinin kesin olarak o sınıfa ait olduğuna karar verilir. Şekil 2.16'da beş farklı sınıfın BKB yöntemi ile sınıflandırılması gösterilmiştir [17].



Şekil 2.16. Beş farklı sınıfın BKB ayrışımı kullanan çoklu-sınıf DVM ile sınıflandırılması

Şekil 2.16'daki beş farklı sınıftan oluşan sınıflandırma problemini çözmek için BKB yöntemi $M = k(k-1)/2 = 10$ adet sınıflandırıcı kullanmıştır. BKB yönteminde kullanılan sınıflandırıcı sayısı $k \geq 3$ olması durumunda, BKD yöntemine göre daha fazla olmasına rağmen $(M = k(k-1)/2 \geq k)$ 'dir. BKD yöntemi her örnek için geriye kalan tüm veri grubunu eğittiğinden eğitimi daha yavaştır [17].

2.5.3. DVM Yönteminin Regresyon için Kullanılması

DVM yöntemi daha çok sınıflandırmada kullanılmasına rağmen, regresyon problemlerinin çözümünde de kullanılır. Bu durumda DVM algoritması, özellik uzayında doğrusal bir yapı oluşturmayı amaçlar. DVM'nin öğrenmesi, hata fonksiyonunun ε - duyarsız kayıp fonksiyonu $L_\varepsilon(u, f(x))$ 'e bağlı olarak minimize edilmesiyle elde edilir. ε - duyarsız kayıp fonksiyonu [17],

$$L_\varepsilon(u, f(x)) = \begin{cases} |u - f(x)| - \varepsilon, & |u - f(x)| \geq \varepsilon \text{ için} \\ 0, & |u - f(x)| < \varepsilon \text{ için} \end{cases} \quad (2.32)$$

olarak yazılır. Buradaki ε varsayılan doğruluk, u hedef, x giriş vektörü ve $f(x)$ DVM'nin gerçek çıkışıdır. DVM'nin gerçek çıkışı:

$$f(x) = \sum_{j=0}^N w_j x_j + b_j = w^T x + b \quad (2.33)$$

Burada; $w = [w_0, w_1, \dots, w_N]^T$ ağırlık vektörü, N örnek sayısı ve x giriş veri grubudur. Öğrenme işlemi, hata fonksiyonu E 'nin minimize edilmesiyle [17],

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_\varepsilon(u_i, f(x_i)) \quad (2.34)$$

elde edilir. Öğrenme problemi, ζ_i ve ζ_i^* yapay değişkenlerini kullanarak aşağıdaki gibi bir değer işlevinin minimize edilmesiyle,

$$\theta(w, \zeta, \zeta^*) = C \sum_{i=1}^N (\zeta_i + \zeta_i^*) + \frac{1}{2} w^T w \quad (2.35)$$

olarak tanımlanabilir. Bu eşitlik için sınır şartları [19];

$$\begin{aligned} u_i - w^T x_i &\leq \varepsilon + \zeta_i \\ w^T x_i - u_i &\leq \varepsilon + \zeta_i^* \\ \zeta_i, \zeta_i^* &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.36)$$

şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki eşitliklerde yer alan ε ve C ifadeleri kullanıcı tarafından belirlenen iki bağımsız değişken olup, özellik uzayı boyutlarının düzenlenmesinde kullanılırlar. Optimizasyon probleminin çözümü Lagrangian işleviyle olur. Lagrangian çarpanları $\alpha_i, \alpha_i^* (i=1, 2, \dots, N)$ işlevsel sınırlamalar için kullanılır. İkili problem için kullanılan Lagrangian fonksiyonunun maksimize edilmesiyle;

$$\max \sum_{i=1}^N u_i (\alpha_i - \alpha_i^*) - \varepsilon \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \alpha_i^*) \pm \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x, z) \quad (2.37)$$

elde edilir. Burada sınır şartları,

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) &\geq 0 \\ 0 &\leq \alpha_i \leq C, \\ 0 &\leq \alpha_i^* \leq C \end{aligned} \quad (2.38)$$

olarak yazılır. $K(x, z) = \phi^T(x) \phi(z)$ Mercer teoremine uygun olarak tanımlanan iç çarpım çekirdek fonksiyonudur. İkili problemin çözümüyle, w ağırlık vektörü için en uygun çözüm [17];

$$w = \sum_{i=1}^N (\alpha_{i0} - \alpha_{0i}^*) \phi(x_i) \quad (2.39)$$

olarak bulunur. Destek vektör sayısı, değeri 0 olmayan Lagrange çarpanlarının sayısı kadardır. DVM'nin çıkış fonksiyonu olan $f(x)$, Lagrange çarpanları ve çekirdek fonksiyonuna bağlı olarak,

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, z) + b_i \quad (2.40)$$

bulunur. DVM'de dikkat edilmesi gereken en önemli husus, ε ve C değişkenlerinin seçimidir. ε sabiti, içerisinde hatanın ihmal edildiği aralığı belirtir. Bu sabitin küçülmesiyle DVM'nin bulacağı destek vektör sayısı artar. C düzenleme sabiti, ise ağırlık vektörü ile karakterize edilen sistem karmaşıklığı ve duyarsız değişkenler ile ölçülen tahmin hataları arasındaki düzeni sağlar. Bu değişkenlerin en uygun değerlerde kullanılması, DVM'nin başarısında oldukça etkilidir [17].

3. SERBEST YÜZEYLİ AKIMLARDA HAVALANDIRMA

3.1. Suların Havalandırılması

Bizim tatlı su hidrosferinde, nehir, göl ve rezervuarlarda en önemli su kalite parametrelerinden biri, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonudur. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sudaki çözünmüş oksijenin miktarıdır. Su kalitesinin artırılmasında, çözünmüş oksijenin varlığıyla yakın bir bağlantı vardır. Daha yüksek bir çözünmüş oksijen seviyesi, daha iyi bir su kalitesini gösterir. Yüzey sularındaki oksijen konsantrasyonu; suyun kalitesinin, insan yaşamının ve aynı zamanda suda yaşayan canlıların yaşamı için en önemli göstergedir. Kirli sulardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu suyun kirlilik oranının da göstergesidir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu ne kadar azsa, su o kadar kirlidir denilebilir.

Suda çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltıcı birçok doğal, biyolojik ve kimyasal olay meydana gelir. Bu biyolojik olay ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Fiziksel olarak oksijen transfer işlemi; atmosferdeki hareketlerle oksijenin alınarak yeniden suya kazandırılmasıdır ki; buna “havalandırma” veya “yeniden havalandırma” adı verilmektedir [18].

Suların havalandırılması aşağıdaki durumlarda söz konusudur:

- ❖ **Oksijen kazandırmak:** Demir (Fe^{++}) veya Mangan (Mn^{++})’ın oksidasyonu veya Amonyum (NH_4^+)’un giderilmesi, biyolojik tasfiye, nehir veya göllerde çözünmüş oksijen standartlarının karşılanabilmesi.
- ❖ **Karbondiyoksit gidermek veya kazandırmak:** Karbondiyoksit (CO_2)’in bazen sudan giderilmesi bazen de suya verilmesi gereklidir. Sudaki bu karbondiyoksit dengesinin sağlanması için.
- ❖ **Metanın giderilmesi:** Anaerobik ayrışmanın ürünlerinden metan gazının sudan giderilmesi için.
- ❖ **Uçucu yağlar ve kimyasal maddelerin giderilmesi:** Bu maddeler suya kötü koku ve tat verdiklerinden ve sağlığa zararlı oldukları için.

- ❖ **Hidrojen sülfür gidermek:** Suda istenmeyen koku ve tadın giderilmesi, metallerin korozyonunun azaltılması ve çimentonun ayrışmasının önlenmesi için [19].

Günümüzde çeşitli nedenlerle akarsularda oluşan çözünmüş oksijen eksikliğinin ekolojik dengeyi olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu doğrultuda ekolojik dengeyi korumak amacıyla, akarsularda gerekli olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (5 mg / l) sağlanmalıdır. Akarsular üzerinde inşa edilecek olan hidrolik yapılar ile havalandırma yapılararak gerekli çözünmüş oksijen konsantrasyonu suya kazandırılabilir. İnce kenarlı veya kalın kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolusavaklar, kapaklı eşikler ve kapaklı dipsavak çıkış ağızları gibi hidrolik yapılar ile havalandırma kolay bir şekilde yapılabilir. Bu yapılar ileriki kısımlarda resimlerle desteklenerek açıklanmıştır [18].

Hızlı oksijen transferinin başlıca nedeni; havanın, kabarcıklarla akım içine katılımıdır. Oksijen transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının suya kazandırılması gerekmektedir. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut olan yüzey alanını artırır. Bu nedenle oksijen transferi hızlı bir şekilde gerçekleşir. Hidrolik yapılar ile bir düşü yüksekliği kazandırılmış suyun, mansap tarafındaki su yüzeyine çarptırılması sonucu atmosferden emilen hava, oluşan hava kabarcıkları şeklinde su içerisine aktarılır. Böylece suya hızlı bir şekilde oksijen kazanımı sağlanmış olur. Hidrolik yapılarla yapılan oksijen transferinin verimi (havalandırma verimi); su kalitesi, su sıcaklığı, mansap su derinliği, suyun düşme (düşü) yüksekliği, çözünmüş oksijen eksikliği ve hidrolik yapı tipi gibi ana parametrelere bağlıdır. Bu parametreler, ileriki kısımlarda açıklanmıştır.

Hidrolik yapılarla yapılan havalandırmadan farklı havalandırma yöntemlerinde, su ve basınçlı hava pompalamak için kullanılacak elektrik enerjisi, işletme maliyetini attıracağından hidrolik yapılar ile havalandırmanın daha ekonomik olduğu söylenebilir. Birçok akarsuda doğal ortamda oksijen transferi için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu akarsular üzerinde yapılacak olan bir tek hidrolik yapı ile oksijen transferi çok kısa bir mesafede, çok hızlı bir şekilde ve düşük bir maliyetle gerçekleştirilebilir [18].

3.2. Gaz Transferi

Sularda gaz transferi; suya klor, çözünmüş oksijen v.b. 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

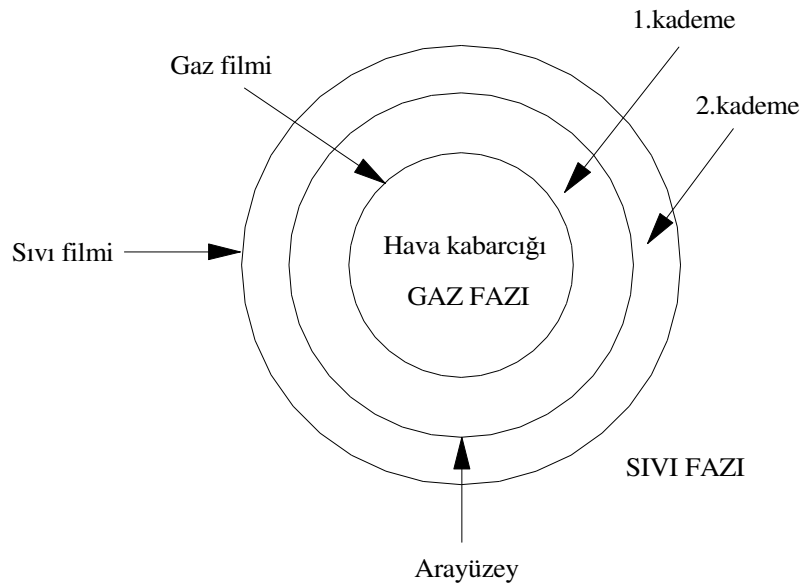
meydana gelinceye kadar devam eder. Denge durumunda sıvı içindeki gaz konsantrasyonu doymun durumdadır.

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 arayüzeyin her iki tarafından film içerisinde gerçekleşir.

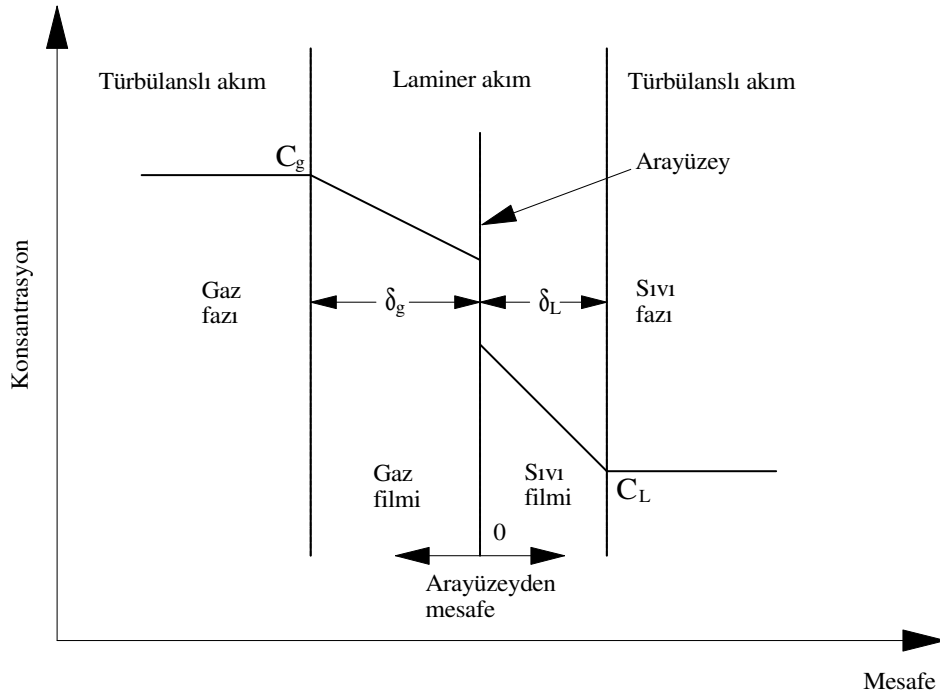
Gaz transferinin mekanizmasını izah için çift film teorisi, penetrasyon teorisi ve yüzey yenilenme teorisi gibi teoriler geliştirilmiştir. Gaz-sıvı transfer işlemlerinde arayüzeyin her iki tarafındaki direnci hesaba katmak için çift film teorisi kullanılır. Aşağıdaki kısımda bu teori incelenmiştir [18].

3.3. Çift Film Teorisi

Bu teoriye göre gaz-sıvı arayüzeyinde Şekil 3.1.a-b’de görüldüğü gibi iki ince tabaka mevcuttur. Bunların dışında sıvı ve gaz fazları bulunur. 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 sıvı filminden, sıvıda çözünürlüğü çok olan gazlar ise gaz filminden esas direnci görürler. Sıvı içinde çözünürlüğü orta düzeyde olan gazlar ise her iki film tabakasında da önemli bir geçiş direnci ile karşılaşılır [18].



(a)Gaz transferine ait çift film teorisinin mekanizması



(b)Gaz transferine ait çift film teorisinin grafiksel gösterilişi

Şekil 3.1. Gaz transferine ait çift film teorisinin mekanizması ve grafiksel gösterilişi

Suların havalandırılması sistemlerinde 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 [18].

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

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 (m²), C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doymunluk 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 (3.1) nolu denklem' de yerine yazılıp düzenlenirse;

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

elde edilir. Suların havalandırılması işlemlerinde gaz transferinde esas direnç, sıvı tarafı filmi içerisinde olduğundan, 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 (3.3) nolu denklem, şu şekilde yazılır:

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

Burada; $\frac{dC}{dt}$ = konsantrasyon değişim hızı ($mg / l.s$), $K_L a$ = kütle transfer katsayısı, C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doymunluk konsantrasyonu (mg / l) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg / l) göstermektedir. $K_L a$ zamanın fonksiyonudur. (3.4) nolu denklem'in hidrolik yapının membaındaki bir noktadan mansaba doğru integre edilmesinden aşağıdaki denklem elde edilir.

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

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) [18]. C_u ile C_d deneysel olarak ölçülür ve C_s ise literatürdeki denklemler veya tablolar yardımıyla bulunur.

Çözünmüş oksijen doymunluk konsantrasyonu; sıcaklığa ve klorür konsantrasyonuna bağlı olarak hazırlanmış aşağıdaki tablodan alınabilir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. 760 mm Hg basıncında ve % 20.90 nispetinde oksijen ihtiva eden kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları (mg/l) [20].

Sıcaklık (°C)	Klorür Konsantrasyonu (mg/l)				
	0	5000	10000	15000	20000
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.98
11	11.08	10.49	9.92	9.35	8.80
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84
18	9.54	9.07	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.42	7.99	7.57	7.14
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.74
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13

Yükseklere çıkıldıkça çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu azalmaktadır. Aşağıdaki tabloda deniz seviyesinden (760 mm Hg) yükseklerdeki çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları verilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Deniz seviyesinden yükseklerde Ç.O. doygunluk konsantrasyonunun değişimi [21].

°C	Deniz Seviyesinin Üzerindeki Yükseklikler (m)							°F
	0	300	600	900	1200	1500	1800	
0	14.6	14.1	13.6	13.2	12.7	12.3	11.8	32.0
2	13.8	13.3	12.9	12.4	12.0	11.6	11.2	35.6
4	13.1	12.7	12.2	11.9	11.4	11.0	10.6	39.2
6	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.1	42.8
8	11.8	11.4	11.0	10.6	10.3	9.9	9.6	46.4
10	11.3	10.9	10.5	10.2	9.8	9.5	9.2	50.0
12	10.8	10.4	10.1	9.7	9.4	9.1	8.8	53.6
14	10.3	9.9	9.6	9.3	9.0	8.7	8.3	57.2
16	9.9	9.7	9.2	8.9	8.6	8.3	8.0	60.8
18	9.5	9.2	8.7	8.6	8.3	8.0	7.7	64.4
20	9.1	8.8	8.5	8.2	7.9	7.7	7.4	68.0
22	8.7	8.4	8.1	7.8	7.7	7.3	7.1	71.6
24	8.4	8.1	7.8	7.5	7.3	7.1	6.8	75.2
26	8.1	7.8	7.5	7.3	7.0	6.8	6.6	78.8
28	7.8	7.5	7.3	7.0	6.8	6.6	6.3	82.4
30	7.5	7.2	7.0	6.8	6.5	6.3	6.1	86.0
32	7.3	7.1	6.8	6.6	6.4	6.1	5.9	89.6
34	7.1	6.9	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	93.2
36	6.8	6.6	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	96.8
38	6.6	6.4	6.2	5.9	5.7	5.6	5.4	100.4
40	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	104.4

Suyun tuzluluğu, çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunu etkileyen parametrelerden biridir. Su tuzluluğunun (g/l) artışına bağlı olarak çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu düşecektir. Tablo (3.3)'de, deniz seviyesinde tuzluluğa bağlı olarak ÇO doygunluk konsantrasyonu değişimi verilmiştir.

Tablo 3.3. Deniz seviyesinde tuzluluğun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi [21].

°C	Deniz Seviyesinde Tuzluluk (g / l)					°F
	0	10	20	30	35	
10	11.3	10.6	9.9	9.3	9.0	50.0
12	10.8	10.1	9.5	8.9	8.6	53.6
14	10.3	9.7	9.1	8.6	8.3	57.2
16	9.9	9.3	8.7	8.2	8.0	60.8
18	9.5	8.9	8.4	7.9	7.6	64.4
20	9.1	8.5	8.0	7.6	7.4	68.0
22	8.7	8.2	7.8	7.3	7.1	71.6
24	8.4	7.9	7.5	7.1	6.9	75.2
26	8.1	7.6	7.2	6.8	6.6	78.8
28	7.8	7.4	7.0	6.6	6.4	82.4

3.4. Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun doymuluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneği olarak tanımlanır. Hidrolik yapılardaki oksijen transfer verimini belirlemek için genellikle aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır [18].

- 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 doymuluk konsantrasyonu
- Su sıcaklığı'dır.

(3.5) nolu denklem, oksijen transfer verimi olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

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

Burada; E = oksijen transfer verimidir. $E = 0$ değeri, yapıda oksijen transferinin olmadığını ve $E = 1$ değeri, mansap suyunun doymuluğa ulaştığını gösterir. $E > 1$ değerleri ise mansap suyunun aşırı doymuluğa 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.

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

Gulliver ve diğ. [22], oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini (3.8) nolu denklem ile ifade etmişlerdir.

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/f} \quad (3.8)$$

veya

$$E_{20} = 1 - (1 - E)^{1/f} \quad (3.9)$$

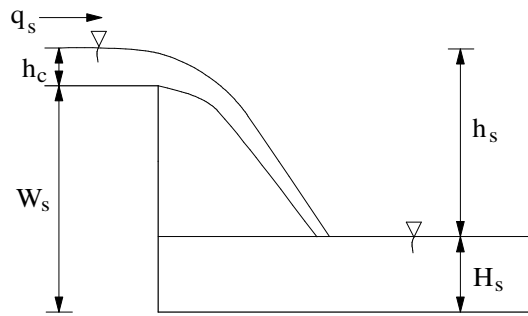
şeklinde yazılabilir. Burada " f " değeri aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T - 20)^2 \quad (3.10)$$

(3.8) nolu denklem' de, 0°C - 40°C arasındaki sıcaklıklarda % 0.03 gibi oldukça küçük bir maksimum hata meydana geldiğinden kullanılması önerilmektedir [18]. Denklem analiz edildiğinde, oksijen transferinin sıcaklıkla ters orantılı olduğu, yani, sıcaklık arttığında suya oksijen girişinin azaldığı görülmektedir.

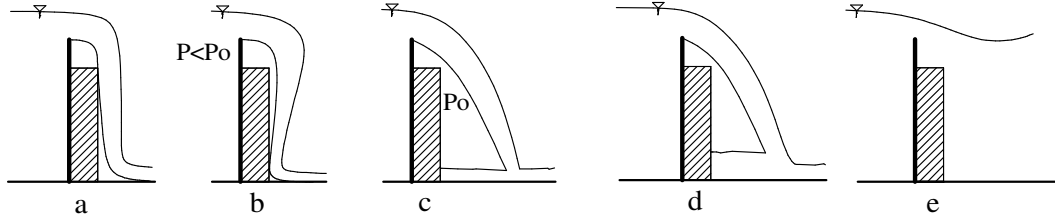
3.5. Savak Havalandırıcılar

Havalandırma ile sulardaki çözünmüş oksijen miktarını arttıracak hidrolik yapılardan biri; kalın kenarlı veya ince kenarlı savaklardır. Şekil 3.2'de bir savağın hidrolik boyutları görülmektedir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te görülen savaklarda, suyun membardan mansaba düşme yüksekliğinin belirli bir kritik değeri aşması sonucu, serbest düşen su jeti parçacıklar halinde düşmekte ve mansapta küçük bir penetrasyon (nüfuz) 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.



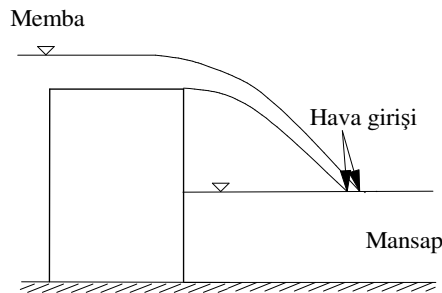
Şekil 3.2. Bir savağın hidrolik boyutları

Bir savak kısmen bir orifis sayılabilir. Eşiğin suya temas eden kısmının boyutları, eşik üstünden geçen su napının kalınlığına nazaran ihmal edilebilecek gibi ise savak “ince kenarlı”, değilse “kalın kenarlı” adını almaktadır. Memba tarafında, yaklaşma bölgesinden uzakta, serbest su yüzeyi kotu ile savak kret kotu arasındaki fark su yükünü (h) vermektedir [18].

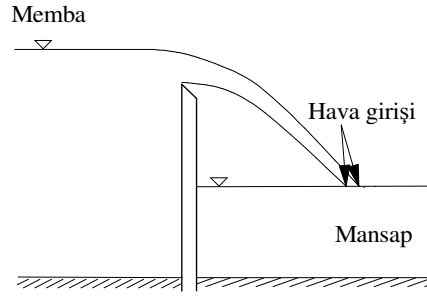


Şekil 3.3. Savak üzerindeki su napının değişimi

Küçük yüklerde su napı savak cidarına yapışır ve havanın altından geçmesine engel olur (Şekil 3.3a). Yük artarsa, nap cidardan ayrılmaya yönelir; bu durumda hava yeterli miktarda giremiyorsa napın altında kararsız bir bölge oluşur ve “alçak basınçlı nap” adını alır (Şekil 3.3b). Hava napın altına serbestçe girebiliyor ve akım tarafından sürüklenen havanın devamlı olarak yeri dolduruluyorsa “serbest nap” meydana gelir (Şekil 3.3c). Sürüklenen havanın yeri herhangi bir sebepten dolayı tamamen dolduruluyorsa dökülen napın membaındaki su seviyesinde bir yükselme görülür ve “alttan batmış nap” adını alır (Şekil 3.3d). Mansap tarafındaki seviye arttırılırsa “batmış nap” meydana gelir (Şekil 3.3e).



Şekil 3.4. Kalın kenarlı savak



Şekil 3.5. İnce kenarlı savak

Tsang [31], savaktan düşen bir su jetini esas alarak dört basit hava giriş mekanizması tanımlamıştır. Tsang'ın hava giriş mekanizmaları; pürüzlü jet, pürüzsüz jet, dalgalı jet ve parçalı jet'tir. Küçük düşme yüksekliklerinde oluşan pürüzlü yüzeyi ile savaktan çıkan bir su jeti. Biraz daha büyük düşme yüksekliklerinde jet yüzeyi pürüzlenir, mansap havuzunda oksijen alımında jet su yüzeyinde küçük dalgalanmalar oluşturur, su yüzeyi bozulur. Su hacmi ile pürüzlü jet yüzeyi arasında tutulmuş hava keselerinin arttığı düşünülür. Daha yüzeysel hava kabarcıklarının olduğu bir akıştaki hava giriş debisi, pürüzlü jet ile karşılaştırılmış ve pürüzlü jette oksijen giriş debisi oranının arttığı saptanmıştır. Çünkü hava kabarcıkları pürüzlü jette daha yoğundur. Su yapılarında büyük debilerde ince hava katmanı olarak düşünülen su jeti, büyük bir kuvvetle suyun yüzeyine çarptırılmış ve hava giriş kapasitesinin sınırlandığı görülmüştür.

Düşme yüksekliğinin artırılmasıyla, jet dalgalanmaya başlar. İlk hava kaynakları, su yüzeyi ile dalgalı jet arasında büyük hava keseleriyle tutulur. Havuz yüzeyi şiddetlice çalkalanır ve hava sıçrama ve dairesel hareketlerle tutulur. Ve büyük hava keseleri, yeterli türbülansla yeterli derinlikteki mansap suyu içine geçiş yapar.

Daha büyük bir yüksek düşüşle, jet parçalı düşerek kırılır, havuz yüzeyi şiddetlice sallanır ve jet parçaları havuz yüzeyine çarparak hava keseciklerini suyun içine alır. Hava dalgalı yüzey hareketleriyle tutulur. Hava kabarcıkları, genellikle sadece belirli bir derinliğe kadar ulaşır. Ayrıca parçalı jetler, kesintisiz jetlere göre avantaja sahiptir. Bununla birlikte, düşme esnasında hava giriş debisi Q_h ve kabarcık emilimi önemli miktarda azalır, çünkü düşme esnasında atmosferik çevrede enerji kaybı olur (Şekil 3.6) [32 ve 33].

Baylar ve Bağatur [34], ince kenarlı savak tipine bağlı olarak mansap havuzunda hava giriş debisi ve oksijen transfer verimini tayin etmek amacıyla bir dizi araştırma yapmıştır. Savak tipine bağlı olarak hava giriş debisi ve oksijen transfer verimlerinde önemli farklar meydana gelmiştir. Araştırmacılar, diğer tiplere göre daha yüksek verime sahip olan üçgen savaklarda hava giriş debisi ve oksijen transfer verimini tayin etmek için Denklem (3.15) ve (3.16)'yı geliştirmişlerdir.

$$Q_h = \left[0.171 h^{-0.293} Q_s^{-0.158} \left(\cos \frac{\theta}{2} \right)^{-0.172} \right]^{-4.598} \quad (3.11)$$

$$E_{20} = 1 - \left[1 + 0.149 h^{1.341} Q_s^{-0.280} \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{-0.206} \right]^{-1} \quad (3.12)$$

Burada;

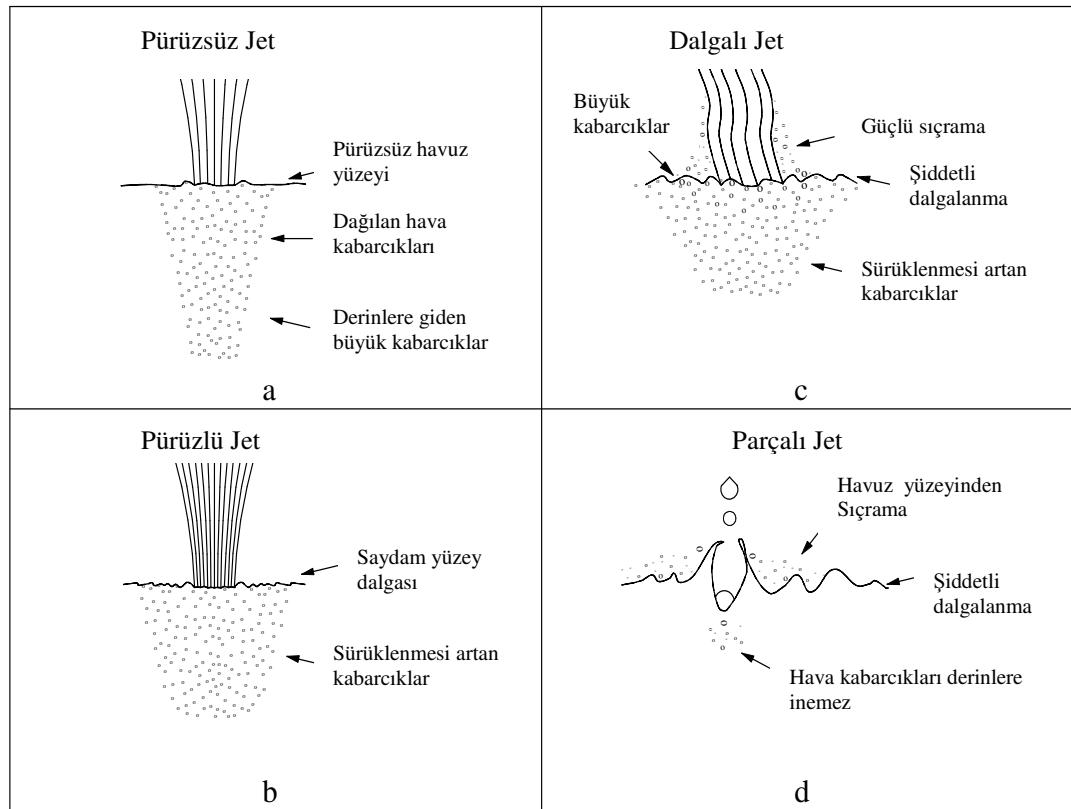
Q_h : Mansap havuzuna giren hava debisi (m^3/sn),

E_{20} : 20 °C su sıcaklığındaki oksijen transfer verimi,

h :Düşü yüksekliği (m),

Q_s : Su debisi (m^3/sn),

θ :Üçgen savak tepe açısıdır (derece).

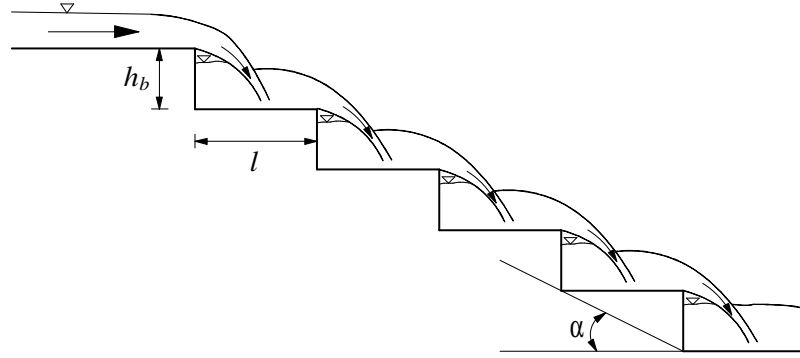


Şekil 3.6. Savaklarda hava girişi mekanizması

3.6. Basamaklı Kaskat Havalandırıcılar

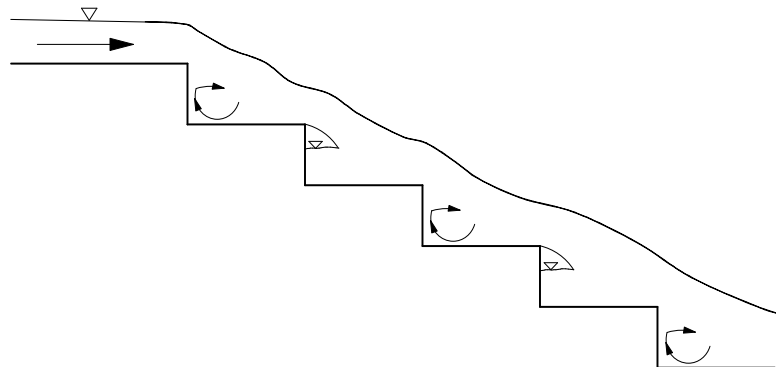
Basamaklı kaskatlar üzerindeki akım “ **nap akımı** ” ve “ **sıçramalı akım** ” olarak iki ana bölümde incelenebilir. Nap akımdan sıçramalı akıma bir “ **geçiş rejimi** ” ile geçilir. Basamaklı kaskatlarda, ana hava sürüklenme mekanizmaları; nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimlerinde gerçekleşir.

Nap akımı; bir basamağın ucundan çıkan serbest düşülü jetin, bunu izleyen bir sonraki basamağa çarparak tam veya kısmi hidrolik sıçramalarla meydana geldiği akım türüdür. Şekil (3.7)’de gösterilen bu akım türü, küçük debi ve düşük eğimli kanallarda gözlenir [36].



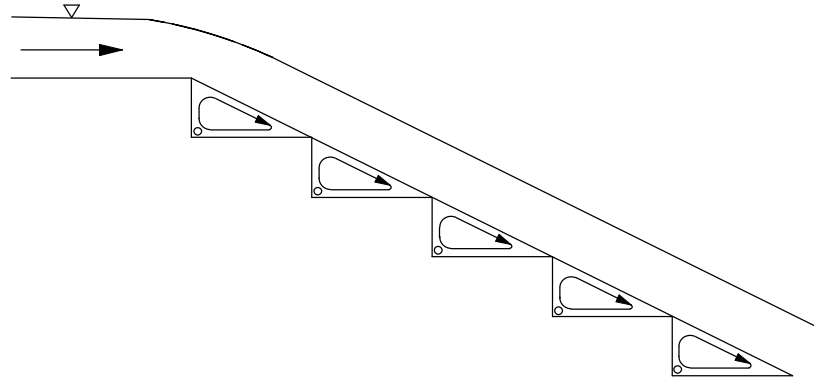
Şekil 3.7. Nap akımı

Nap akım rejimi ile sıçramalı akım rejimi arasında geçiş rejimi olarak adlandırılan bir akım rejimi oluşmaktadır. Akım, geçiş rejimi sırasında nap akım özelliğini kaybetmiş ancak sıçramalı akım özelliğini tam olarak kazanmamıştır. Basamak iç köşelerinde hava boşlukları bulunmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Nap akımından sıçramalı akıma geçiş rejimi

Sıçramalı rejimde akım, basamakların üzerinden sekip basamak boşluğu ve akım arasındaki bölgede oluşan çevrıntiler ile yastıklanır. Basamakların dış uçlarının birleşim yerlerinden geçen, akımın üzerinden sekip geçeceği izafi bir taban oluşur (Şekil 3.9). Büyük debi ve yüksek eğimli kanallarda gözlenir [36].



Şekil 3.9. Sıçramalı Akım

Sıçramalı akımın başlaması için çeşitli tarifler verilmiştir. Bir görüşe göre, basamaktan ayrılan su jeti bir sonraki basamağa çarptığında yatayla oluşan açı, kanalın yatayla yaptığı açı ile eşit olduğunda sıçramalı akım başlamıştır [37]. Nap akımın bitişi Denklem (3.13) ve sıçramalı akımın başlangıcı Denklem (3.14) ile aşağıda verilmiştir, iki denklem arasında kalan bölge geçiş rejimine aittir.

$$(h_c / h_b) = [(1 / 0.405) (h_b / l)]^{(-1 / 0.62)} \quad (3.13)$$

$$(h_b / l) = [0.89 (h_c / h_b)^{-1} - (h_c / h_b)^{-0.34} + 1.5]^{1/2} \quad (3.14)$$

Denklemlerde; h_c kritik derinlik, h_b basamak yüksekliği, l basamak uzunluğudur.

Sıçramalı akımın başlamasıyla ilgili diğer bir görüşe göre, basamakların iç köşelerinde, izafi - tabanın altında kalan boşluk tamamen su ile dolduğunda ve bu su çevrinti oluşturduğunda sıçramalı akım başlamıştır [38]. Chanson, sıçramalı akımın başlaması ile ilgili. önerdiği bu tanımları deneyler ile elde ettiği sonuçlar ile birleştirerek Denklem (3.15)'i önermiştir. Söz konusu denklem kanal eğimi $0.2 < (h_b / l) < 1.2$ (başka bir deyişle $11^\circ < \alpha < 52^\circ$) iken geçerlidir. α , basamaklı kanalın yatayla yaptığı açıdır.

$$(h_c / h_b) = [1.1 - 0.4 (h_b / l)] \quad (3.15)$$

Nap akımından sıçramalı akıma geçişte;

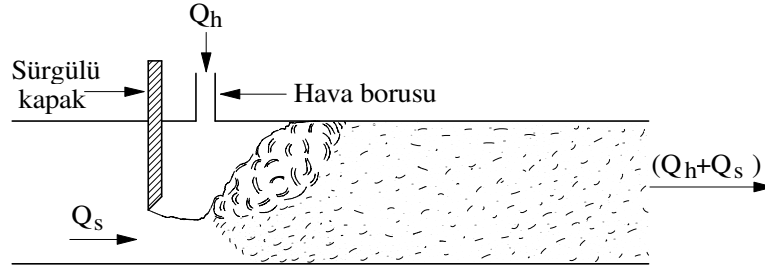
$$(h_c / h_b) = [0.91 - 0.14 \tan \alpha] \quad 26^\circ < \alpha < 55^\circ \text{ için,} \quad (3.16)$$

formülü en çok kullanılan denklemlerdendir. $\tan \alpha = (h_b / l)$ dir.

3.7. Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduit Havalandırıcılar

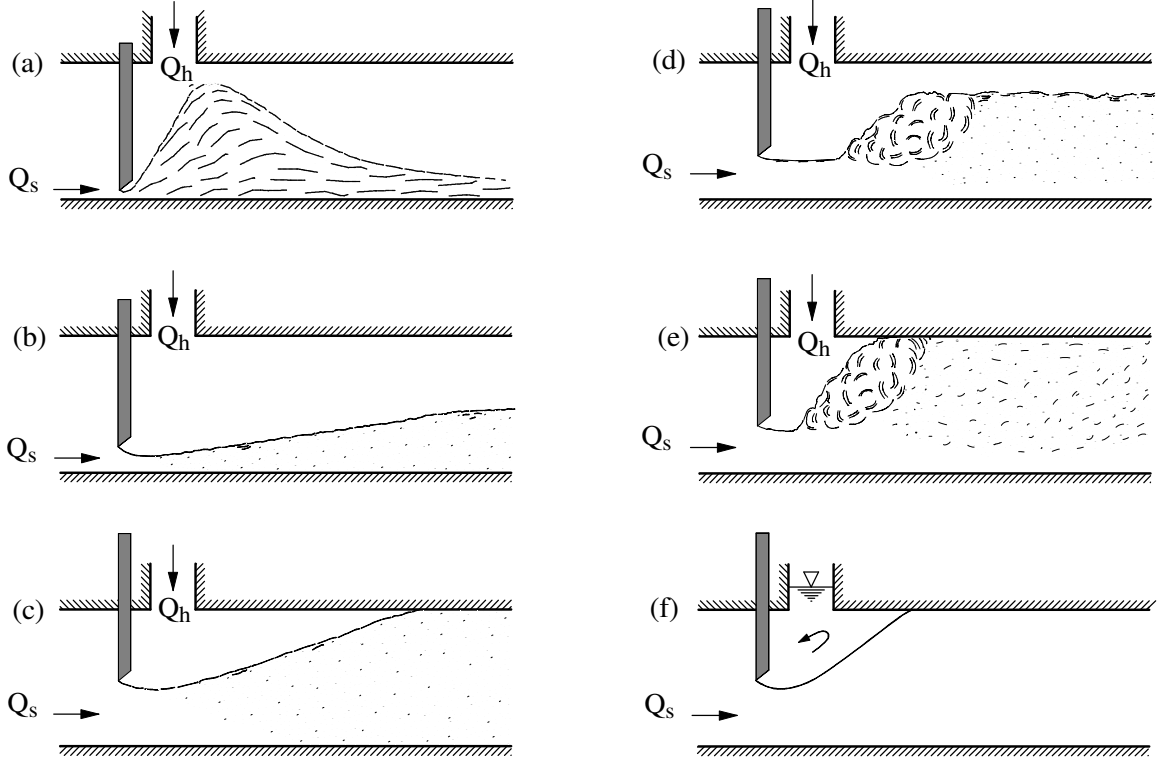
Kapaklı konduitlerde hidrolik sıçrama ve türbülans neticesinde havanın suya karışması mümkün olmaktadır. Su akımına hava girişini sağlamak amacıyla pompa kullanılarak su basıncı değeri yükseltilir. Kapak mansabında su, hızla savaklanırken oluşan düşük basınç nedeniyle bu noktada bir vakumlama etkisi meydana gelir ve meydana gelen bu düşük basınç etkisiyle de dış ortamdan alınan hava, kabarcıklar halinde suya karışmış olur (Şekil 3.10). Kontrol kapağından sonra mansapta su akımı içerisine hava alınması [19]:

- I. Kaviteasyon hasarlarını azaltmak için,
- II. Vibrasyon etkisi ve kararlı akım şartlarını limit değerlere çekmek için kullanılır.



Şekil 3.10. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım

Yapılan son çalışmalarda kapaklı konduitlerde savaklama kapağı mansabında oluşabilecek iki fazlı akım rejimleri Şekil 3.11 a – f’de gösterilmiştir [21].



Şekil 3.11. Kapaklı konduit içerisindeki akış tiplerinin sınıflandırılması; **a)** sprey (püskürme şeklinde) akım; **b)** serbest yüzeyli akım; **c)** köpüklü akım; **d)** hidrolik sıçrama – 1; **e)** hidrolik sıçrama – 2; **f)** sadece su akışı

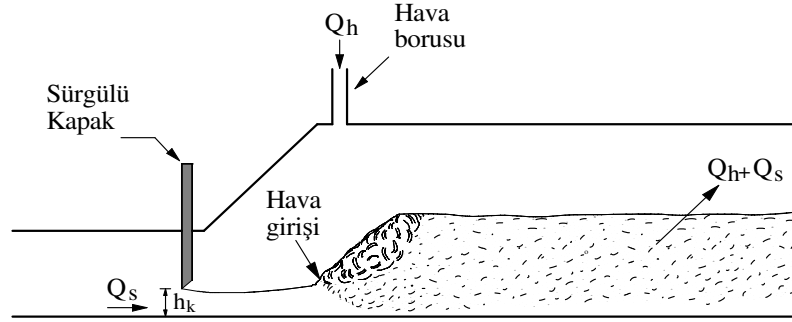
Serbest yüzeyli kapaklı konduitte havalandırma verimi;

$$E_{20} = 1 - \left[1 + 0.15 \left(\frac{h_k}{L} \right)^{0.74} Fr^{2.56} \right]^{-1} \quad (3.17)$$

denklemleriyle bulunur. Burada; E_{20} = 20 °C' deki havalandırma verimi, h_k = kapak açıklığı (m), L_k = konduit boyu (m), Fr = kapak altındaki Froude sayısı'dır. Froude sayısı;

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g h_k}} \quad (3.18)$$

denklemden elde edilir. Burada, V su hızı, g yerçekimi ivmesidir.



Şekil 3.12. Serbest yüzeyli kapaklı konduit

Serbest yüzeyli kapaklı konduitler, Şekil 3.12’de görüldüğü gibi tam dolu olmadığından ve serbest yüzeyli akımlar gibi hava borusundan atmosferik havayla etkileşim halinde olduğu için, bir açık kanal akımı gibi düşünülebilir. Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin tipik elemanlarını; kontrol kapağı, hava borusu, ve basınçsız konduit oluşturur (Şekil 3.12). Hava borusu, kontrol kapağının mansabında bulunan tipik bir borudur. Hava, kavitasyon hasarlarını en aza indirerek hava borusundan geçip su içine aktarılır. Ünsal [19]’ın, serbest yüzeyli kapaklı konduitler üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- * Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde tüm boy ve tüm kapak açıklıklarında Froude sayısının artmasıyla hava giriş oranı Q_h / Q_s artış göstermiştir.
- * Kapak açıklığındaki ve konduit boyundaki değişimin hava giriş oranı Q_h / Q_s üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.
- * Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde Froude sayısının artışına bağlı olarak oksijen transfer verim değeri E_{20} artış göstermiştir. Bunun nedeni hava giriş oranının artması olarak ifade edilebilir.
- * 15’ten büyük Froude sayılarında oksijen transfer verim değeri E_{20} maksimum doygunluğa ulaşmıştır.
- * Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde kapak açıklığı ve konduit boyundaki artışın, oksijen transfer verim değeri E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4. DESTEK VEKTÖR MAKİNALARI UYGULAMALARI

4.1. Savaklardan Savaklanan Su Jetlerinin, Hava Giriş Debisi ve Havalandırma Veriminin Tahmininde, En Küçük Kare Destek Vektör Makinelerinin (EKK-DVM) Uygulanması

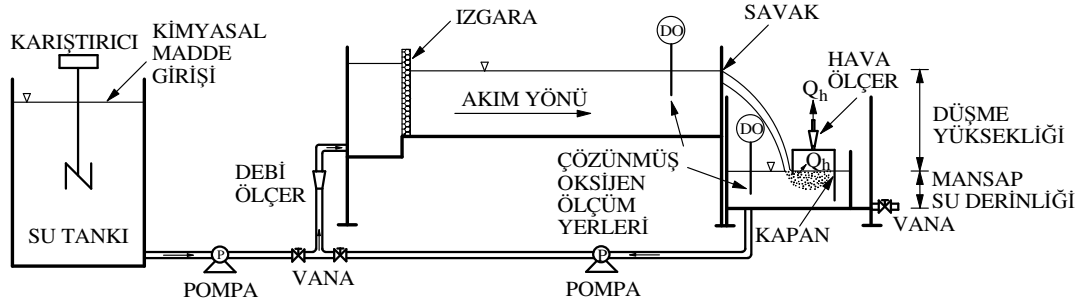
Havalandırma ile sulardaki çözünmüş oksijen miktarını arttıracak hidrolik yapılara savaklar örnek olarak verilmiştir. Bu hidrolik yapıların havalandırma verimlilikleri ve hava giriş debisi, araştırmacıların deneysel çalışmalarıyla incelendi. Bu çalışmalar, Wilhelms ve diğ. [39], Chanson [40], Ervine [41] ve Gulliver ve diğ. [42] ile yeniden incelendi. Son zamanlarda, Baylar ve Bağatur [43], Baylar ve Bağatur [44] ve [45], Baylar ve diğ. [46] ve [47], Baylar [18], Baylar ve Emiroğlu [48], Baylar [49], Emiroğlu ve Baylar [50] ve [51], Emiroğlu ve Baylar [52], Baylar ve Bağatur [43], Baylar ve Özkan [53], Emiroğlu ve Baylar [54], Baylar ve Emiroğlu [55] farklı geometrideki savak kesitlerini araştırdı ve havalandırma verimi ve hava giriş debisinin savağın şekline göre değiştiğini gösterdi. Baylar [18], serbest yüzeyli akımlarda, en iyi oksijen transferinin 45^0 tepe açılı ince kenarlı üçgen savak ile gerçekleştiğini deneysel hidrolik uygulamalarla ispatladı. Burada yararlanılan deneysel çalışmalarda da ince kenarlı üçgen savak kullanılmıştır[56].

Son yıllarda gelişmiş akıllı sistemlerle, karışık sistemleri modelleme mümkün oldu. (Baylar ve diğ. [57] ve [58], Hanbay ve diğ. [59]). Akıllı modellemenin en önemli özelliği, gerçek zamanlı uygulamalarda eğitilmiş ağı acil yanıtlar verebilmesidir. Bu özellikler, karışık sistem modellemeleri için akıllı metodları uygun kılmıştır. Ayrıca, ticari uygulamalarda da avantaj sağlamıştır. Vapnik ve yardımcısı Cortes ilk kez akıllı metodun bir türünü tanıttı. Bu akıllı metod, Destek Vektör Makineleri (DVM)'dir. DVM etkili bir bilim yöntemidir ve örnek tanıma, regresyon, sınıflandırma için kapsamlı çalışan bir metoddur. DVM' de temel amaç, veri girdi noktalarının yüksek boyutlu bir alana haritalanması ve bir hiper düzlemin oluşturulmasıdır. DVM'nin En Küçük Kareler uyarlamasını, Suykens ve Vandewalle [60] tanımladı. EKK-DVM'nin sınıflandırma, regresyon, parametre tahmini, örnek tanıma ve modelleme için kullanımı yaygındır. Bu çalışmada, EKK-DVM temel olarak regresyonda kullanılmıştır. İnce kenarlı üçgen savakların havalandırma verimi ve hava giriş debisi tahmininde uygulandı. Üçgen savakların deneysel çalışma verileri, EKK-DVM sistemi tarafından, eğitim verileri olarak kullanılıp geribildirimle eğitilerek öğrenildi. Ve EKK-DVM bir grup test verisiyle öğrenme performansını değerlendirdi[56].

4.1.1. Deneyler

4.1.1.1. Hava Giriş Debisi ve Havalandırma Verimini Belirlemede Kullanılan Deney Düzenegi

Bu çalışmada kullanılmış veriler, Baylar ve Bağatur [43]'un büyük bir model üzerinde yapılmış çalışmasından alındı. Şematik deney düzenegi, Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Maksimum su akım debisi 4 l/s'dir. Deneysel kanal 3,40 m uzunluğunda, 0,60 m genişliğinde ve 0.50 m derinliğindedir. Dinlenme havuzuna bir pompadan su pompalandı. Mansap su havuzuna test savağından su jeti daldırıldı, savağın yüksekliği bir sıralı makara ile ayarlandı. Mansapta su derinliği, ayarlanabilen savak ile kontrol edildi. Mansabın su havuzu ebatları 1.20 x 1.20 m' dir. Bir hava debisi ölçer, hava ölçüm kapanına kuruldu. Hava giriş debisi Q_h ölçümleri alındı. Hava ölçüm kapanının ebatları 0.75 x 0.60 m' dir. Test savağının üç değişebilir özelliğinin elemanları: 45° ince kenarlı üçgen savak, 90° ince kenarlı üçgen savak ve 135° ince kenarlı üçgen savaktır. Bu savak tiplerinin ölçüleri Tablo (4.1)'de verilmiştir.



Şekil 4.1. İnce kenarlı üçgen savakların hava giriş debisi ve havalandırma verimini belirlemede kullanılan deney düzenegi

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan savakların boyutları

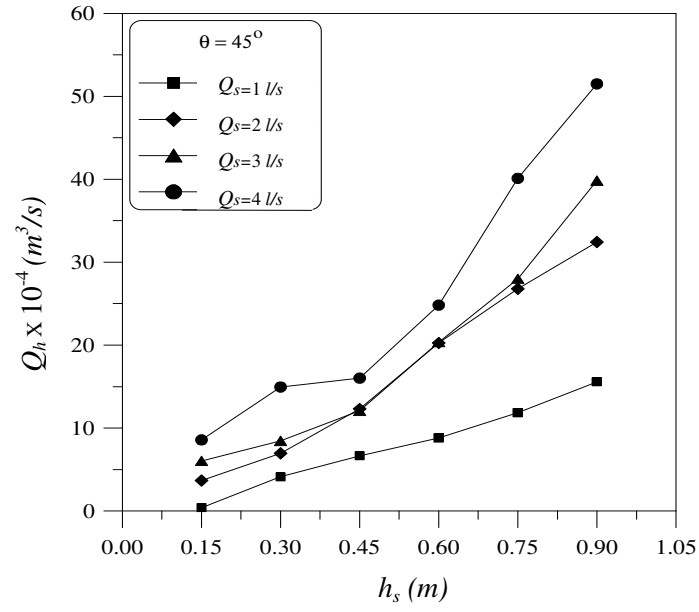
Savak tipi	L_s (cm)	b_s (cm)	s (cm)	W_s (cm)
45° Üçgen savak	60.0	14.5	17.5	32.5
90° Üçgen savak	60.0	20.0	10.0	40.0
135° Üçgen savak	60.0	48.3	10.0	40.0

4.1.1.2. Deneysel Süreç

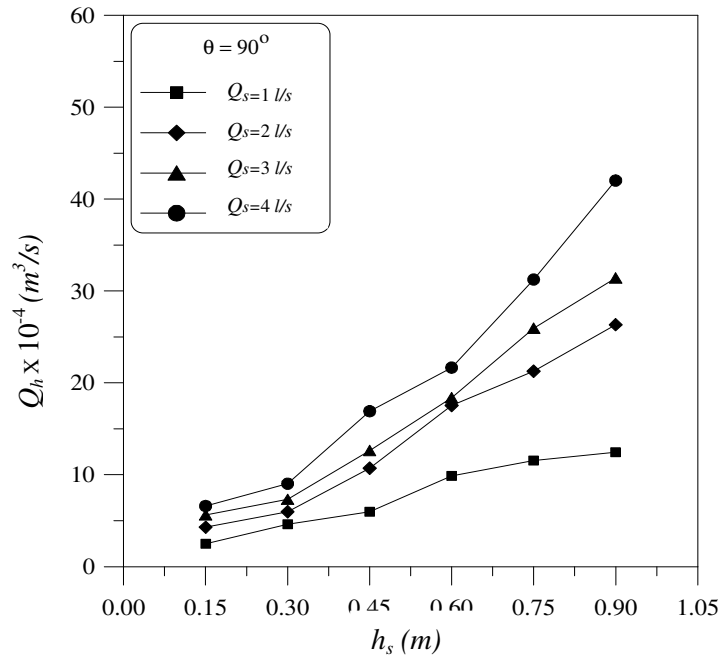
Bu sistemde deneylerde kullanılacak suyu temin etmek için, su tankına dışarıdan sürekli su girişi sağlanmış ve bu su savaktan geçirilecek debi değeri ayarlanıncaya kadar su pompasıyla su kanalına verilmiştir. Aynı debide su devir ettirilmiştir. Sonra ayarlanan debiyle savaktan serbest düşen su jeti, ince kenarlı üçgen savaktan atmosferin içine dalarak mansap su havuzu yüzeyine çarpıp, su havuzunun aşağılarına kadar etkili oldu ve hava kapanına hapsedilmiş dönen hava kabarcıkları arttırıldı. Her ince kenarlı üçgen savak, 0.1 m' lik savak yüksekliğinde, 1.0 l/s' den 4.0 l/s' ye Q_s akım değişim oranları altında test edildi. Hava kapanına hava debisini ölçmek amacıyla hava debisi ölçer kuruldu ve Q_h ölçüldü. Deneyler süresince, savağın mansap ve memba ölçümleri, portatif HANNA Model HI 9142 oksijenmetre ile Şekil 4.1'de belirtilen bölgede kalibre edilerek ölçüldü. Tüm savaklar için deneylerin tümünde, mansap alış havuzunda, hava kabarcığı girişi kesintisizdi. Tüm deneylerde, alış havuz derinliği (mansap su derinliği) kabarcık penetrasyon (sızma) derinliğinden daha büyüktü. İnce kenarlı üçgen savağın mansap ve memba su seviyeleri arasındaki fark düşüm yüksekliği olarak tanımlandı. 0.15 m'lik savak yüksekliğinde, 0.15 m ile 0.90 m arasında değişti [18].

4.1.2. Deneysel Sonuçlar

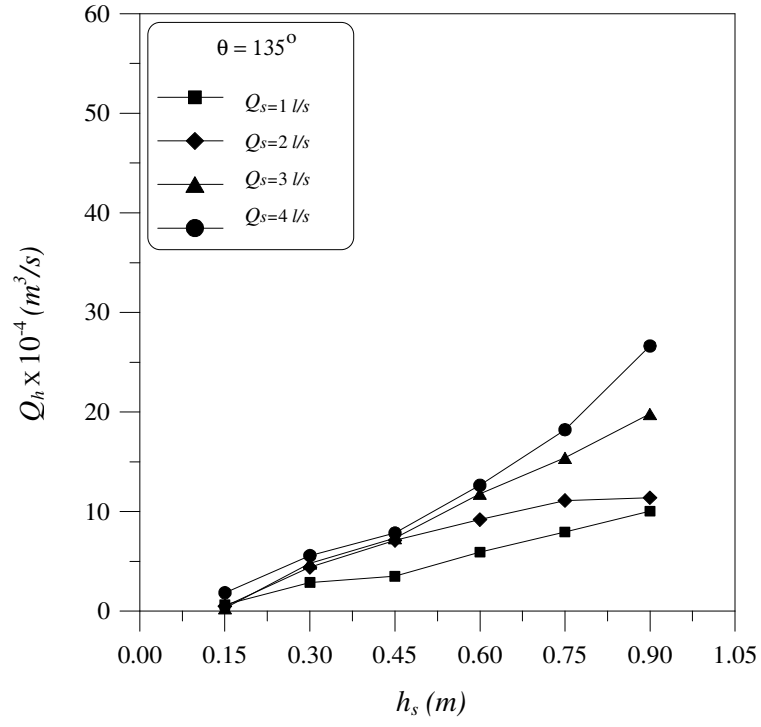
Baylar ve Bağatur [43]'un, herbir üçgen savak tepe açısı için; düşüm yüksekliği ve 1 l/s ile 4 l/s arasında değişen debilere karşılık havalandırma verimi E_{20} , hava giriş debisi Q_h deneysel sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 4.2 - 4.7). Tepe açının azalması ile oksijen transfer verimi artmıştır. Genellikle 45° ince kenarlı üçgen savağın en iyi savak şekli olduğu görülmektedir. 45° üçgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi 1 l/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.50, 90° üçgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi 2 l/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.50 ve 135° üçgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi 1 l/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.46 elde edilmiştir (Şekil 4.5 - 4.7).



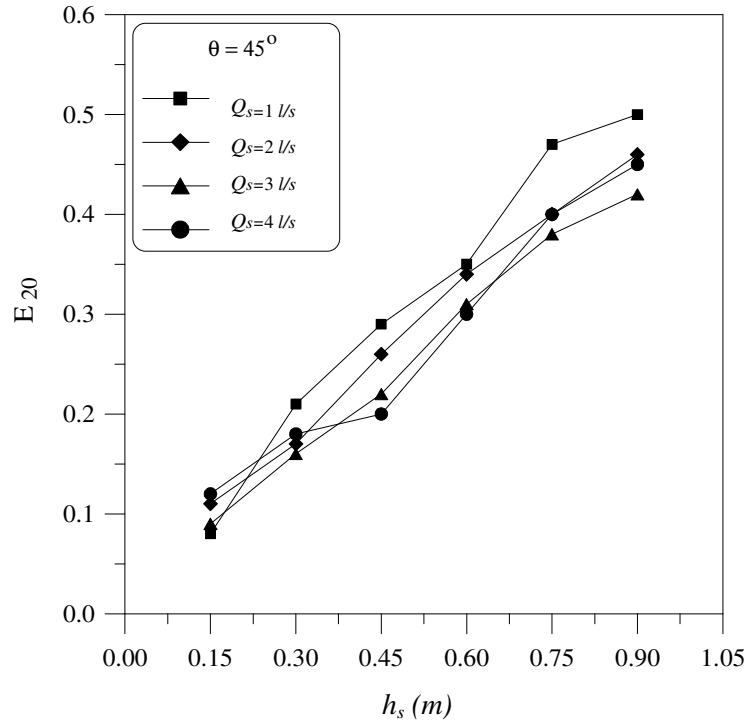
Şekil 4.2. $\theta = 45^\circ$ için, düşüm yüksekliği ile hava giriş debisi arasındaki değişim



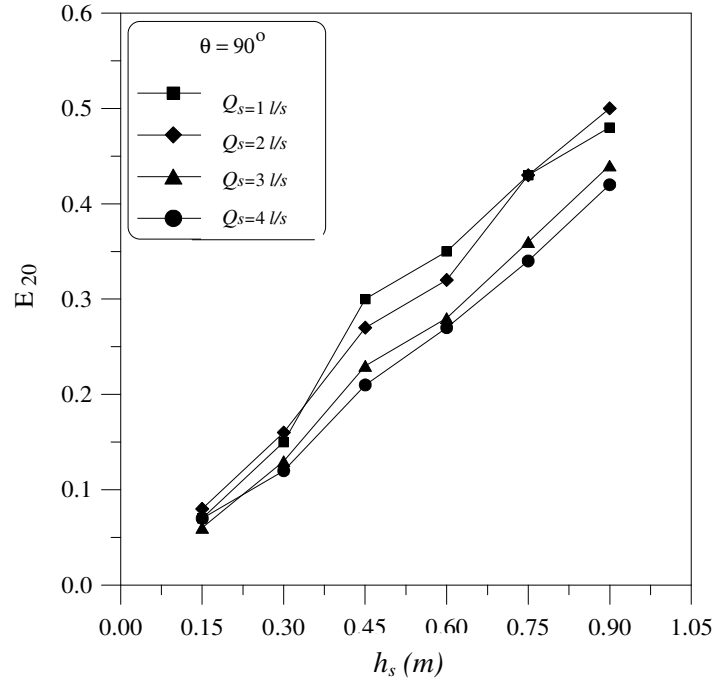
Şekil 4.3. $\theta = 90^\circ$ için, düşüm yüksekliği ile hava giriş debisi arasındaki değişim



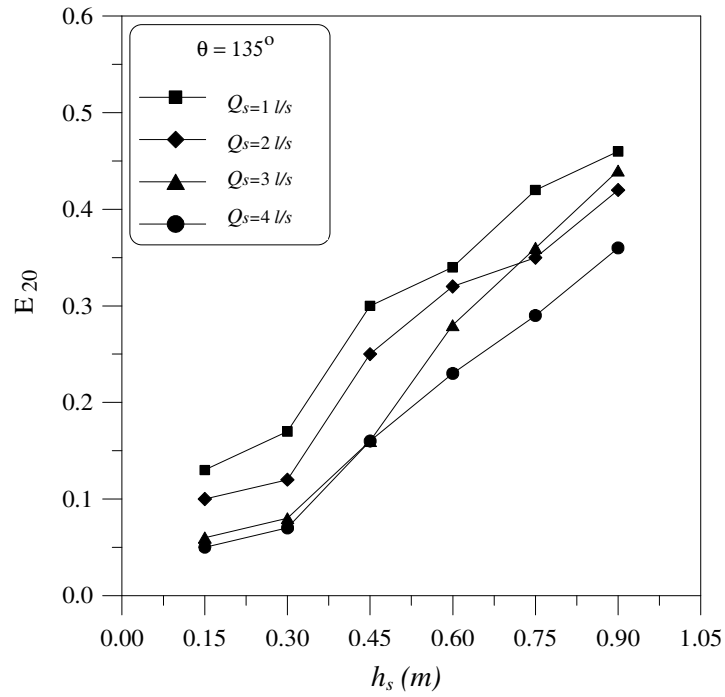
Şekil 4.4. $\theta = 135^\circ$ için, düşüm yüksekliği ile hava giriş debisi arasındaki değişim



Şekil 4.5. $\theta = 45^\circ$ için, düşüm yüksekliği ile havalandırma verimi arasındaki değişim



Şekil 4.6. $\theta = 90^\circ$ için, düşüm yüksekliği ile havalandırma verimi arasındaki değişim



Şekil 4.7. $\theta = 135^\circ$ için, Düşüm yüksekliği ile havalandırma verimi arasındaki değişim

Modellemeye geçmeden önce, aşağıdaki bölümde EKK-DVM hakkında teorik özet bilgiler verilmiştir.

4.1.3. En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri (EKK-DVM)

1995'te AT&T Bell laboratuvarlarında, Vladimir Vapnik ve yardımcısı Cortes denetlenebilen bir öğrenme tekniği olan DVM'yi geliştirdi [61]. DVM, regresyon ve sınıflandırmanın her ikisinde de uygulanabilir. DVM, yapısal risk azaltmada en etkili yöntemdir.

Farzedelim, bir eğitime seti verebilen $\{x_k, y_k\}_{k=1}^N$, giriş değerleriyle $x_k \in R^n$ ve çıkış değerleri $y_k \in R$ sınıf tanımlama ile $y_k \in \{-1, +1\}$ ve doğrusal sınıflayıcı

$$y(x) = \text{sign}[w^T x + b] \quad (4.1)$$

İki sınıfın ayrılabilir girdileri girildiğinde bulabilir.

$$\begin{cases} w^T x_k + b \geq +1, & \text{if } y_k = +1 \\ w^T x_k + b \leq -1, & \text{if } y_k = -1 \end{cases} \quad (4.2)$$

Eşitsizliklerin bu iki grubu, izlenecek yol olarak tek bir grup içinde birleştirilmiş olabilir.

$$y_k [w^T x_k + b] \geq 1 \quad k = 1, \dots, N \quad (4.3)$$

DVM formülasyonları, dışbükey iyileştirme teorisi bağlamında yapılır. Genel mantık, önce problemi koşullu iyileştirme gibi formüle etmek, sonra Langrangain'i formüle edip optimum şartları sağlamak ve en sonunda da problemi Lagrange çarpanların 2 boyutlu uzayında çözmektir. Sınıflandırıcı sonuçlarıyla:

$$y(x) = \text{sign} \left[\sum_{k=1}^N \alpha_k y_k x_k^T x + b \right] \quad (4.4)$$

Bu doğrusal DVM sınıflandırıcı, Cortes ve Vapnik [61] ile ayrılmaz durumlar için genişletilmiştir. Bu, problemin formülasyonuna bir tane daha boş değişkenin eklenmesi ile olur. Bu eşitsizliği aşağıdaki gibi yapar.

$$y_k [w^T x_k + b] \geq 1 - \zeta_k, \quad k = 1, \dots, N. \quad (4.5)$$

DVM doğrusal ve doğrusal olmayan durumlar için de kullanılır. Onların detayları literatürde bulunabilir. DVM sınıflandırıcının en küçük kareler uyarlaması Suykens ve Vandewalle [52] tarafından tanımlandı. EKK-DVM, DVM'nin sınıflandırma yaklaşımı olarak, eşitsizliğin yerine zor tiplerinde eşitliği hesaba katar. Bu yeniden formülleştirme zor bir problemi öylesine basitleştirir ki, ikinci derece dışbükey bir programdan daha çok tercih edilen doğrusal bir denklem grubunu çözmeden direk EKK-DVM karışımını takip eder. EKK-DVM sınıflandırıcı, ilk bölümü, aşağıdaki denklemden alır,

$$y(x) = \text{sign}[w^T x + b] \quad (4.6)$$

Burada, b = bir gerçekte sabit. İkinci bölümde, doğrusal olmayan bir sınıflandırma işlemi için, EKK-DVM sınıflandırıcı aşağıdaki denklemden alır,

$$y(x) = \text{sign}\left[\sum_{k=1}^N \alpha_k y_k K(x, x_k) + b\right] \quad (4.7)$$

Burada, α_i = pozitif gerçekte sabit ve b = gerçekte bir sabit, genelde, $K(x_i, x) = \langle \phi(x_i), \phi(x) \rangle$, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ = iç çarpım, ve $\phi(x)$ = orjinal bölümden, yüksek ölçüsel bölüme doğrusal olmayan tasarım, fonksiyonlar için EKK-DVM model aşağıdaki denklemden alır,

$$y(x) = \sum_{k=1}^N \alpha_k K(x, x_k) + b \quad (4.8)$$

Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyon (RTF) kullanıldığında, iki ayarlanmış parametre (γ, σ) eklendi. Burada, γ = düzenleme sabiti ve σ = RTF'nin genişliği [56].

4.1.4. EKK-DVM ile Modelleme

Tüm program kodları, EKK-DVM alet kutusu kullanılarak MATLAB (Matris Laboratuvarı)'nda yazıldı [62]. Bu çalışmada, akan debi Q_s , düşüm yüksekliği h , ince kenarlı üçgen savak tepe açısı θ , hava giriş debisi Q_h ve havalandırma verimi E_{20} hesaba katıldı. Parametreler (Q_s , h , ve θ), sırasıyla Q_h ve E_{20} tahmininde EKK - DVM model girişleri olarak kullanıldı. EKK - DVM modeli için 72 deney verisi girdi grubu olarak kullanıldı. EKK - DVM modelin Q_h ve E_{20} için eğitime ve testten önce, Denklem (4.9)'un kullanımıyla girdi grubu normalize edildi [56].

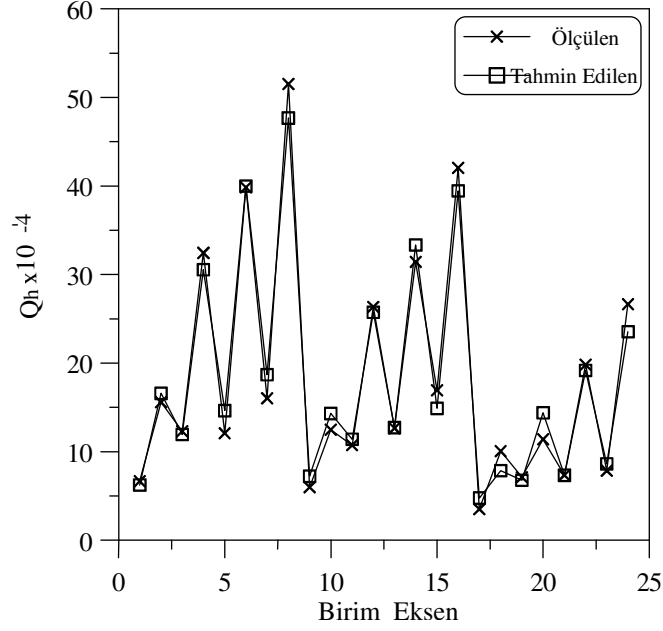
$$x_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} + b \quad (4.9)$$

Burada x_{min} ve x_{max} = veri girişinin minimum ve maksimumu ve b = bias fonksiyonu değeridir ($b = 0.1$).

Bu çalışmanın birinci bölümünde EKK - DVM model, hava giriş debisi Q_h için Radyal Tabanlı Çekirdek fonksiyonu (RTF) ile eğitildi. RTF parametrelerinin en iyi değerlerini bulmak için, aralık araştırma algoritması kullanıldı. Q_h için, en iyi γ değeri 511.35' dir ve en iyi σ değeri 1.9914'tür. EKK-DVM modelin uygunluğunu görmek için, 3'lü çapraz kümeleme metoduyla 72 deneysel veri grubu kullanılarak EKK-DVM sonuçları test edildi. EKK-DVM modelinin Q_h için, test performansı grafiksel olarak Şekil 4.9'da sunulmuştur. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, EKK-DVM model, ölçülmüş değerleri yüksek doğruluk oranıyla tahmin eder. Tanımlanan her evre R^2 değerleri, Denklem (4.10) ile hesaplandı.

$$R^2 = 1 - \left[\sum_{m=1}^n (y_{tah,m} - t_{ölç,m})^2 / \sum_{m=1}^n (t_{ölç,m})^2 \right] \quad (4.10)$$

Burada, n bağımsız veri gruplarında, veri örneğinin numarasıdır, $y_{tah,m}$ tahminleri gösterir ve $t_{ölç,m}$ bir veri noktası m 'nin ölçülmüş değeridir. EKK-DVM modelin tahminleri ile ölçülmüş Q_h değerleri arasındaki korelasyon $R^2 = 0.99$ 'dur. Bundan başka, doğrusal regresyon (DR) ve doğrusal olmayan regresyon (DOR) teknik sonuçları EKK-DVM model ile tahmin edilmiş hava giriş debisi sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Tablo (4.2)'den EKK-DVM tahminlerinin, ölçülen Q_h değerlerini çok yüksek doğrulukla bulduğu anlaşılır. EKK-DVM modelin, hemen hemen çoklu doğrusal olmayan regresyon model ile aynı performansa sahip olduğu görülür. Doğrusal regresyon model performansı, EKK-DVM model ve doğrusal olmayan regresyon modele göre daha düşüktür [56].



Şekil 4.8. EKK-DVM modelin, Q_h performansı.

Tablo 4.2. EKK-DVM, DOR ve DR modellerinin kullanımıyla, Q_h 'ı hesaplamak için, mutlak göreceli hata (MGH) istatistikleri

Girişler			$Q_h (m^3/s \times 10^{-4})$				MGH (%)		
			<i>EKK-</i>						
$Q_s (m^3/s)$	$h (m)$	$\theta (derece)$	Ölçülen	DVM	DOR	DR	EKK - DVM	DOR	DR
0.001	0.45	45	6.66	6.23	7.12	9.72	6.5	7.0	45.9
0.001	0.90	45	15.57	16.58	18.13	23.76	6.5	16.4	52.6
0.002	0.45	45	12.30	11.92	11.79	13.81	3.1	4.2	12.3
0.002	0.90	45	32.44	30.53	29.99	27.85	5.9	7.6	14.2
0.003	0.45	45	12.07	14.62	15.83	17.90	21.1	31.1	48.3
0.003	0.90	45	39.83	39.98	40.26	31.94	0.4	1.1	19.8
0.004	0.45	45	16.02	18.68	19.50	21.99	16.6	21.7	37.2
0.004	0.90	45	51.50	47.67	49.62	36.03	7.4	3.6	30.0
0.001	0.45	90	5.98	7.21	5.77	5.27	20.5	3.6	11.9
0.001	0.90	90	12.47	14.30	14.67	19.31	14.7	17.6	54.8
0.002	0.45	90	10.72	11.39	9.54	9.36	6.2	11.0	12.7
0.002	0.90	90	26.34	25.72	24.27	23.40	2.4	7.8	11.2
0.003	0.45	90	12.64	12.70	12.64	13.44	0.5	.0	6.4

0.003	0.90	90	31.42	33.33	31.42	27.48	6.1	0.0	12.5
0.004	0.45	90	16.92	14.88	15.79	17.53	12.0	6.7	3.6
0.004	0.90	90	42.03	39.43	40.16	31.57	6.2	4.4	24.9
0.001	0.45	135	3.50	4.75	3.55	0.82	35.7	1.4	76.7
0.001	0.90	135	10.04	7.85	9.03	14.86	21.8	10.1	48.0
0.002	0.45	135	7.11	6.76	5.87	4.90	4.9	17.4	31.0
0.002	0.90	135	11.39	14.37	14.94	18.94	26.2	31.1	66.3
0.003	0.45	135	7.33	7.32	7.88	8.99	0.2	7.5	22.7
0.003	0.90	135	19.80	19.17	20.05	23.03	3.2	1.3	16.3
0.004	0.45	135	7.84	8.61	9.71	13.08	9.8	23.9	66.9
0.004	0.90	135	26.63	23.53	24.71	27.12	11.7	7.2	1.8

Sayısal hatalar, matematiksel işlemlerde 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.

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:

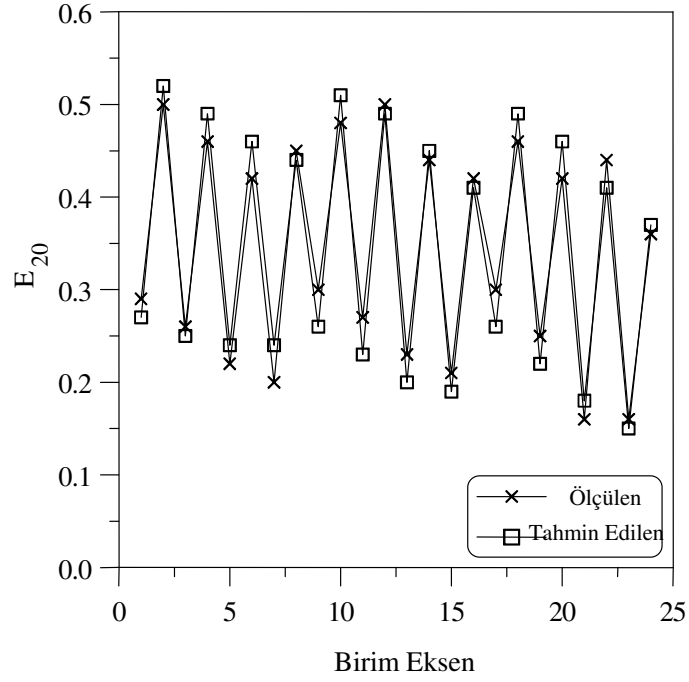
$$\varepsilon_{\text{mutlak}} = |f_{\text{gerçek}} - f_{\text{hesaplanan}}| \quad (4.11)$$

Mutlak hata 100 ile çarpılarak hata yüzdesi olarak gösterilir. Yüzde değerlerin negatif çıkmaması için farklar mutlak değer olarak alınabilir. Tablo (4.2)'de ve bundan sonraki ilgili diğer tablolarda da göreceli mutlak hatalar, hata yüzdesi olarak pozitif alınmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, EKK-DVM model, havalandırma verimleri E_{20} için Radyal Tabanlı Çekirdek fonksiyonu (RTF) ile eğitildi. RTF parametrelerinin en iyi değerlerini bulmak için, aralık araştırma algoritması kullanıldı. E_{20} için, belirlenmiş en iyi γ değeri 76.517'dir ve en iyi σ değeri 3.0647'dir. EKK-DVM modelin uygunluğunu görmek için 3'lü çapraz kümeleme metoduyla, 72 deneysel veri grubu kullanılarak, EKK-DVM test edildi. Şekil 4.9'da E_{20} için, EKK-DVM modelinin test performansı, grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, EKK-DVM model, ölçülen değerleri yüksek doğrulukla tahmin eder. EKK-DVM modelin tahminleri ile ölçülmüş E_{20} değerleri arasındaki korelasyon $R^2 = 0.98$ dir.

EKK-DVM modelin tahmin ettiği havalandırma verimleri E_{20} değerleri, doğrusal regresyon (DR) ve doğrusal olmayan regresyon (DOR) teknik sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Tablo

(4.3)'den, EKK - DVM modelin, ölçülen E_{20} değerlerini yüksek doğrulukla tahmin ettiği görülebilir. Tablo (4.3)'de, EKK-DVM modelin doğrusal ve çoklu doğrusal olmayan regresyon modellerle hemen hemen aynı performansa sahip olduğu görülür [56].



Şekil 4.9. EKK-DVM modelin, E_{20} performansı.

Tablo 4.3. EKK - DVM, DOR ve DR modellerinin kullanımıyla, E_{20} 'i hesaplamak için, mutlak göreceli hata (MGH) istatistikleri

Girişler			E_{20}				MGH (%)		
$Q_s (m^3/s)$	$h_s (m)$	$\theta (derece)$	EKK -				EKK - DVM	DOR	DR
			Ölçülen	DVM	DOR	DR			
0.001	0.45	45	0.29	0.27	0.30	0.29	7.0	3.9	1.2
0.001	0.90	45	0.50	0.52	0.52	0.51	3.7	4.4	1.9
0.002	0.45	45	0.26	0.25	0.26	0.26	3.5	0.8	0.9
0.002	0.90	45	0.46	0.49	0.47	0.49	7.3	2.9	5.5
0.003	0.45	45	0.22	0.24	0.24	0.24	8.7	9.4	8.2
0.003	0.90	45	0.42	0.46	0.45	0.46	10.5	6.0	9.8
0.004	0.45	45	0.20	0.24	0.23	0.21	19.2	13.1	6.8
0.004	0.90	45	0.45	0.44	0.43	0.44	2.9	5.5	3.0

0.001	0.45	90	0.30	0.26	0.28	0.27	14.8	8.3	11.1
0.001	0.90	90	0.48	0.51	0.49	0.49	7.2	2.2	2.0
0.002	0.45	90	0.27	0.23	0.24	0.24	15.5	11.8	10.2
0.002	0.90	90	0.50	0.49	0.44	0.47	2.7	11.6	6.9
0.003	0.45	90	0.23	0.20	0.22	0.22	11.2	5.1	5.1
0.003	0.90	90	0.44	0.45	0.41	0.44	2.1	5.8	0.3
0.004	0.45	90	0.21	0.19	0.20	0.19	9.3	2.5	7.7
0.004	0.90	90	0.42	0.41	0.39	0.42	2.0	6.0	0.8
0.001	0.45	135	0.30	0.26	0.26	0.25	14.9	11.9	17.7
0.001	0.90	135	0.46	0.49	0.48	0.47	5.8	3.6	2.2
0.002	0.45	135	0.25	0.22	0.23	0.22	12.5	8.6	10.9
0.002	0.90	135	0.42	0.46	0.43	0.45	8.5	2.0	6.1
0.003	0.45	135	0.16	0.18	0.21	0.20	13.8	30.6	24.0
0.003	0.90	135	0.44	0.41	0.40	0.42	6.2	8.9	4.2
0.004	0.45	135	0.16	0.15	0.20	0.17	3.8	22.5	8.8
0.004	0.90	135	0.36	0.37	0.38	0.40	2.2	6.1	10.3

4.1.5. Üçgen Savak Havalandırıcılarda EKK-DVM Model Sonuçları

Bu çalışmada EKK-DVM model, ince kenarlı üçgen savaklarda havalandırma verimi E_{20} ve hava giriş debisi Q_h ' yı belirlemek için geliştirildi. EKK-DVM modelin tahminleri ile ölçülmüş Q_h değerleri arasındaki korelasyon $R^2 = 0.99$, E_{20} değerleri arasındaki korelasyon ise $R^2 = 0.98$ 'dir. Bu sonuçlar gösteriyorki; EKK-DVM model ölçülen değerleri çok yüksek doğrulukla tahmin edebiliyor. Bu test sonuçlarına dayanak söylenebilir ki, üçgen savakların havalandırma verimleri ve hava giriş debisi tahmininde EKK-DVM model, başarıyla kullanılabilir.

4.2. Basamaklı Kaskatlarda, Akım Durumu ve Havalandırma Veriminin Tahmininde En Küçük Kare Destek Vektör Makinelerinin (EKK-DVM) Uygulanması

Büyük-taşlık ile havalandırma, su işlemlerinde iyi bilinen bir yöntemdir ve bunun bir çeşiti de havalandırma kaskatıdır. Havalandırma kaskatları, oksijenleme, denitrifikasyon (nitratı uzaklaştırma) veya uçucu organik bileşiklerin (UOB) uzaklaştırılması işlemlerinde kullanılır. İçme suyu işlemlerinde oksijen transferi, klordan arındırma ve kötü tad ve kokuyu giderme veya

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

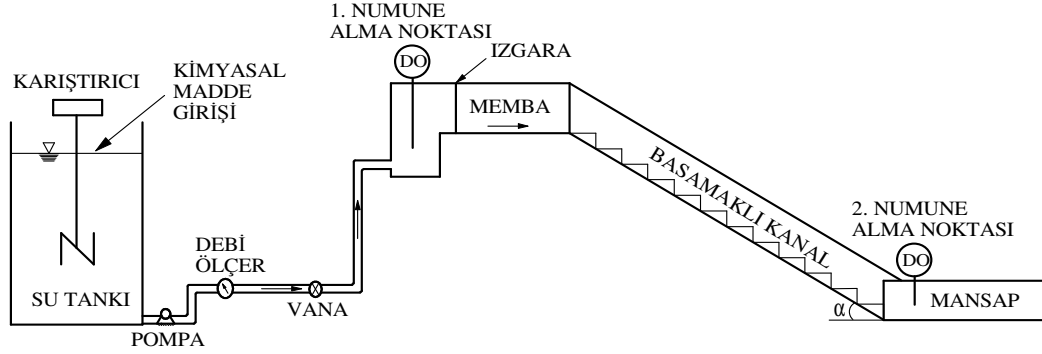
Özetle, basamaklı kaskatlar; güçlü türbülanslı karıştırma, su ile uzun etkileşim ve uzun varış süresi ile ciddi hava kabarcığı arttırımı özelliklerinden dolayı havalandırmanın çok etkili bir yöntemidir [63].

Basamaklı kaskatların hidrolik tasarımı ve özellikle ana hava sürüklenme mekanizmaları olan karakteristik nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akımın özellikleri bilimsel olarak bazı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Son zamanlarda, basamaklı kaskatlarda havalandırma verimliliği üzerine Baylar ve Emiroğlu [64], Emiroğlu ve Baylar [65], Baylar ve Emiroğlu [66], Baylar ve Emiroğlu [67], Baylar v.d. [68], Emiroğlu ve Baylar [44] ve Baylar v.d. [46], [69], [70], [71] detaylı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada, basamaklı kaskatlarda akım durumu ve havalandırma verimi EKK-DVM metoduyla tahmin edilmiştir. Burada, EKK-DVM , yoğun kullanım alanlarından olan sınıflandırma ve regresyon için kullanılmıştır [72].

4.2.1. Deneyler

4.2.1.1. Akım Durumunun Belirlenmesindeki Deneysel Süreç

Bu çalışmada kullanılan veriler, basamaklı kaskatların büyük bir modelinden elde edilmiş verilerdir. Bu deneysel veriler; Baylar ve Emiroğlu [64] ve Baylar v.d. [68] çalışmalarından alınmıştır. Burada kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi (Şekil 4.10)' da verilmiştir. Bütün deneyler 0,30 m genişliğinde ve 0,50 m derinliğindeki bir prizmatik dikdörtgen kanalda yapılmıştır. Akım durumunu gözlemleyebilmek için yan duvarlar saydam malzemeden yapılmıştır. Basamaklı savağın yüksekliği 1.25 ve 2.50 m. olarak imal edilmiştir. Basamaklandırılmış kanal, 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. Debiler, bir debi ölçer yardımıyla belirlendi. Her debi için basamak üzerindeki kritik akım derinlikleri h_c ölçüldü. Basamaklandırılmış kanalın eğimi (α) ise 14.48° , 18.74° , 22.55° , 30° , 40° ve 50° olarak değiştirilmiştir. Test edilen tüm eğimlerde, h_b yüksekliğindeki (5, 10 ve 15 cm'lik) basamaklar kullanılmıştır [18].



Şekil.4.10. Basamaklı kaskatlarda akım durumu ve havalandırma veriminin belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği

Her deney, su tankının musluk suyuyla doldurulmasıyla başladı. Su tankının çıkışına yerleştirilen bir debi ölçer ile istenen debiler ayarlandı. Su, su tankından durgun tanka pompalandı. Oradan da basamaklandırılmış kanala yaklaşım kanalıyla aktarıldı. Ve su her ayrı debi için, basamaklandırılmış kanaldan savaklanırken saydam malzemeden yapılmış yan duvarlardan gözlenip, 3. Bölümde belirtilen nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimleri kriterlerine göre akım rejimleri; istenen debi, basamak yüksekliği h_b , kritik akım derinliği h_c ve basamaklı kanal eğimlerine (α) göre tespit edildi.

4.2.1.2. Havalandırma Veriminin Belirlenmesindeki DeneySEL Süreç

Bu çalışmada kullanılan veriler, basamaklı kaskatların büyük bir modelinden elde edilmiş verilerdir. Bu deneysel veriler; Baylar ve Emiroğlu [64] ve Baylar v.d. [68] çalışmalarından alınmıştır. Burada kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.10' da verilmiştir. Bu deney düzeneği, akım durumlarının belirlenmesinde kullanılan deney düzeneğiyle aynıdır. İlave olarak, su tankına kimyasal madde eklendiğinde karıştırmak için karıştırıcı ve basamaklı kanal memba ve mansabına çözülmüş oksijen miktarını ölçmeye yarayan oksijen-metreler yerleştirilmiştir (Şekil 4.10).

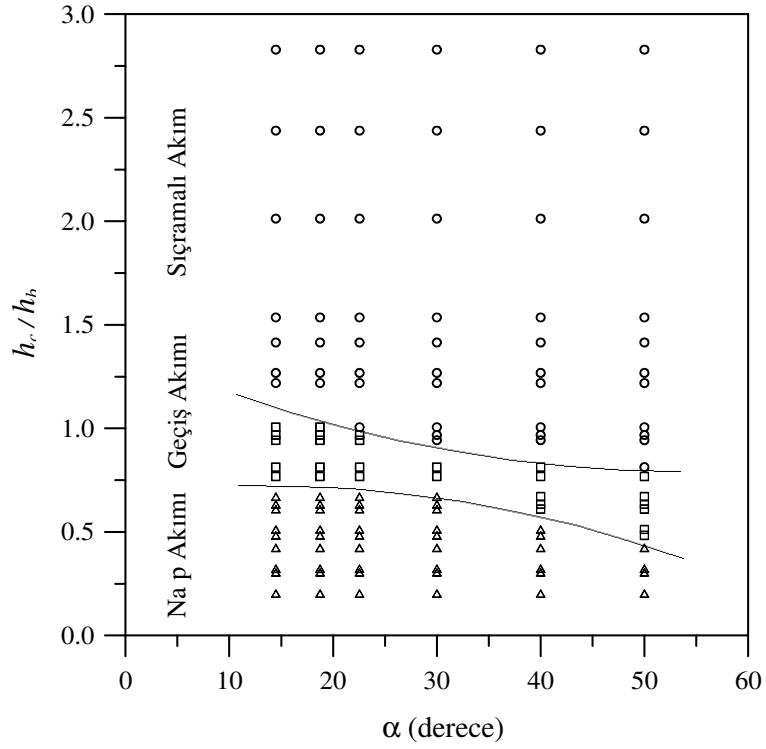
Her deneye, Na_2SO_3 ve CoCl_2 eklenerek su tankının musluk suyuyla doldurulmasıyla başlanmıştır. Musluk suyu kullanılması nedeniyle oksijen transferini etkileyebilecek olan yüzen maddeler, organik maddeler, süspanse maddeler ve tuzun etkisi dikkate alınmamıştır. Çünkü musluk suyu temiz ve tuz oranı düşüktür. Tanktaki su sodyum sülfite (Na_2SO_3) yöntemiyle oksijensizleştirildi. Teorik olarak 1 g/m^3 çözülmüş oksijeni azaltmak için 7.9 g/m^3 sodyum sülfite gerekmektedir. Test edilen musluk suyunun çözülmüş oksijenine bağlı olarak, yaklaşık olarak

gereken sodyum sülfid oranları tahmin edildi. Kobalt II Klorür (CoCl_2) oksijensizleştirme reaksiyonunun katalizörü olarak kullanıldı. Su, su tankından durgun tanka pompalanır oradan da basamaklandırılmış kanala yaklaşım kanalıyla geçer. Suda, oksijensizleştirme kimyasallarının kullanımından kaynaklı önemli bir artık birikip birikmediğinden emin olmak için sürekli takip edilip ve rapor edildi. Bu sebeple, sonuçların ölçülebilir derecede kimyasal ya da kirletici madde varlığından etkilenmesi olası değildir.

Deneyler boyunca, basamaklı kaskatın memba ve mansap, ÇO (çözünmüş oksijen) ölçümleri, Şekil 4.10'da belirtilen yerde bulunan ayarlanabilir ve taşınabilir HANNA Model HI 9142 oksijen-metre kullanılarak gerçekleştirildi. Ölçümler, sondanın örnekleme noktalarında yaklaşık 0,20 m derinliğe batırılmasıyla yapıldı. ÇO-metreler kullanımdan önce hava kalibrasyon yöntemiyle yerel atmosferik basıncına göre günlük olarak kalibre edildi. Kalibrasyon işlemleri üreticinin tavsiye ettiği şekilde gerçekleştirildi. Ayarlamalar, çevre koşullarında nemli havada yapıldı. Bu çalışmada, doygunluk konsantrasyonu McGhee [20]'nin tablosuna göre belirlendi [18].

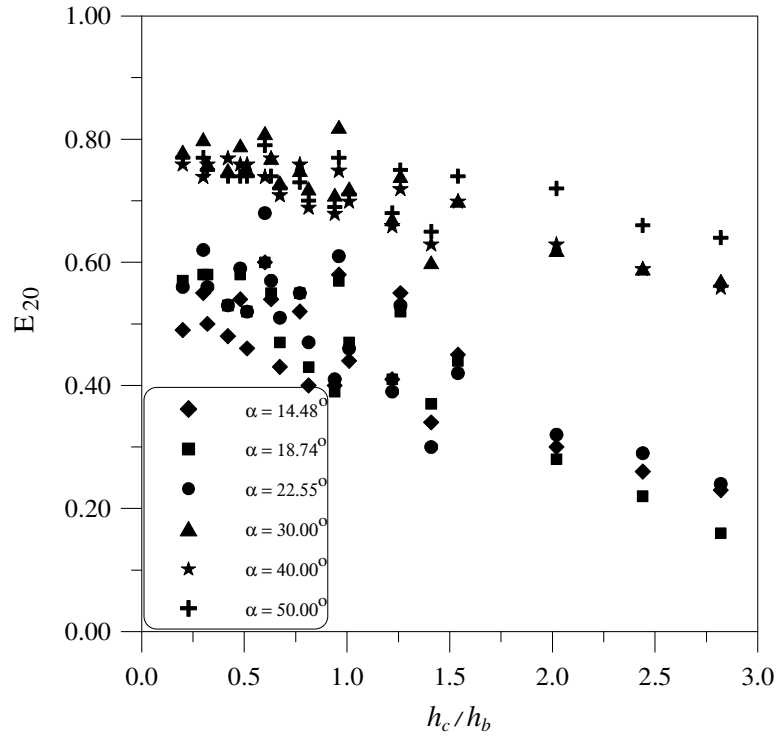
4.2.2. Deneysel Sonuçlar

Deneysel sonuçlara göre akım durumunun tipi; akımın kritik derinliği (dolayısıyla akım miktarı), basamak yüksekliği ve kanal eğiminin bir fonksiyonudur. Basamaklı kaskatlarda üç farklı akım durumu söz konusudur. Bunlar nap, geçiş ve sıçramalı akım durumlarıdır. Nap akım durumuna eğilim, basamak yüksekliğinin artması ve birim debinin ve kanal eğiminin azalmasıyla gözlenir. Sonuçlar birim debinin ve kanal eğiminin artışıyla geçiş ve sıçramalı akımlara eğilimi göstermektedir. Şekil 4.11 basamaklı kaskatlardaki akım durumlarının sınıflandırılmasını göstermektedir [72].



Şekil 4.11. Basamaklı kaskatlarda akım durumunun sınıflandırılması [68]

Sonuçlara göre havalandırma verimi, akım tipi durumundan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Nap, geçiş ve sıçramalı akımlarda hava katma işlemlerinin farklı olmasından dolayı, bu üç akımda havalandırma verimleri de birbirinden oldukça farklıdır. Nap akım durumunun, diğer akım durumlarına göre daha yüksek havalandırma verimine sahip olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.12 ve Tablo (4.5). Nap akımı durumunda, her basamaktaki oksijen geçişi; akım havalandırma ve karışımıyla gerçekleşir. Serbest düşüşlü napta ise savaklarda hava girişi kısmında da belirtildiği gibi, dalış noktasında ve mümkün olduğunca mansapta hidrolik sıçramayla gerçekleşir. Başka bir deyişle, nap akım durumunda havalandırma veriminin daha büyük olması, türbülansın yüksek seviyede olması, büyük varış süresi ve önemli miktarda hava kabarcıkları girişinden kaynaklandığı söylenebilir [72].



Şekil 4.12. Kaskat açıları için, h_c/h_b karşı gelen, E_{20} değerleri.

Tablo 4.4. Basamaklı kaskatın akım durumu deneysel sonuçlarından bir kısmı

h_c/h_b (-)	a (derece)	Akım Rejimi Tipi	Akım Rejiminin Sınıflandırılması
0.96	14.48	Geçiş	2
2.02	14.48	Sıçramalı	3
0.48	14.48	Nap	1
1.01	14.48	Geçiş	2
0.32	14.48	Nap	1
0.673	14.48	Nap	1
0.6	18.74	Nap	1
1.54	18.74	Sıçramalı	3
2.82	18.74	Sıçramalı	3
0.3	18.74	Nap	1
0.77	18.74	Geçiş	2
1.41	18.74	Sıçramalı	3
0.2	18.74	Nap	1
0.513	18.74	Nap	1
0.94	18.74	Geçiş	2
1.26	22.55	Sıçramalı	3
2.44	22.55	Sıçramalı	3
0.63	22.55	Nap	1

1.22	22.55	Sıçramalı	3
0.42	22.55	Nap	1
0.813	22.55	Geçiş	2
0.96	30	Sıçramalı	3
2.02	30	Sıçramalı	3
0.48	30	Nap	1
1.01	30	Sıçramalı	3
0.32	30	Nap	1
0.673	30	Nap	1
0.6	40	Geçiş	2
1.54	40	Sıçramalı	3
2.82	40	Sıçramalı	3
0.3	40	Nap	1
0.77	40	Geçiş	2
1.41	40	Sıçramalı	3
0.2	40	Nap	1
0.513	40	Nap	1
0.94	40	Sıçramalı	3
1.26	50	Sıçramalı	3
2.44	50	Sıçramalı	3
0.63	50	Geçiş	2
1.22	50	Sıçramalı	3
0.42	50	Nap	1
0.813	50	Sıçramalı	3

Tablo 4.5. Basamaklı kaskatın havalandırma verimi deneysel sonuçları

α (derece)	h_b (m)	h_c (m)	h_c/h_b (-)	E_{20} (-)	h_b (m)	h_c (m)	h_c/h_b (-)	E_{20} (-)	h_b (m)	h_c (m)	h_c/h_b (-)	E_{20} (-)
14.48	0.05	0.030	0.600	0.60	0.10	0.030	0.300	0.55	0.15	0.030	0.200	0.49
14.48	0.05	0.048	0.960	0.58	0.10	0.048	0.480	0.54	0.15	0.048	0.320	0.50
14.48	0.05	0.063	1.260	0.55	0.10	0.063	0.630	0.54	0.15	0.063	0.420	0.48
14.48	0.05	0.077	1.540	0.45	0.10	0.077	0.770	0.52	0.15	0.077	0.513	0.46
14.48	0.05	0.101	2.020	0.30	0.10	0.101	1.010	0.44	0.15	0.101	0.673	0.43
14.48	0.05	0.122	2.440	0.26	0.10	0.122	1.220	0.41	0.15	0.122	0.813	0.40
14.48	0.05	0.141	2.820	0.23	0.10	0.141	1.410	0.34	0.15	0.141	0.940	0.40
18.74	0.05	0.030	0.600	0.60	0.10	0.030	0.300	0.58	0.15	0.030	0.200	0.57
18.74	0.05	0.048	0.960	0.57	0.10	0.048	0.480	0.58	0.15	0.048	0.320	0.58
18.74	0.05	0.063	1.260	0.52	0.10	0.063	0.630	0.55	0.15	0.063	0.420	0.53
18.74	0.05	0.077	1.540	0.44	0.10	0.077	0.770	0.55	0.15	0.077	0.513	0.52
18.74	0.05	0.101	2.020	0.28	0.10	0.101	1.010	0.47	0.15	0.101	0.673	0.47
18.74	0.05	0.122	2.440	0.22	0.10	0.122	1.220	0.41	0.15	0.122	0.813	0.43
18.74	0.05	0.141	2.820	0.16	0.10	0.141	1.410	0.37	0.15	0.141	0.940	0.39
22.55	0.05	0.030	0.600	0.68	0.10	0.030	0.300	0.62	0.15	0.030	0.200	0.56
22.55	0.05	0.048	0.960	0.61	0.10	0.048	0.480	0.59	0.15	0.048	0.320	0.56
22.55	0.05	0.063	1.260	0.53	0.10	0.063	0.630	0.57	0.15	0.063	0.420	0.53
22.55	0.05	0.077	1.540	0.42	0.10	0.077	0.770	0.55	0.15	0.077	0.513	0.52

22.55	0.05	0.101	2.020	0.32	0.10	0.101	1.010	0.46	0.15	0.101	0.673	0.51
22.55	0.05	0.122	2.440	0.29	0.10	0.122	1.220	0.39	0.15	0.122	0.813	0.47
22.55	0.05	0.141	2.820	0.24	0.10	0.141	1.410	0.30	0.15	0.141	0.940	0.41
30.00	0.05	0.030	0.600	0.81	0.10	0.030	0.300	0.80	0.15	0.030	0.200	0.78
30.00	0.05	0.048	0.960	0.82	0.10	0.048	0.480	0.79	0.15	0.048	0.320	0.76
30.00	0.05	0.063	1.260	0.74	0.10	0.063	0.630	0.77	0.15	0.063	0.420	0.75
30.00	0.05	0.077	1.540	0.70	0.10	0.077	0.770	0.75	0.15	0.077	0.513	0.75
30.00	0.05	0.101	2.020	0.62	0.10	0.101	1.010	0.72	0.15	0.101	0.673	0.73
30.00	0.05	0.122	2.440	0.59	0.10	0.122	1.220	0.67	0.15	0.122	0.813	0.72
30.00	0.05	0.141	2.820	0.57	0.10	0.141	1.410	0.60	0.15	0.141	0.940	0.71
40.00	0.05	0.030	0.600	0.74	0.10	0.030	0.300	0.74	0.15	0.030	0.200	0.76
40.00	0.05	0.048	0.960	0.75	0.10	0.048	0.480	0.76	0.15	0.048	0.320	0.76
40.00	0.05	0.063	1.260	0.72	0.10	0.063	0.630	0.77	0.15	0.063	0.420	0.77
40.00	0.05	0.077	1.540	0.70	0.10	0.077	0.770	0.76	0.15	0.077	0.513	0.76
40.00	0.05	0.101	2.020	0.63	0.10	0.101	1.010	0.70	0.15	0.101	0.673	0.71
40.00	0.05	0.122	2.440	0.59	0.10	0.122	1.220	0.66	0.15	0.122	0.813	0.69
40.00	0.05	0.141	2.820	0.56	0.10	0.141	1.410	0.63	0.15	0.141	0.940	0.68
50.00	0.05	0.030	0.600	0.79	0.10	0.030	0.300	0.77	0.15	0.030	0.200	0.77
50.00	0.05	0.048	0.960	0.77	0.10	0.048	0.480	0.74	0.15	0.048	0.320	0.75
50.00	0.05	0.063	1.260	0.75	0.10	0.063	0.630	0.74	0.15	0.063	0.420	0.74
50.00	0.05	0.077	1.540	0.74	0.10	0.077	0.770	0.73	0.15	0.077	0.513	0.74
50.00	0.05	0.101	2.020	0.72	0.10	0.101	1.010	0.71	0.15	0.101	0.673	0.72
50.00	0.05	0.122	2.440	0.66	0.10	0.122	1.220	0.68	0.15	0.122	0.813	0.70
50.00	0.05	0.141	2.820	0.64	0.10	0.141	1.410	0.65	0.15	0.141	0.940	0.69

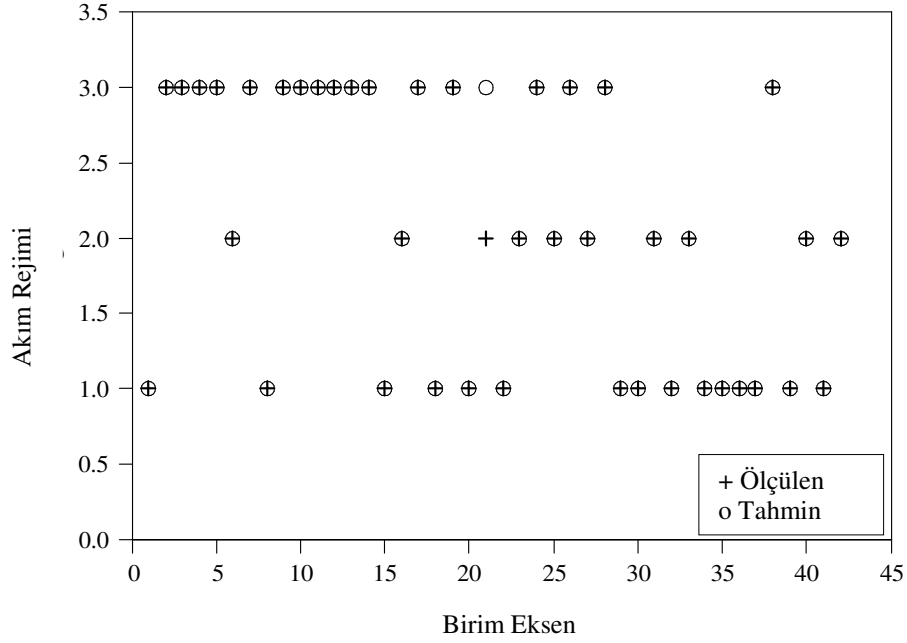
4.2.3. Uygulamalar

4.2.3.1. EKK - DVM ile Akım Durumu Tahmini

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan parametreler, kritik akım derinliği ile basamak yüksekliği arasındaki oran (h_c / h_b), kanal eğimi (α) ve akım durumuydu. Ve bu parametreler, akım durumunun tahmini için EKK-DVM modelinde girdi olarak kullanıldı. Üç akım durumu, nap, geçiş ve sıçramalı, 1, 2 ve 3 diye sırasıyla numaralandırıldı (Tablo 4.4). Eğitim ve testten önce veri grubu, Denklem (4.9) kullanılarak normalleştirildi [72].

EKK-DVM model, akım durumu tahmini için Radyal Tabanlı Çekirdek fonksiyonu (RTF) ile eğitildi. RTF parametrelerinin en iyi değerlerini bulmak için, aralık araştırma algoritması kullanıldı. Akım durumu için, belirlenmiş optimum γ değeri 0.16647 ve optimum σ değeri 0.015872'dir. EKK-DVM modelin geçerliliğini ölçmek için 3'lü çapraz kümeleme metoduyla, 126 deneysel veri grubu kullanılarak EKK-DVM test edildi.

EKK-DVM modelinin test performansı Şekil 4.13'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi EKK-DVM modeli, ölçülen değerleri yüksek doğrulukla tahmin etmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen akım durumu arasındaki korelasyon $R^2 = 0.99$ 'dur.

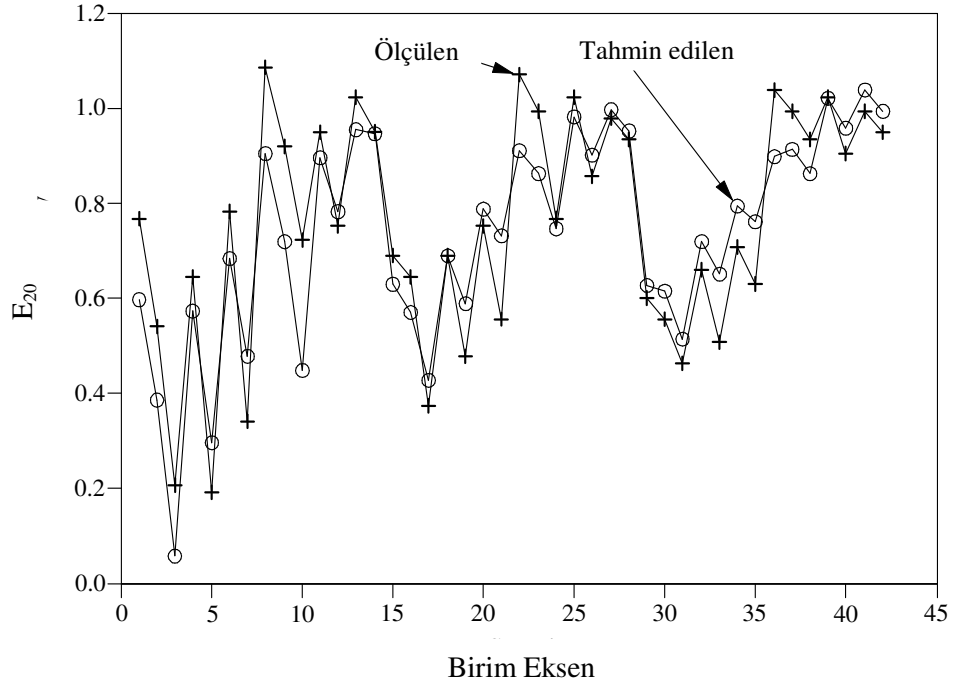


Şekil 4.13. EKK-DVM modelin akım durumu test performansı

4.2.3.2. EKK-DVM ile Havalandırma Verimi Tahmini

Çalışmanın bu bölümünde, basamak yüksekliği ve kritik akım derinliği arasındaki oran (h_c / h_b), kanal eğimi (α) ve akım durumu, havalandırma veriminin tahmini için, EKK-DVM modelin girdileri olarak kullanıldı. Test ve eğitimden önce, veri grubu Denklem (4.9)'un kullanımıyla normalleştirildi.

EKK-DVM model, havalandırma verimi E_{20} için Radyal Tabanlı Çekirdek fonksiyonu (RTF) ile eğitildi. RTF parametrelerinin en iyi değerlerini bulmak için, aralık araştırma algoritması kullanıldı. Havalandırma verimi için, belirlenmiş optimum γ düzenleme sabiti değeri 87.0805 ve optimum σ düzenleme sabiti değeri 3.7646'dır. EKK-DVM modelin geçerliliğini ölçmek için 3'lü çapraz kümeleme metoduyla, 126 deneysel veri grubu kullanılarak EKK-DVM test edildi. EKK-DVM modelin test performansı, grafiksel olarak Şekil 4.14'te sunulmuştur. Şekil 4.14'ten EKK-DVM'nin, ölçülen değerleri ne kadar yüksek doğrulukla tahmin ettiği görülebilir. Ölçülen ve tahmin edilen havalandırma verimi arasındaki korelasyon $R^2 = 0.89$ 'dur.



Şekil 4.14. EKK-DVM'nin, havalandırma verimi test performansı

4.2.4. Basamaklı Kaskatlarda EKK-DVM Model Sonuçları

Bu çalışmada EKK-DVM model, basamaklı kaskatlarda akım durumu ve havalandırma verimi E_{20} 'yi belirlemek için geliştirildi. EKK-DVM modelin tahminleri ile gözlenen akım durumları arasındaki korelasyon $R^2 = 0.99$, ölçülen havalandırma verimi E_{20} değerleri arasındaki korelasyon ise $R^2 = 0.89$ 'dur. Bu sonuçlar gösteriyor ki; EKK-DVM model, ölçülen değerleri çok yüksek doğrulukla tahmin edebiliyor. Bu test sonuçlarına dayanak söylenebilir ki, basamaklı kaskatların akım durumları ve havalandırma verimleri tahmininde EKK-DVM model başarıyla uygulanabilir. Geliştirilen akıllı model, basamaklı kaskat havalandırmaya uygulanmış olsa da, çevre mühendisliği sistemlerinin birçoğu için benzer sonuçlar öngörülebilir.

4.3. Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlerde Havalandırma Veriminin Tahmininde En Küçük Kareler Destek Vektör Makinelerinin (EKK-DVM) Uygulanması

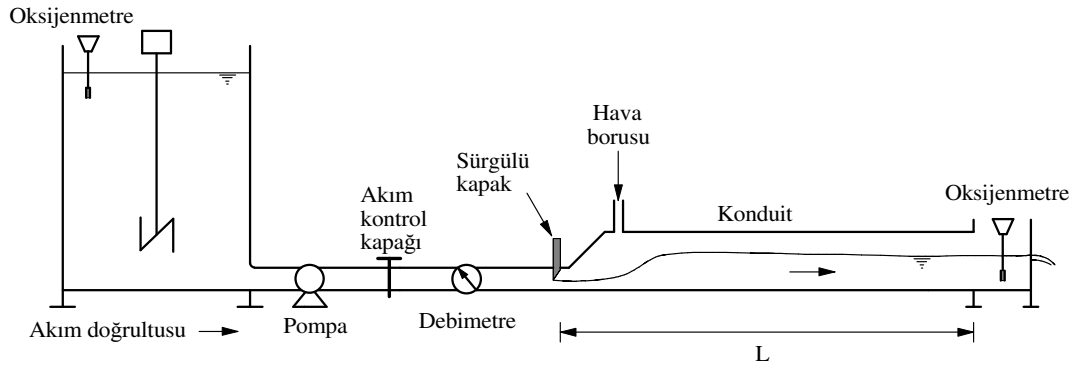
Bu çalışmada, havalandırmada önemli bir yöntem olan serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin havalandırma veriminin modellenmesinde yapay zeka metodlarından EKK-DVM kullanıldı. Burada EKK-DVM regresyon için kullanıldı. Ünsal [19], serbest yüzeyli kapaklı konduitte havalandırma verimini tespit etmek için bir çalışma yaptı. Konduitin farklı kapak

açıklığı, farklı debi değerleri, ve farklı konduit uzunluğuna bağlı olarak oksijen transfer verimleri (havalandırma verimi) tespit edilmiştir. Bu bölümün deneysel verileri, bu çalışmadan alındı.

4.3.1. Deneyler

4.3.1.1. Serbest Yüzeyle Konduitlerin Havalandırma Veriminin Belirlenmesinde Kullanılan Deney Düzenegi

Serbest yüzeyle kapaklı konduitlerde havalandırma verimini tayin etmek amacıyla Şekil 4.15'te görüldüğü gibi bir deney düzenegi kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Serbest yüzeyle kapaklı konduite ait deney düzenegi

Deneyde kullanılan serbest yüzeyle kapaklı konduit Şekil 3.12'de görüldüğü gibidir. Kapaktan hemen sonraki kısmın eğimi 45 derecedir. Serbest yüzeyle konduit dikdörtgen bir kesite sahiptir (genişliğı 40 mm, yüksekliğı 250 mm). Konduit boyu 2 m ile 6 m arasında değışmektedir. Konduitte savaklama kapağıının mansabında 16 mm çapında delik açılarak dış ortamdaki havanın kanal içine girmesi sağlanmıştır.

Deneylerin yapılabilmesi için; çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltmak amacıyla kullanılacak kimyasal maddelerin karıştırıldığı üç tonluk bir su deposu, suyu depodan alıp konduite göndermek için su deposu tabanı seviyesinde su pompası, istenilen debi değerlerini ayarlamak için küresel kontrol vanası, sistemden geçen debi değerlerini belirlemek için dijital göstergeli 0.01 l/s ölçüm hassasiyetli 100 mm çaplı elektromanyetik debimetre, açılan delikten konduite giren havanın hızını ölçmek için anemometre, su sıcaklığını ve çözünmüş oksijen miktarını aynı anda ölçen oksijenmetre kullanılmıştır. Konduit ile debimetre arasındaki

bağlantıyı sağlamak ve enerji kaybını azaltmak için dairesel kesitten dikdörtgen kesite geçiş için flanşlı metal koni kullanılmıştır.

4.3.1.2. DeneySEL Süreç ve Deneyin Yapılışı

Deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı ortamda atmosfer basıncı yaklaşık 677 mm Hg olarak tespit edilmiştir.

Oksijen transfer veriminin tespiti için yapılan deneylerde öncelikle 2 m uzunluğundaki ilk parçayla başlanmıştır. Bu ilk parçadan giren havanın debisi, açılan delikten giren havanın hızının anemometre ile ölçülmesi sonucu elde edilmiştir. Bu ölçümler yapıldıktan sonra konduite 2 m'lik ikinci parça takılarak 4 m uzunluğundaki konduite giren havanın debisi tespit edilmiştir. 4 m'lik kısmın deneyleri tamamlandıktan sonra son 2 m'lik kısım takılarak 6 m uzunluğundaki konduite giren hava debisi tespit edilmiştir. Konduite giren havanın debisi tespit edilirken anemometre ile yaklaşık 2 dakikalık ölçüm yapılarak giren hava hızının ortalaması alınmıştır. Alınan bu ortalama hız giren havanın girdiği deliğin çapı kullanılarak elde edilen delik alanıyla çarpılarak hava debisi hesaplanmıştır. Deneyler yapılırken tüm boylar için 1.6 cm, 3.2 cm ve 4.8 cm'lik kapak açıklıkları kullanılmıştır.

Bu deneyler yapılırken farklı debi değerleri kullanılmıştır. Bu debilere bağlı olarak farklı su hızları tespit edilmiştir. Bu hızlar kullanılarak kapak altındaki Froude sayısı Denklem (3.18) kullanılarak bulunmuştur.

Oksijen transfer veriminin tespiti için yapılan deneylerde, su deposuna doldurulan suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sodyum sülfite (Na_2SO_3) kullanılarak yaklaşık olarak 0 mg/l' ye yakın değerlere düşürülmüştür. Ayrıca bu işlem için kobalt klorür (CoCl_2) katalizör olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni suyun deneye başlama anında çözünmüş oksijen konsantrasyonu değeri ile suyun doymuşluk konsantrasyonu değeri arasındaki farkı artırmak ve olası deney hatalarını önlemektir. Depodan pompalanan suyun debisi kontrol vanası ile ayarlanmak suretiyle konduitlerden geçirilmiştir. Su konduit içerisinden geçerken kapakta oluşan basınç nedeniyle açılmış olan deliklerden giren havayı da beraberinde sürükler. 3. Bölümde açıklanan iki fazlı akım olarak adlandırılan akış sırasında basınçlı ortamda hava kabarcıkları içerisindeki oksijen suda çözünmeye başlar. Konduit sonuna yerleştirilen mansap kanalında çözünmüş oksijen değerleri oksijenmetre yardımıyla ölçülmüştür.

Ölçüm yapılırken oksijenmetrenin probu su içerisinde sabit tutulmayıp 1 *devir/sn.* hızında yaklaşık 30 cm çaplı daireler çizerek şekilde döndürülmüştür. Bu sayede oksijen konsantrasyonu değeri noktadan bağımsız olarak ölçülmüştür.

Oksijen transfer verimleri tespit edilirken farklı debi değerlerine karşılık, farklı Froude sayıları, farklı kapak açıklıkları ve farklı boylar ve ortamın sıcaklığına göre aynı işlemler tekrarlanarak yapılmıştır.

Yapılan deneylerde sistemdeki suyun oksijene doyup doymadığı, her deney aşamasında Tablo (3.1)'deki değerlerle kontrol edilmiştir. Deneyde kullanılan suyun sıcaklığı tespit edilmiştir. Oksijenin doyma konsantrasyonu, sıcaklığın fonksiyonu olması nedeniyle, oksijen transfer verimi de sıcaklığa bağlıdır. Farklı sistemlerin karşılaştırılmasında üniform bir temel sağlamak için, oksijen transfer veriminin belirli bir sıcaklıkta normalize edilmesi (standart hale getirilmesi) gerekmektedir. Bu çalışmada Gulliver ve diğ [22] tarafından önerilen (3.8) nolu denklem kullanılarak oksijen transfer verimleri (E) 20 °C' de normalize edilmiştir.

4.3.2. Deneysel Sonuçlar

Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma verimi için deneysel sonuçlar, Tablo (4.6)'da verilmiştir. Bu tabloda, L_k kapağın mansabında konduitin uzunluğu, h_k kapak açma yüksekliği, Q_s konduitte su debisi, Fr kapak bölgesinde Froude sayısı ve E_{20} , 20 °C'de oksijen transfer verimidir. Havalandırma verimliliği E_{20} , Denklem (3.6), (3.7) ve (3.8)'in kullanımıyla ölçülen değerlerden hesaplanmıştır. Ve deneysel sonuçlara göre Denklem (3.17) geliştirilmiştir. Bu tablodan çıkarılabilecek genel sonuçlar 3. bölümde serbest yüzeyli konduitler başlığı altında maddeler halinde mevcuttur.

Tablo 4.6. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin deneysel sonuçları

No	Q_s (10 ⁻³) (m ³ /s)	Fr (-)	h_k (m)	L_k (m)	h_k / L_k (10 ⁻³) (-)	E_{20} (-)
1.	1.39	5.479	0.016	2	8.00	0.235
2.	2.78	10.962	0.016	2	8.00	0.666
3.	4.17	16.439	0.016	2	8.00	0.817
4.	5.56	21.919	0.016	2	8.00	0.900
5.	6.95	27.399	0.016	2	8.00	0.950
6.	8.22	32.419	0.016	2	8.00	0.969
7.	2.57	3.574	0.032	2	16.00	0.143
8.	5.13	7.151	0.032	2	16.00	0.584
9.	7.70	10.728	0.032	2	16.00	0.727
10.	10.26	14.305	0.032	2	16.00	0.862
11.	12.83	17.882	0.032	2	16.00	0.903
12.	15.26	21.278	0.032	2	16.00	0.945
13.	3.59	2.726	0.048	2	24.00	0.090

14.	7.19	5.453	0.048	2	24.00	0.464
15.	10.78	8.178	0.048	2	24.00	0.647
16.	14.37	10.904	0.048	2	24.00	0.750
17.	17.97	13.630	0.048	2	24.00	0.820
18.	21.49	16.311	0.048	2	24.00	0.877
19.	1.39	5.479	0.016	4	4.00	0.014
20.	2.78	10.962	0.016	4	4.00	0.477
21.	4.17	16.439	0.016	4	4.00	0.753
22.	5.56	21.919	0.016	4	4.00	0.833
23.	6.95	27.399	0.016	4	4.00	0.889
24.	8.22	32.419	0.016	4	4.00	0.916
25.	2.57	3.574	0.032	4	8.00	0.027
26.	5.13	7.151	0.032	4	8.00	0.269
27.	7.70	10.728	0.032	4	8.00	0.607
28.	10.26	14.305	0.032	4	8.00	0.728
29.	12.83	17.882	0.032	4	8.00	0.781
30.	15.08	21.026	0.032	4	8.00	0.825
31.	3.593	2.726	0.048	4	12.00	0.060
32.	7.186	5.453	0.048	4	12.00	0.298
33.	10.78	8.178	0.048	4	12.00	0.539
34.	14.37	10.904	0.048	4	12.00	0.699
35.	17.97	13.630	0.048	4	12.00	0.825
36.	21.38	16.227	0.048	4	12.00	0.872
37.	1.39	5.479	0.016	6	2.67	0.134
38.	2.78	10.962	0.016	6	2.67	0.424
39.	4.17	16.439	0.016	6	2.67	0.718
40.	5.56	21.919	0.016	6	2.67	0.846
41.	6.95	27.399	0.016	6	2.67	0.914
42.	8.22	32.419	0.016	6	2.67	0.936
43.	2.57	3.574	0.032	6	5.33	0.063
44.	5.13	7.151	0.032	6	5.33	0.355
45.	7.70	10.728	0.032	6	5.33	0.677
46.	10.26	14.305	0.032	6	5.33	0.831
47.	12.83	17.882	0.032	6	5.33	0.900
48.	15.26	21.278	0.032	6	5.33	0.934
49.	3.59	2.726	0.048	6	8.00	0.125
50.	7.186	5.453	0.048	6	8.00	0.348
51.	10.78	8.178	0.048	6	8.00	0.590
52.	14.373	10.904	0.048	6	8.00	0.792
53.	17.966	13.630	0.048	6	8.00	0.902
54.	21.62	16.409	0.048	6	8.00	0.931

4.3.3. Uygulama

4.3.3.1. EKK-DVM ile Havalandırma Verimi Tahmini

Bu çalışmada, kapak bölgesinde Froud sayısı Fr ve kapak açma yüksekliğinin konduit mansabının uzunluğuna oranı h_k/L_k EKK-DVM için, giriş parametreleri olarak kullanıldı. E_{20} ise, 20 °C’ de oksijen transfer verimini gösteren çıkış parametresi olarak kullanıldı.

RTF çekirdek ile EKK-DVM model için belirlenmiş ortalama regresyon (R^2) değeri **0.9898** olarak hesaplandı. Maksimum performans da; test grubunun X_3 olduğu RTF çekirdek fonksiyonu ile elde edildi. Şekil 4.17’de, test grubu X_3 olan RTF’li, EKK- DVM modelin tahmin ettiği E_{20} değerleri ve ölçülen E_{20} değerleri görülür. EKK-DVM’nin tanımlanan her bir çekirdek fonksiyonu ile eğitim ve test grupları altında performansı Tablo (4.7)’de çizelgelendi. Tanımlanan her evre R^2 değerleri, Denklem (4.10) ile hesaplandı.

$$R^2 = 1 - \left[\sum_{m=1}^n (y_{tah,m} - t_{ölç,m})^2 / \sum_{m=1}^n (t_{ölç,m})^2 \right] \quad (4.10)$$

Şekil 4.16’da da serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB dilinde, EKK-DVM ile modellenmesinin yazılımı görülmektedir.

Tablo 4.7. EKK-DVM modellerinin R^2 değerleri

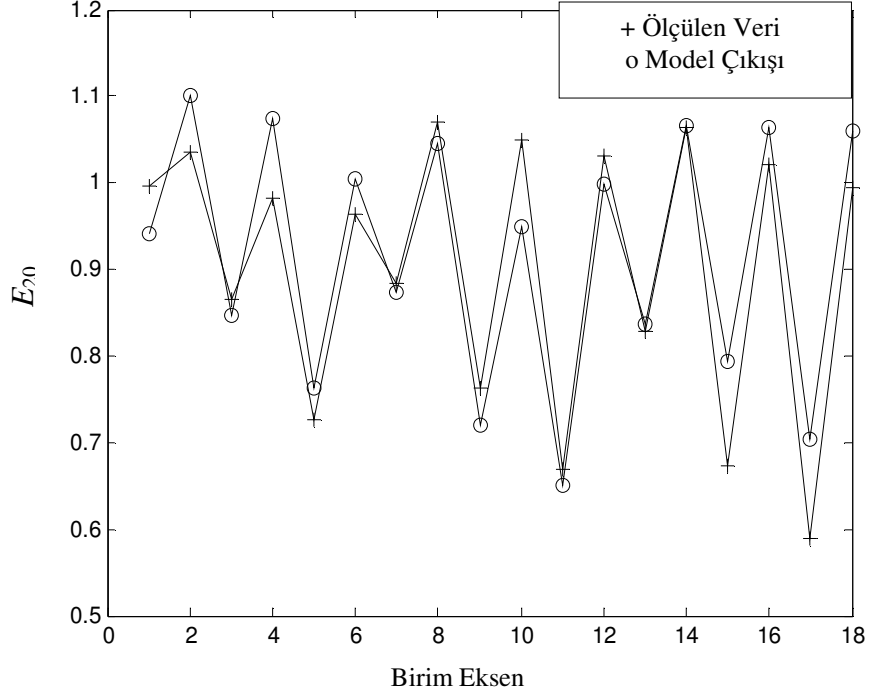
Çekirdek Tipi	Eğitim Grupları	Test Grubu	R^2 Değerleri	Ortalama R^2 Değerleri
RTF Çekirdek	X_1, X_2	X_3	0.9955	0.9898
RTF Çekirdek	X_1, X_3	X_2	0.9913	
RTF Çekirdek	X_2, X_3	X_1	0.9828	
Lineer Çekirdek	X_1, X_2	X_3	0.9542	0.9282
Lineer Çekirdek	X_1, X_3	X_2	0.9739	
Lineer Çekirdek	X_2, X_3	X_1	0.8566	
Polinomial Çekirdek (derece=3)	X_1, X_2	X_3	0.9831	0.9815
Polinomial Çekirdek (derece=3)	X_1, X_3	X_2	0.9907	
Polinomial Çekirdek(derece=3)	X_2, X_3	X_1	0.9706	

```

for i=1:size(a,2)
a(:,i)= (a(:,i)-min(a(:,i))) / (max(a(:,i))-min(a(:,i)))+b;%
end
for i=1:18
x1(i,:)=a(3*i-2,:);
x2(i,:)=a(3*i-1,:);
x3(i,:)=a(3*i,:);
end
y1=x1(:,3);
y2=x2(:,3);
y3=x3(:,3);
ax=[x2;x1];
aax=x3;
x=[ax(:,1), ax(:,2)];
y=ax(:,3);
tx=[aax(:,1), aax(:,2)];
ty=aax(:,3);
X=x
Y=y
L_fold = 3; % L-fold crossvalidation
type = 'function estimation';
[gam,sig2] = tunelssvm({ X,Y,type,1,1,'RBF_kernel'});
[alpha,b] = trainlssvm({ x,y,type,gam,sig2,'RBF_kernel'});
yt = simlssvm({ x,y,type,gam,sig2,'RBF_kernel','preprocess'},{ alpha,b},tx);
plot(yt,'r')
hold on
plot(ty,'b')
kor=corrcoef(yt,ty)
r2test=1-((sum((ty-yt).^2))/ (sum(yt.^2)))

```

Şekil 4.16. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB’da, EKK-DVM ile modellenmesinin yazılımı



Şekil 4.17. Tahmin edilen ve ölçülen E_{20} değerleri. (X_3 test grubu ile RTF'li EKK-DVM modeli).

4.3.3.2. Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitte EKK-DVM Modelleme Sonuçları

Bu çalışmada, serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin havalandırma veriminin tahmininde akıllı metodlardan En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri (EKK-DVM) uygulandı. Optimum EKK-DVM model, serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin havalandırma veriminin tahmini için tasarlandı. EKK-DVM modelin performansı elde edildi. RTF çekirdek ile EKK-DVM model için belirlenmiş ortalama regresyon R^2 değeri 0.9898 çıktı. Çıkan sonuçtan anlaşıldığı gibi EKK-DVM modelin performansı çok iyiydi. Sonuç olarak, bir hidrolik yapı inşasından önce, onun havalandırma verimi, bu çalışmada kullanılmış akıllı metod olan EKK-DVM ile hesaplanıp modellenebilir.

5. SERBEST YÜZEYLİ KAPAKLI KONDUİTLERİN HAVALANDIRMA VERİMİNİN TAHMİNİNDE EKK DVM SONUÇLARININ, DİĞER YAPAY ZEKA YAKLAŞIMLARI SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. YSA (Yapay Sinir Ağları) Uygulaması

Tüm YSA modeller, MATLAB/YSAs alet kutusu ile yapıldı [73]. YSA uygulamalarında, geri yayımlı öğrenme algoritmaları ile ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) etkindir. Girişin ve gizli katmanın aktivasyon fonksiyonları, tanjant sigmoid'di. Çıkış katmanının aktivasyon fonksiyonları doğrusal fonksiyonlardı. YSA modelin test performansını değerlendirmek için, 3'lü kümeleme test metodu uygulandı. Test performansı Tablo (5.1)'de çizelgelendi. Tanımlanan her evre regresyon R^2 değerleri Denklem (4.10) ile hesaplandı.

Tablo (5.1)'de görüldüğü gibi, YSA modellerden en iyi performansı (3–5–1) yapısı sağladı. (3–5–1) YSA modelde ortalama R^2 değeri **0.8544**'tür. Şekil 5.2, X_3 test grubu ile (3–5–1) YSA modelde tahmin edilen E_{20} ve ölçülen E_{20} değerlerini gösterir. Şekil 5.1'de de, Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB dilinde, YSA ile modellemenin yazılımı gösterilmektedir.

Tablo 5.1. YSA modelinin R^2 değerleri

Sinir Ağı Tasarımları	Eğitim Grupları	Test Grubu	Devir Sayısı	Ortalama Kare Hata	R^2 Değerleri	Ortalama R^2
3–5–1	X_1, X_2	X_3	110	0.0056	0.9953	0.8544
3–5–1	X_1, X_3	X_2	300	0.1124	0.8803	
3–5–1	X_2, X_3	X_1	400	0.0473	0.6877	
3–7–1	X_1, X_2	X_3	120	0.0053	0.9933	0.8537
3–7–1	X_1, X_3	X_2	150	0.1124	0.8803	
3–7–1	X_2, X_3	X_1	350	0.0473	0.6877	
3–9–1	X_1, X_2	X_3	110	0.0056	0.9925	0.8535
3–9–1	X_1, X_3	X_2	180	0.1124	0.8803	
3–9–1	X_2, X_3	X_1	210	0.0473	0.6877	

```

for i=1:size(a,2)
a(:,i)= (a(:,i)-min(a(:,i))) / (max(a(:,i))-min(a(:,i)))+b;
end
for i=1:18
x1(i,:)=a(3*i-2,:);
x2(i,:)=a(3*i-1,:);
x3(i,:)=a(3*i,:);
end
y1=x1(:,3);
y2=x2(:,3);
y3=x3(:,3);

ax=[x2;x1];
aax=x3;

x=[ax(:,1), ax(:,2)];

y=ax(:,3);

tx=[aax(:,1), aax(:,2)];
ty=aax(:,3);

net=newff([minmax(x)],[2 4 1],{'tansig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm');

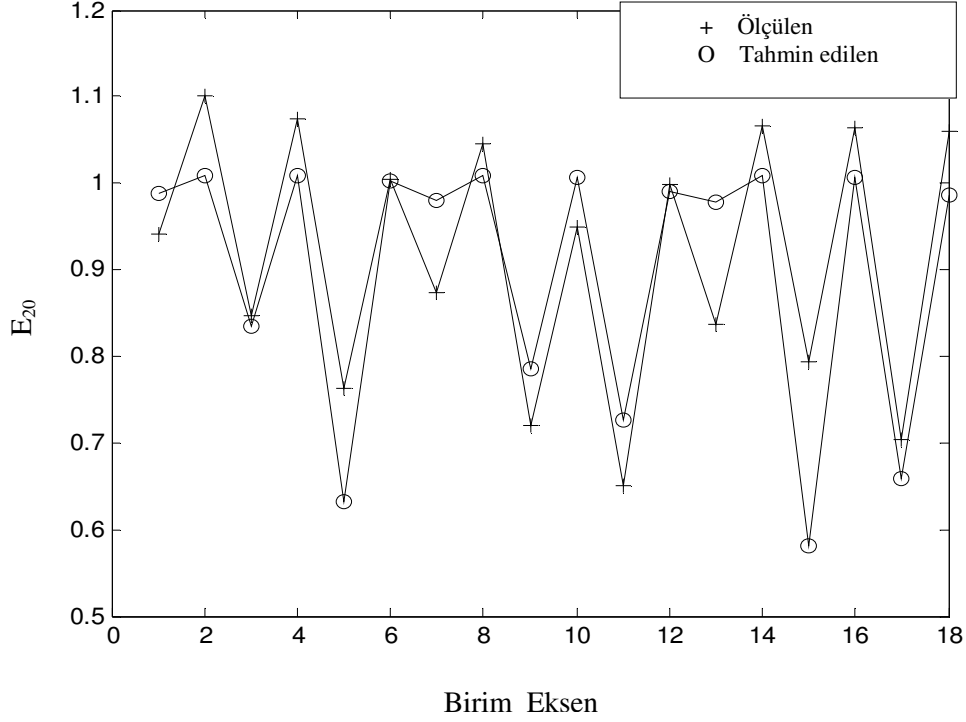
net.inputs{1}.size=2
net.trainparam.epochs=120
net.trainparam.lr=0.1
net.trainParam.min_grad= 1e-100
net.trainParam.mu_max = 1e300
net.trainParam.goal=0.000001;
net=train(net,x',y');
yy=sim(net,x')

figure
tyy=sim(net,tx');
plot(ty,'-+k')
hold on
plot(tyy,'-ok')
legend(' Measured Data',' Model Output')

r2egitim=1-( (sum((y'-yy).^2))/(sum(yy.^2)))
r2test=1-((sum((ty'-tyy).^2))/(sum(tyy.^2)))

```

Şekil 5.1. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB’da, YSA ile modellenmenin yazılımı



Şekil 5.2. Tahmin edilen ve ölçülen E_{20} değerleri. (X_3 test grublu, (3–5–1) YSA model ile)

5.2. UBSA (Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) Uygulamaları

Tüm UBSA modelleri, MATLAB / UBSA alet kutusu kullanılarak yapıldı [74]. Farklı tipte üyelik fonksiyonları, değişik numaralar verilerek, E_{20} 'yi tahmin etmek için kullanıldı. UBSA modelin test performansını değerlendirmek için, 3'lü çapraz kümeleme metodu uygulandı. Test performansı Tablo (5.2)'de çizelgelendi. Tanımlanan her evre R^2 değerleri, Denklem (4.10) ile hesaplandı. Tablo (5.2)'de görüldüğü gibi, 2 üyelik numarasıyla çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanıldığında, UBSA modelin en iyi performansı verdiği görüldü. Ama, en iyi ortalama R^2 değeri, üçgensel üyelik fonksiyonu kullanıldığında elde edildi. O değer, **0.9855**'tir. Şekil 5.4'de, X_3 test grubuyla, çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanılarak, tahmin edilen E_{20} değerleri ile ölçülen E_{20} değerleri görülür. Şekil 5.3'te de serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB dilinde UBSA ile modellenmesinin yazılımı görülmektedir.

Tablo 5.2. UBSA modellerinin R^2 değerleri

Üyelik Fonksiyonları	ÜF'nin Numaraları	Eğitim Grupları	Test Grubu	R^2 Değerleri	Ortalama R^2 Değerleri
Gauss2mf	2	X_1, X_2	X_3	0.8832	0.9471
Gauss2mf	2	X_1, X_3	X_2	0.9889	
Gauss2mf	2	X_2, X_3	X_1	0.9693	
Gauss2mf	3	X_1, X_2	X_3	0.3932	0.7738
Gauss2mf	3	X_1, X_3	X_2	0.9796	
Gauss2mf	3	X_2, X_3	X_1	0.9486	
Pimf	2	X_1, X_2	X_3	0.8841	0.9451
Pimf	2	X_1, X_3	X_2	0.9854	
Pimf	2	X_2, X_3	X_1	0.9658	
Pimf	3	X_1, X_2	X_3	0.9912	0.9822
Pimf	3	X_1, X_3	X_2	0.9844	
Pimf	3	X_2, X_3	X_1	0.9712	
Trimf	2	X_1, X_2	X_3	0.9883	0.9855
Trimf	2	X_1, X_3	X_2	0.9905	
Trimf	2	X_2, X_3	X_1	0.9777	
Trimf	3	X_1, X_2	X_3	0.7136	0.8354
Trimf	3	X_1, X_3	X_2	0.9255	
Trimf	3	X_2, X_3	X_1	0.8673	
gbellmf	2	X_1, X_2	X_3	0.9957	0.9631
gbellmf	2	X_1, X_3	X_2	0.9858	
gbellmf	2	X_2, X_3	X_1	0.9080	
gbellmf	3	X_1, X_2	X_3	0.9036	0.7115
gbellmf	3	X_1, X_3	X_2	0.9882	
gbellmf	3	X_2, X_3	X_1	0.2428	

```

for i=1:size(a,2)
    a(:,i)= (a(:,i)-min(a(:,i))) / (max(a(:,i))-min(a(:,i)))+b;%
end
for i=1:18
    x1(i,:)=a(3*i-2,:);
    x2(i,:)=a(3*i-1,:);
    x3(i,:)=a(3*i,:);
end
y1=x1(:,3);
y2=x2(:,3);
y3=x3(:,3);
ax=[x2;x1];
aax=x3;
x=[ax(:,1), ax(:,2)];
y=ax(:,3);
tx=[aax(:,1), aax(:,2)];
ty=aax(:,3);
trnData = [x y];
numMFs = 2;
% mfType = 'gauss2mf';
mfType = 'trimf';
% mfType = 'gbellmf';
% mfType = 'pimf';
%'gauss2mf, gbellmf....'
% epoch_n = 500;
in_fismat = genfis1(trnData,numMFs,mfType);
out = anfis(trnData,in_fismat,300);
yy=evalfis(x,out);
plot(y,'-+k')
hold on
plot(yy,'-ok')
legend(' Measured Data',' Model Output')
h=sumsqr(abs(y-yy))
%if (h<0.001)

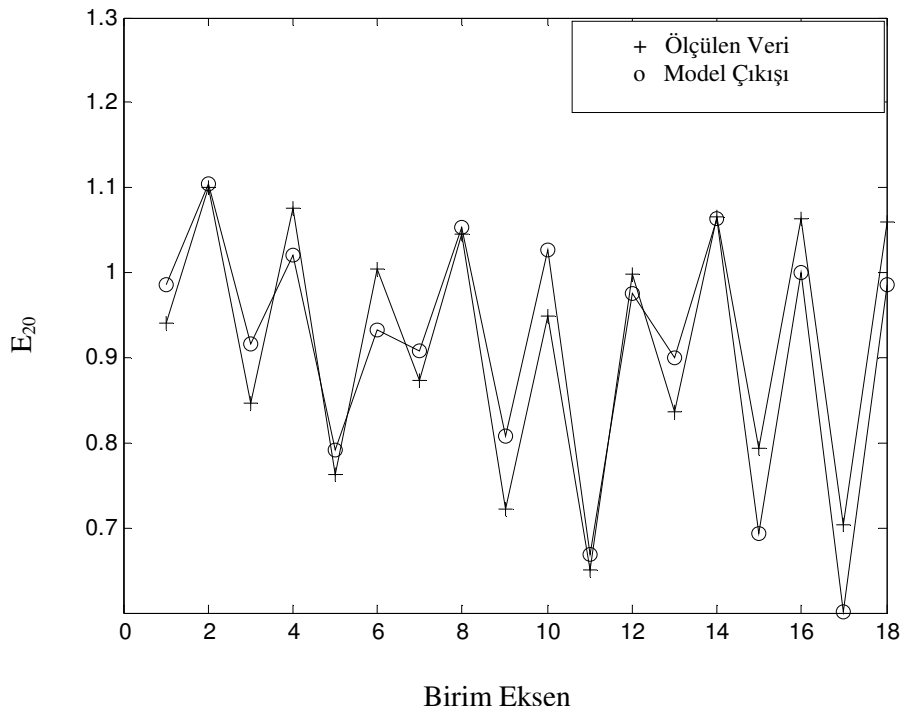
```

```

%break
%else
%b=b+0.1;
%end
figure
tyy=evalfis(tx,out);
plot(ty,'-+k')
hold on
plot(tyy,'-ok')
legend(' Measured Data',' Model Output')
r2egitim=1-( (sum((y-yy).^2))/ (sum(yy.^2)))
r2test=1-( (sum((ty-tyy).^2))/ (sum(tyy.^2)))

```

Şekil 5.3. Serbest yüzeyli kapaklı konduitin havalandırma veriminin, MATLAB’da, UBSA ile modellenmesinin yazılımı



Şekil 5.4. Tahmin edilen ve ölçülen E_{20} değerleri. (X_3 test grubu ile, çan eğrisi üyelik fonksiyonlu UBSA Modeli)

5.3. Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlerde Modelleme Sonuçları ve EKK-DVM Uygulama Sonuçlarının Diğer Yapay Zeka Yaklaşımları (YSA ve UBSA) Uygulama Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

4. Bölümde serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin havalandırma verimini tahmin etmede EKK-DVM uygulaması yapılmıştır. Tablo (4.7)'de belirtilen çekirdek fonksiyonları için eğitim ve test veri grupları oluşturularak EKK-DVM modellerin test performansları, yani ortalama regresyon R^2 değerleri elde edilmiştir. RTF çekirdek ile EKK-DVM model için belirlenmiş ortalama regresyon R^2 değeri **0.9898** bulunmuştur. Ayrıca Şekil 4.17'de de deneysel ölçümler sonucu bulunan havalandırma verimleri ile EKK-DVM'nin bulduğu sonuçların yüksek uyumluluğu gösterilmiştir.

Bu bölümde de serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin havalandırma veriminin tahmin edilmesinde YSA ve UBSA model uygulamaları yapılmıştır. YSA modelde Tablo (5.1)'de belirtilen değişik ağ tasarımlarıyla eğitim ve test veri grupları oluşturularak ortalama regresyon (R^2) değerleri bulunmuştur. YSA modellerde ağ yapılarına göre performanslar birbirine yakın çıkmakla beraber, en iyi performansı (3-5-1) ağ yapısı sağlamıştır. (3-5-1) YSA modelde ortalama R^2 değeri, **0.8544** bulunmuştur.

UBSA modelde de Tablo(5.2)'de belirtilen üyelik fonksiyonlarıyla eğitim ve test veri grupları oluşturularak ortalama regresyon (R^2) değerleri bulunmuştur. En iyi ortalama R^2 değeri, üçgensel üyelik fonksiyonu kullanıldığında elde edilmiştir. O değer: **0.9855**'tir.

Modellerin ortalama regresyon değerleri incelendiğinde serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin havalandırma verimini tahmin etmede; EKK-DVM ile UBSA modellerin birbirine yakın çok başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Modellerin ölçülen değerleri ne kadar doğrulukla tahmin ettikleri Şekil 4.17, Şekil 5.2 ve Şekil 5.4'ten de anlaşılmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapay zeka yaklaşımlarından biri olan, En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri (EKK-DVM) incelenmiş ve üç uygulama sunulmuştur. Yapılan En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri uygulamaları ile ince kenarlı üçgen savaklarda hava giriş ve havalandırma verimi, basamaklı kaskatlarda akım durumu ve havalandırma verimi ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde havalandırma verimi modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

İlk uygulamada, ince kenarlı üçgen savakların hava giriş ve havalandırma verimlerini tahmin etmek için EKK-DVM modeli geliştirilmiştir. Bu akıllı model, regresyon modelleriyle karşılaştırılmıştır. EKK-DVM modelinin performansının doğrusal regresyon modelinden daha iyi olduğu, çoklu doğrusal regresyon model ile de aynı performansa sahip olduğu görülmüştür. Böylece EKK-DVM, ince kenarlı üçgen savaklarda hava giriş ve havalandırma verimlerinin tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabilir.

İkinci uygulamada, basamaklı kaskatlarda akım durumları ve havalandırma verimini tahmin etmek için EKK-DVM modeli geliştirilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen akım durumu arasındaki korelasyon $R^2 = 0.99$ olarak bulunmuştur. Buradan EKK-DVM'nin basamaklı kaskatlarda, akım rejimlerini tahmin etmede başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca EKK-DVM, basamaklı kaskatlarda havalandırma veriminin tahmin edilmesinde de kullanılmıştır. Ölçülen havalandırma verimleri ile EKK-DVM modeliyle tahmin edilen değerler arasında büyük bir yakınlık vardır. EKK-DVM model sonuçları ile ölçülmüş E_{20} değerleri arasındaki korelasyon $R^2 = 0.89$ 'dur. Buradan EKK-DVM'nin, basamaklı kaskatlarda akım rejimi ve havalandırma veriminin tahmin edilmesinde kullanılabileceği görülmektedir.

Son uygulamada, serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde havalandırma verimi, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (UBSA) ile modellenip, elde edilen sonuçlar En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. YSA'nın regresyon değeri $R^2 = 0.8544$, UBSA'nın regresyon değeri $R^2 = 0.9855$, EKK-DVM'nin regresyon değeri $R^2 = 0.9898$ olarak bulunmuştur. Sonuçlardan da görüldüğü gibi, EKK-DVM sonuçlarının diğer yapay zeka yaklaşım sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri hesaplamalarının inşaat mühendisliğinde karar verme ve tasarım için alternatif bir çözüm olduğu görülmüştür. En Küçük Kareler Destek Vektör Makinelerinin mühendislik problemlerindeki en önemli üstünlüğü hızlı ve etkin sonuçlar veren bir yöntem olmasıdır. Diğer önemli üstünlüğü ise hesaplamaları direkt olarak deney sonuçlarını kullanarak öğrenmesi ve yapmasıdır.

KAYNAKLAR

1. Avcı, E., 2002, “Anestezi Süresince Ortalama Kan Basıncının Bulanık Mantıkla Denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 76s.
2. Özpolat, E., 2008, “Hidrolik Yapıların Havalandırma Verimlerinin Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 80s.
3. Kurt, A., 1995, “Uzman Sistem Nedir”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bülteni, Cilt: 8, Sayı: 3, 5-7,.
4. Türker, E.S. ve Taşkın, H., 1991, “Endüstriyel Sistemlerde Yapay Zeka ve Uzman Sistemler Uygulamaları”, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Yıl: 3, Sayı: 14.
5. Mitchell, M., 1996 , “An introduction to Genetic Algorithm Cambridge” MA: MIT Press.
6. Hanbay D., Turkoglu I. and Demir Y., 2006 “A Wavelet Neural Network for Intelligent Modeling”. International Fifteenth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks”, Turkey, 175 - 182.
7. Seiler, H.B., Seiler, K.E., 1986, “Process Control and monitoring using micro computer based expert systems”, Proc Second Annual A1 And Advanced Computer Technology.
8. Vural, İ., 1998, “Kalite Kontrolünde Uzman Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 165s.
9. Kosko, B., 1991, “Neural Networks and Fuzzy Systems, A Dynamical Systems Approach”, Englewood Cliffs., NJ: Prentice Hall.
10. Jang, J. S. R., Sun, C. T., 1995, “Neuro - Fuzzy modeling and control. Proceedings of the IEEE”, Vol. 3, No. 3.
11. Elmas,Ç., 2003, “*Bulanık Mantık Denetleyiciler*” Seçkin Yayınları, Ankara, 230s.
12. Demir, Y.K., 1997, “Yapay Sinir Ağları ile Ulaştırma Taleplerinin Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ FenBilimleri Enstitüsü, 68s.
13. Civalek, Ö., 1999, “Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği ile Analizi”, DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt. 1, Sayı 2, 13-31.
14. Türkoğlu, İ., 1996, “Yapay Sinir ağları ile Nesne Tanıma”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s.

15. Chattaraj, B., Yagoub, M. C. E., Ding, X., and Zhang Q. J., 2001, "EM Based Optimization of Microwave Circuits by Neural Models and Their Application to Power Distribution and Decoupling Optimization" European Microwave Conf., Proc. 31, London, England.
16. Baylar, A. and Bagatur, T., 2006, "Experimental Studies on Air Entrainment and Oxygen Content Downstream of Sharp-Crested Weirs", Water and Environment Journal, 20(4),210-216.
17. Ekici, S., 2007, "Elektrik Güç Sistemlerinde Akıllı Sistemler Yardımıyla Arıza Tipi ve Yerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 87s.
18. Baylar, A., 2002, "Savak Havalandırıcılarda Tip Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s.
19. Ünsal, M., 2007, "Suların Havalandırılmasında Yüksek basınçlı ve Serbest Yüzeyle Konduitlerin Kullanılması", Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 82s.
20. McGhee, T. J., 1991, "Water Supply and Sewerage", McGraw-Hill International Editions, (6th ed.).
21. Özkan, F., 2005, "Basınçlı Su Borularında Hava İletimi ve Oksijen Transferinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 64s.
22. Gulliver, J. S., Daniil, E. I., and Thene, J. R., 1990, "Assessing Hydro Project Effect on D. O. Concentration", Hydro Rev., 9(6), pp. 74 - 87.
23. Pöpel, H. J., 1974 "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, pp. 61-64.
24. Albrecht, D., 1969 "Schätzung der Sauerstoffzufuhr durch Wehre und Kaskaden" Die Wasserwirtschaft, Vol. 11.
25. Nakasone, H., 1987 "Study of Aeration at Weirs and Cascades", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 1, pp. 64-81.
26. Van der Kroon, G. T. N., and Schram, A. H., "Weir Aeration - Part I", H₂O, No.22, 1969, pp.528-537. Van der Kroon, G. T. N., and Schram, A. H., "Weir Aeration - Part II", H₂O, No.22, 1969, pp.538-545.
27. Apted, R. W., and Novak, P., 1973 "Some Studies of Oxygen Uptake at Weirs", Proceedings of the XV Congress, IAHR paper B23.
28. Avery, S., and Novak, P., "Oxygen Transfer at Hydraulic Structures", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 104, HY11, 1978, pp. 1521-1540.

29. Wormleaton, P. R., and Soufiani, E., 1998 "Aeration Performance of Triangular Planform Labyrinth Weirs", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 8, pp. 709-719.
30. Gulliver, J. S., and Wilhelms, S. C., 1992 "Discussion of 'Aeration at Ohio River Basin Navigation Dams,' by S. F. Railsback, J. M. Bownds, M. J. Sak, M. M. Stevens, and G. H. Taylor", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 108, No. 3, pp. 444-446.
31. Wormleaton, P. R. and Tsang, C. C., 2000, "Aeration Performance of Rectangular Planform Labyrinth Weirs", Journal of Environmental Engineering, ASCE, 126 (5), 456 - 465.
32. Baylar A., Ünsal M., ve Özkan F., 2007, "Serbest Yüzeyle Akım Sistemleri ile Sularda Hızlandırılmış Oksijen Transferi", III.Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, İzmir.
33. Gulliver, J. S., Thene, J. R., and Rindels, A. J., 1990, "Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 3, pp. 503 -523.
34. Baylar, A. and Bagatur, T., 2006, "Experimental Studies on Air Entrainment and Oxygen Content Downstream of Sharp-Crested Weirs", Water and Environment Journal, 20 (4), 210 - 216.
35. Yasuda, Y., Takahashi, M., 2000, "Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways" Discussion, Journal of Hydraulic Engineering, 126, 11, 869 - 871.
36. Gökçen, E., 2004, "Basamaklı Dolusavaklar Boyunca Oluşan Akımların Teorik ve Deneysel Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 204s.
37. Chamani, R., M., Rajaratnam, N., 1999 "Onset of Skimming Flow on Stepped Spillways" Journal of Hydraulic Engineering, pp 969-971.
38. Chanson, H., 2000 "A review of accidents and failures of stepped spillways and weirs", Water and Maritime Engineering, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, IAHR, Vol, 142, Issue. 4 pp 177-188.
39. Wilhelms, S. C., Gulliver, J. S. and Parkhill, K., 1992, "Reaeration at Low - Head Hydraulic Structures", Tech. Rep. H1 - 91, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
40. Chanson, H., 1995, "Predicting Oxygen Content Downstream of Weirs, Spillways and Waterways", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water, Maritime and Energy, 112 (1), 20 - 30.
41. Irvine, D. A., 1998, "Air Entrainment in Hydraulic Structures: A Review", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water, Maritime and Energy, 130 (3), 142 - 153.

42. Gulliver, J. S., Wilhelms, S. C. and Parkhill, K. L., 1998, "Predictive Capabilities in Oxygen Transfer at Hydraulics Structures", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 124 (7), 664-671.
43. Baylar, A. and Bagatur, T., 2000, "Aeration Performance of Weirs", *Water SA*, 26 (4), 521-526.
44. Baylar, A. and Bagatur, T., 2001, "Aeration Performance of Weirs", *Water Engineering & Management*, Part 1, 148 (3), 33 - 36.
45. Baylar, A. and Bagatur, T., 2001, "Aeration Performance of Weirs", *Water Engineering & Management*, Part 2, 148 (4), 14 - 16.
46. Baylar, A., Bagatur, T. and Tuna, A., 2001, "Aeration Performance of Triangular Notch Weirs at Recirculating System", *Water Quality Research Journal of Canada*, 36 (1), 121 - 132.
47. Baylar, A., Bagatur, T. and Tuna, A., 2001, "Aeration Performance of Triangular - Notch Weirs", *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 15 (3), 203-206.
48. Baylar, A. and Emiroglu, M. E., 2002, "The Effect of Sharp-Crested Weir Shape on Air Entrainment", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29 (3), 375 - 383.
49. Baylar, A., 2003, "An Investigation on the Use of Venturi Weirs as an Aerator", *Water Quality Research Journal of Canada*, 38 (4), 753 - 767.
50. Emiroglu, M. E and Baylar, A., 2003, "Experimental Study of the Influence of Different Weir Types on the Rate of Air Entrainment", *Water Quality Research Journal of Canada*, 38 (4), 769 - 783.
51. Emiroglu, M. E and Baylar, A., 2003, "The Effect of Broad-Crested Weir Shape on Air Entrainment", *Journal of Hydraulic Research*, 41 (6), 649 - 655.
52. Emiroglu, M. E and Baylar, A., 2005, "The Influence of Included Angle and Sill Slope on Air Entrainment of Triangular Planform Labyrinth Weirs", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 131 (3), 184 - 189.
53. Baylar, A. and Ozkan, F., 2006, "Applications of Venturi Principle to Water Aeration Systems", *Environmental Fluid Mechanics*, 6 (4), 341 – 357.
54. Emiroglu, M. E and Baylar, A., 2006, "Closure of 'The Influence of Included Angle and Sill Slope on Air Entrainment of Triangular Planform Labyrinth Weirs' ". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 132 (7), 748 - 748.

55. Baylar, A. and Emiroglu, M. E., 2007, "The Role of Weir Types in Entrainment of Air Bubbles", *International Journal of Science and Technology*, 2 (2), 143 - 154.
56. Baylar A., Hanbay D., and Batan M., 2009, "Application of Least Square Support Vector Machines in the Prediction of Aeration Performance of Plunging Overfall Jets from Weirs", *Expert Systems with Applications*, 36 (4) 8368-8374, 2009.
57. Baylar, A., Hanbay, D. and Ozpolat, E., 2007, "Modeling Aeration Efficiency of Stepped Cascades by Using ANFIS", *CLEAN - Soil, Air, Water*, 35 (2), 186 - 192.
58. Baylar, A., Hanbay, D. and Ozpolat, E., 2008, "An Expert System for Predicting Aeration Performance of Weirs by Using ANFIS", *Expert Systems with Applications*, 35(3) 1214 -1222.
59. Hanbay, D., Turkoglu, I. and Demir, Y., 2007, "Predicting Chemical Oxygen Demand (COD) Based on Wavelet Decomposition and Neural Networks", *CLEAN - Soil, Air, Water*, 35 (3), 250 - 254.
60. Suykens, J. A. K. and Vandewalle J., 1999, "Least Squares Support Vector Machine Classifiers", *Neural Processing Letters*, 9 (3), 293 – 300.
61. Cortes, C. and Vapnik, V., 1995, "Support-Vector Networks. *Machine Learning*", 20 (3), 273 –297.
62. MATLAB® Documentation LS-SVM Toolbox Help, 2004, Version 7.0, Release 14, The MathWorks, Inc.
63. Toombes, L. and Chanson, H., 2000, "Air-Water Flow and Gas Transfer at Aeration Cascades: A Comparative Study of Smooth and Stepped Chutes", *Proceedings of the International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways*, Zurich, Switzerland, 22 - 24, 77 - 84.
64. Baylar, A. and Emiroglu, M. E., 2003, "Study of Aeration Efficiency at Stepped Channels", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water and Maritime Engineering*, 156 (WM3), 257 - 263.
65. Emiroglu, M. E. and Baylar, A., 2003, "An Investigation of Effect of Stepped Chutes with End Sill on Aeration Performance", *Water Quality Research Journal of Canada*, 38 (3), 527 - 539.
66. Baylar, A. and Emiroglu, M. E., 2004, "Erratum of 'Study of Aeration Efficiency at Stepped Channels", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 157 (WM4), 222.

67. Baylar, A. and Emiroglu, M. E., 2005, "Closure of 'Study of Aeration Efficiency at Stepped Channels", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management, 158 (WM2), 89 - 90.
68. Baylar, A., Emiroglu, M. E. and Bagatur T., 2006, "An Experimental Investigation of Aeration Performance in Stepped Spillways", Water and Environment Journal, 20 (1), 35 - 42.
69. Baylar, A., Bagatur, T. and Emiroglu, M. E., 2007, "Aeration Efficiency with Nappe Flow over Stepped Cascades", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management, 160 (1), 43 - 50.
70. Baylar, A., Bagatur, T. and Emiroglu, M. E., 2007, "Prediction of Oxygen Content of Nappe, Transition and Skimming Flow Regimes in Stepped-Channel Chutes", Journal of Environmental Engineering and Science, 6 (2), 201 - 208.
71. Baylar, A., Emiroglu, M. E. and Bagatur, T., 2007, "Influence of Chute Slope on Oxygen Content in Stepped Waterways", International Journal of Science and Technology, in press.
72. Hanbay D., Baylar A., and Batan M., 2009, "Prediction of Aeration Efficiency on Stepped Cascades by Using Least Square Support Vector Machines", Expert Systems with Applications, 36 (3) 4248-4252, 2009.
73. MATLAB® Documentation Neural Network Toolbox Help, 2004, Version 7.0, Release 14, The MathWorks, Inc.
74. MATLAB® Documentation Adaptive Network Based Fuzzy Inference System Toolbox Help, 2004, Version 7.0, Release 14, The MathWorks, Inc.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Batman'ın Kozluk ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Kozluk Hürriyet İlkokulu'nda, orta öğrenimini Aydın Cumhuriyet Ortaokulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Kozluk Lisesi'nde birincilikle tamamladı. 2005 yılı Temmuz ayında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden ikincilikle mezun oldu. Mezun olduktan sonra özel sektörde bir sene çalıştıktan sonra, 2006 yılında Hani Kaymakmalığı Köylere Hizmet Götürme Birliği'nde iki sene kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2007 yılı Şubat ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başladı.